

APLICAȚII ALE FOTONICII
ÎN
INGINERIE BIOMEDICALĂ, ELECTRONICĂ,
TELECOMUNICAȚII ȘI NANOTEHNOLOGIE

-TEZĂ DE ABILITARE-

Conf. dr. ing. Gălățuș Ramona-Voichița

CUPRINS

Abstract	3
Rezumat	5
Teza de abilitare, Motivație.....	6
Cap 1. Realizări academice și profesionale.....	8
1.1 Evoluția carierei didactice.....	8
1.2 Colaborări cu studenții de la licența, master și doctorat	14
1.3 Sinteza activitatilor de cercetare.....	16
1.3.1 Sisteme electrice: actionari electrice pentru motoare cu reluctanta autocomutate și baterii și supercapacitori (2000-2009)	16
1.3.2. Inginerie medicala: Imagistica medicala (2004-2008), Biostatistică și Baze de date (2003-2004).....	16
1.3.3 Optică, Optoelectronică și Fotonică – sinteza activitatilor științifice	17
Cap 2. Aplicatii ale fotonicii	24
2.1. Ghidurile optice, fibre optice și senzori.....	26
2.1.1. Senzori optici: plasmonici, proximitate și fibre optice speciale	26
2.1.2 Fenomenul plasmonic (SPR) și senzorii plasmonici.....	28
2.1.3. Fibre optice speciale ca senzori	70
2.1.4 Ghiduri optice	82
2.2 . Prelucrări de imagini.....	95
2.3 . Energie regenerabila: celule solare organice.....	97
2.4. Sinteza contribuțiilor științifice și a rezultatelor de cercetare.....	101
2.4.1. Proiecte	101
2.4.2 Principalele contribuții științifice pe domeniul fotonicii.....	102
Cap 3. Directii viitoare de dezvoltare profesionala și de cercetare	105
3.1 Obiective didactice.....	105
3.2 Obiective de cercetare	106
Bibliografie.....	109

Abstract

This habilitation thesis presents the didactic and scientific activities and the main research results of the author accomplished after defending the PhD thesis entitled “*Methods for Information Extraction and Interpretation in Medical Imaging*”, in 2008.

The habilitation thesis is comprised of three chapters. All these chapters will outline the author findings and the results in the field of Electronics, Telecommunication and Information Technology Engineering with Applications in Nanotechnology.

Chapter 1 - Academic and professional achievements. This chapter presents the synthesis of the author's activities until nowadays (2018) by describing in subchapter 1.1 the didactic evolution, subchapter 1.2 - collaborations with the students and respectively in subchapter 1.3, synthesis of the research activities on the three main subdirections: electrical systems and medical engineering (as early stage researcher, during PhD activities) and photonics, optoelectronics and optics (after doctoral defending).

Chapter 2 - Applications of photonics. In this chapter the research results related to photonics, in the postdoctoral period, are mainly discussed as a natural continuation of the activities in this field, starting with doctoral period.

The chapter is organized in 4 subchapters:

Subchapter 2.1 Optical guides, optical fibers and sensors. It presents the development stages of three main research directions related to:

- ❖ Sensor/biosensor Implementation based on the **plasmonic phenomenon**. The practical results obtained were mainly funded by the UEFISCDI-PED67 (2016-2018) research projects and will continue with ERANET-SALIVAGES (2018-2021), also supported by scholarship as invited professor and researcher, funded by UNINA2, Italy (2013), a post-doctoral internship at UMONS, Belgium and Horizon2020-COST projects where I actively participate as an expert researcher on Optoelectronics and Photonics fields
- ❖ optimized design of **optical amplifier waveguides**, such as the microring optimized components with amplification properties, codoped with rare earths Yt^{3+} - Er^{3+} , and straight waveguides based on $LiNiO_3$, with amplification function due to the Er^{3+} doped rare-earth components. The practical results were financially supported during the project "Femtosecond-laser Assisted Self-Organization Processes for Photonics: Design of Photonic Devices and Experimental Characterization", coordinated by the University of Zaragoza, Spain, where I received a postdoctoral research internship.
- ❖ **optical sensors implemented with special fibers** such as LMA (large mode area), PCF (photonic crystal fibers), fluorescent and SEF (surface emission optical fiber). The practical results obtained are mainly funded with the ASTR-CA1/2016 project and HydroSens and DAMFU projects.

Subchapter 2.2 **Image Processing**. The activities of the doctoral dissertation are briefly presented: the automatic diagnosis system for cytologic slides analysis during the Pap net procedure for CIN classification, algorithms for segmentation and statistical classification with original contributions developed by the author and the archiving of results using a virtual cytopathology laboratory

implementation, with remote access of the specialists affiliated to that laboratory. The results obtained were mainly funded by the project "Research on the Development of Computerized Techniques for Cytological Screening and Assistance of Histopathological Diagnosis", CNCSIS 885, 2002-2004.

Sub-chapter 2.3 Renewable energies, referring to the procedure to produce the optimal organic solar cells. The practical results are supported by the POC-ORGLIGHT2018 project.

Chapter 3 - Future Directions for Professional Development and Research Activities. It presents the didactic and research objectives that emerge in the next stage. For the research direction are proposed possible doctoral themes, with the possibility of co-tutelle coordination, due to the multidisciplinary character of the research, on the fields financed by the ongoing projects: SALIVAGES started in 2018 on biosensors, Integrated Microwave Photonics started in 2018 in the field of automotive and ORGLIGHT 2018 respectively, in the field of renewable energies.

Rezumat

Această teză de abilitare prezintă activitățile didactice și de cercetare, precum și contribuțiile științifice ale autoarei, din perioada următoare susținerii tezei de doctorat având titlul „*Metode pentru extragerea și interpretarea informațiilor în imagistica medicală*”, susținută în anul 2008.

Teza de abilitare este structurată pe trei capitole. Toate aceste capitole subliniază activitățile de cercetare ale autoarei și rezultatele obținute în domeniul ingineriei electronice, de telecomunicații și tehnologia informației, având aplicații în nanotehnologie.

Capitolul 1 – Realizări academice și profesionale. Acest capitol prezintă sinteza activităților autoarei până în prezent (anul 2018) prin descrierea în subcapitolul 1.1 a Evoluției carierei didactice, subcapitolul 1.2 Colaborările cu studenții și respectiv în subcapitolul 1.3, Sinteza activităților de cercetare pe cele 3 subdirecții principale de dezvoltare a acestora: sisteme electrice și inginerie medicală (înainte de susținerea doctoratului), respectiv fonică, optoelectronică și optică (după susținerea doctoratului).

Capitolul 2 – Aplicații ale fotonicii. În acest capitol se abordează în extenso prezentarea rezultatelor de cercetare legate de domeniul fotonicii, din perioada postdoctorală în principal, ca o continuare firească a activităților pe acest domeniu, începute încă din perioada doctorală. Capitolul este organizat în 4 subcapitole:

Subcapitolul 2.1 **Ghiduri optice, fibre optice și senzori.** Se prezintă etapele de dezvoltare a trei direcții principale de cercetare legate de:

- ❖ implementarea componentelor de tip senzor/biosenzori a căror funcționare se bazează pe **fenomenul plasmonic**. S-au prezentat rezultatele practice obținute, finanțate în principal de proiectele de cercetare UEFISCDI-PED67 (2016-2018) cu continuarea sa ERANET-SALIVAGES(2018-2021), bursa „invited profesor și researcher” finanțate de universitatea UNINA2, Italia (2013), un stagiul postdoctoral la UMONS, Belgia și proiecte Horizon2020-COST la care particip activ ca cercetător expert pe domeniul Optoelectronicii și Fotonicii.
- ❖ **proiectarea optimizată a ghidurilor optice amplificatoare** și anume proiectarea componentelor optimizate de tip microrinel cu proprietăți de amplificare, datorită materialului codopat cu pământuri rare Yt^{3+} - Er^{3+} , precum și a ghidurilor amplificatoare $LiNiO_3$, dopate cu Er^{3+} S-au prezentat rezultatele practice obținute datorită finanțărilor provenite în principal prin proiectul „Femtosecond-laser Assisted Self-Organization Processes for Photonics: Design of Photonic Devices and Experimental Characterization”, având coordonator Universitatea din Zaragoza, Spania, unde am beneficiat de un stagiul de cercetare postdoctoral.
- ❖ **senzori optici implementați cu fibre optice speciale** de tip LMA, PCF, fluorescente și cu emisie pe suprafață. S-au prezentat rezultatele practice obținute, finanțate în principal din proiectele ASTR-CA1/2016 dar și HydroSens și DAMFU.

Subcapitolul 2.2 **Prelucrări de imagini.** Se prezintă succint activitățile din cadrul tezei de doctorat: sistemul automat de asistare a diagnosticului în cazul analizelor Pap smear cu casificare citologică CIN, algoritmi de segmentare și clasificare statistică cu contribuții originale dezvoltați de autoare și arhivarea rezultatelor folosind codificarea SNOMED internațională, pe domeniul citologiei, folosind o implementare a unui laborator virtual de citopatologie cu consultare de la distanță. Rezultatele practice obținute au fost finanțate în principal din proiectul "Cercetari privind dezvoltarea tehnicilor

computerizate de screening citologic și asistare a diagnosticului histopatologic", CNCSIS 885, 2002-2004.

Subcapitolul 2. **Energii regenerabile** și anume fabricarea unor celule solare organice cu eficiență optimă. Rezultatele practice sunt susținute de proiectul POC-ORGLIGHT2018.

Capitolul 3 – **Directii viitoare de dezvoltare profesionala și de cercetare**. Se prezintă obiectivele didactice și de cercetare care se conturează în etapa imediat următoare. Pe direcția de cercetare sunt propuse posibile tematici de doctorat, cu posibilitate de coordonare de asemenea prin co-tutela, datorită caracterului multidisciplinar al cercetării, pe domeniile de activitate finanțate de proiectele aflate în derulare : SALIVAGES început în 2018 pe domeniul biosenzorilor, Integrated Microwave Photonics început în 2018 pe domeniul automotive și respectiv ORGLIGHT 2018, pe domeniul energiilor regenerabile.

Teza de abilitare, Motivație

Inovația tehnologică se naște din dorința de a se asigura bunăstarea cetățenilor societății actuale, din punct de vedere al siguranței, sănătății și prosperității lor. În managementul de cercetare și în economie se creează piețe viitoare pentru a asigura prosperitatea companiilor naționale pe fondul concurenței mondiale. În termeni educaționali aceasta se reflectă în capacitatea cunoștințelor științifice necesare cetățenilor noștri astfel încât aceștia să contribuie la inovare și să utilizeze înțelept principiile tehnologiei actuale, care se dezvoltă într-un ritm foarte alert. Misiunea directoare a tuturor proiectele noastre de inovare trebuie să fie satisfacerea celor mai importante provocări globale ale timpurilor noastre - adaptarea rapidă la tendința digitizării economice globale și utilizarea eficientă a resurselor în condiții de siguranță maximă. Internet of Things (IoT) se concretizează ca „sistemul nervos central” al lumii inteligente (smart-city, smart-building, smart-industry etc) ce se bazează pe echipamente și aparate care interacționează de la distanță cu oamenii, printr-un mediu de tip realitate virtuală.

Fotonica se regăsește în centrul atenției Europei în abordarea acestor provocări, fiind un domeniu ingineresc cheie pentru tranziția spre revoluția tehnologică a științei utilizării luminii în aplicații ingineresti. Anul 2015 a reprezentat un an hotărâtor care a marcat necesitatea implementării acestei tranziții, fiind declarat de către UNESCO „Anul internațional al tehnologiei luminii”, piatra de hotar ce marchează necesitatea folosirii proprietăților luminii într-o tehnologie inovativă caracterizată de precizie, rapiditate și nepoluare, în beneficiul societății, având un mare impact economic. Impactul economic se reflectă în creșterea sectorului de piață dedicat componentelor și sistemelor fotonice. Conform unui studiu efectuat de Photonics21, grupul care asigura susținerea și accelerarea implementării acestei tehnologii care activează pe lângă Comisia Europeană, 40% din SME-urile care activează în domeniul de piață al fotonicii (peste 5.000 companii), asigurând un număr ridicat de locuri de muncă. Tehnologia fonică este utilizată în domeniul sănătății, energiei regenerabile și a iluminatului, producției industriale, în agricultură și industria alimentară, precum și în aplicații de securitate, telecomunicații și IT, asigurând baza științifică și tehnologică comună pentru aceste discipline. De asemenea se precizează că 30% din economia existentă se bazează pe tehnologia fonică [Photonics21]. Fiind un domeniu interdisciplinar, fotonica implică cooperarea grupurilor de specialiști din fizică, chimie, inginerie și medicină în domenii ca știința materialelor, circuite fotonice, biologie și medicină. Acest domeniu de studiu se regăsește și în studiul disciplinelor predate de Grupul de Optoelectronică de la Catedra de Bazele Electronicii, Facultatea de Electronica, Telecomunicații și Tehnologia Informației din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca (UTCN), grup de cercetare în cadrul căruia îmi desfășor activitatea în mod activ încă din anul 2006. Orientarea spre domeniul fotonicii s-a realizat în perioada postdoctorală, începând cu anul 2008. Soluțiile fotonice inovative propuse în *perioada postdoctorală*, au vizat următoarele direcții principale:

- proiectarea și dezvoltarea unor sisteme cu senzori plasmonici, monitorizați de la distanță,
- proiectarea componentelor active microinel utile pentru aplicații cu filtre sau demultiplexoare în sistemele de comunicații WDM
- proiectarea și dezvoltarea unor senzori optici pe fibre optice
- procesarea semnalului optic

Alte domenii ingineresti cu caracter interdisciplinar în care am contribuit la elaborarea unor soluții inovative ce au implicat inteligența computațională, cu precădere *în perioada stagiului de doctorat* (până în anul 2008, dar și după):

- biostatistică, baze de date și imagistică medicală
- modelare și simulare pentru optimizarea funcționării motoarelor cu reluctanță autocomutate și a supercapacitorilor

Activez de asemenea în grupuri de cercetare din străinătate, coordonând studenți, masteranzi și doctoranzi, atât din UTCN cât și de la universitățile partenere implicate: Universitatea Luigi Vanvitelli din Italia (fosta UNINA2), Universitatea din Mons, Belgia, Universitatea din Limoges, Franța, Universitatea din Zaragoza, Spania și Universitatea din Bialystok, Polonia, fiind câteva din principalele universități cu rezultate concretizate în articole științifice care marchează contribuțiile inovative pentru teze de licență, disertație și doctorat ale studenților coordonați de autoare).

Cap 1. Realizări academice și profesionale

1.1 Evoluția carierei didactice

Subsemnata, **Conf.dr.ing. Ramona-Voichița Gălățuș**, sunt absolventă a Facultății de Automatica și Calculatoare din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, secția Știința Calculatoarelor. Mi-am desfășurat activitatea didactică și științifică în cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca (UTCN), începând cu admiterea la doctorat în anul 1998 (prof V. Trifa, Departamentul Acționări electrice și Roboți) pe plan științific, iar activitatea *didactică* începând cu anul 1996 când am devenit asistent asociat pentru susținerea laboratoarelor de Algoritmi (prof Iosif Ignat, Departamentul Calculatoare) și respectiv Baze de Date (prof Robert Dollinger, Departamentul Automatica). În anul 2006 devin asistent universitar la Catedra de Bazele Electronicii, Facultatea de Electronica, Telecomunicații și Tehnologia Informației, unde îmi desfășor activitatea și în prezent.

Încă de la început, principala mea arie de interes a constituit domeniul ingineriei în tehnologia informației și știința calculatoarelor, cuprinzând arii aplicative diverse în domeniul acționărilor electrice și roboți, a ingineriei medicale, biostatistică, fotonica și economie. Pe măsura trecerii anilor, am dobândit competențe în toate aceste domenii și am derulat cercetări de succes care au urmărit aplicarea instrumentelor digitale în domenii interdisciplinare.

Începând cu anul 1998, am ocupat o poziție de **doctorand cu frecvență**, la Catedra de acționari electrice și roboți din UTCN unde mi-am desfășurat activitatea în domeniul “inteligenta artificială pentru acționari electrice și roboți”, susținând laboratoarele de rețele neuronale la disciplinele de inteligenta artificială ale grupului condus de prof Viorel Trifa, coordonatorul tematicilor legate de “Switched Reluctance Motor Based Drive Systems” (<http://users.utcluj.ro/~trifa/ResGroup.html>). Am făcut parte din două contracte de cercetare ale grupului de cercetare condus de prof Trifa: Cercetari privind implementarea unui laborator virtual pentru motoare electrice reluctante folosind rețeaua Internet. CNCSIS, 2004-2006 și Implementarea comenzii în timp real a servomotorului cu reluctanta autocomutat cu alimentare ecologică din rețeaua de c.a. CNCSIS, 1998-2000. Colaborarea a fost concretizată prin **publicarea a 7 lucrări științifice**: [OptimGalatus98][AQTRGalatus98][SanJoseGalatus99][ElectroGalatus99][IasiGalatus99][CademecGalatus99][PowerElGalatus99].

În paralel, datorită experienței dobândite ca inginer stagiar la Creditanstalt Investment Bank în aplicații cu baze de date FoxPro, SQL, Oracle, am colaborat cu Departamentul de informatică economică de la Facultatea de științe economice din cadrul Universității Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca (UBB), coordonat de prof Sabin Goron, unde am susținut laboratoarele de Informatică: programare baze de date și algoritmi implementați în limbajul de programare Delphi. Activitatea s-a concretizat prin publicarea unei cărți ca și co-autor, folosită ca **suport de curs** programare Delphi [DelphiGalatus98].

Începând cu anul 1999, fiind înscrisă la **Masterul de Informatică Medicală și Biostatistică** din cadrul Universității de Medicină și Farmacie “Iuliu Hatieganu”, Cluj-Napoca (UMF-Cluj) am început o colaborare pe domeniul ingineriei medicale și biostatistică cu Grupul Disciplinelor de Informatică Medicală de la UMF-Cluj. Am susținut laboratoarele de Informatică medicală și Biostatistică la secțiile de Medicină generală și respectiv Stomatologie, precum și laboratoarele de Imagistică medicală la Masterul de informatică medicală. Activitățile de colaborare s-au concretizat prin publicarea a **patru cărți** ca și co-autor [SRIMA2000, SRIMA2003, SRIMA2004, AlmaMater2002].

În cadrul acestei colaborări cu UMF-Cluj, am participat de asemenea ca membru în proiectul, **“Programul de Reforma a Invatamantului Superior și Cercetării RO-4096”** [ProiectMaster RO-4096](84 de milioane USD de la Banca Mondiala)- DEZVOLTAREA STUDIILR LA NIVEL DE MASTER PENTRU INFORMATICA MEDICALA, care a beneficiat de o finanțare totală 146.000,00USD de la Banca Mondiala și Guvernul României. Proiectul a susținut o strategie care a urmat trei direcții principale de dezvoltare: diversificarea nivelelor de instruire oferite de învățământul superior; introducerea unor noi direcții sau dezvoltarea celor existente, în conformitate cu cerințele economiei de piață: creșterea performanțelor personalului academic și introducerea unor metode moderne de învățare. S-a obținut sprijin financiar pentru dezvoltarea primului program de masterat din domeniul medical din țară, și anume, Masteratul de informatică medicală. Masteratul a avut următoarele obiective: formarea de specialiști cu pregătire interdisciplinară: medicală, informatică, management medical și statistică pentru promovarea reformei sistemului sanitar în România, contribuind la modernizarea sistemului informațional, formarea medicilor, cadrelor universitare, doctoranzilor, cercetătorilor pentru utilizarea avansată a tehnicii de calcul și a aparatului statistic. S-au dezvoltat două direcții de studii master, Masterul de BioInformatică (studii paraclinice și laborator) și Masterat de informatică medicală și biostatistică (studii medicale).

Am fost responsabilă cu întreținerea **bazelor de date utilizatori** cadre didactice și studenți de pe serverul din rețeaua didactică (COMPAQ PROLIANT 1600R) în timpul studiilor de la acest Master, apoi am participat activ ca și cadru didactic la îndeplinirea obiectivelor acestui proiect.

Obiectivele proiectului au fost: formarea de specialiști cu pregătire interdisciplinară, formarea medicilor, cadrelor universitare, doctoranzilor, cercetătorilor pentru utilizarea avansată a tehnicii de calcul și a aparatului statistic pentru: analiza și proiectarea sistemelor informatice medicale; asigurarea unei pregătiri avansate în informatică medicală și biostatistică strict necesară următoarelor categorii de specialiști: analiști de sisteme, organizatori de sanătate, medici cu activitate în imagistica medicală, cercetători; înființarea și acreditarea masteratului de informatică medicală; obținerea unei finanțări europene pentru realizarea recunoașterii diplomei și transferului de credite pentru masteratul de informatică medicală.

Am fost membru în echipa **proiectelor educaționale**:

- Socrates IP 1998, 1999, 2000 (Director: Prof. Dr. A.Achimaș (UMF Cluj-Napoca): “Telemedicine and distance learning”; [Socrates1]
- Socrates CDA 1998, 1999, 2000 (Director: Prof.Dr. Ș.Țigan (UMF Cluj - Napoca): “Master Degree în Medical Informatics. [Socrates2]

Am elaborat 3 articole educaționale în timpul conferințelor educaționale organizate în cadrul acestor proiecte, publicate în revista Applied Medical Informatics[AMIGalatus99], [AMIGalatus2000], [HTGalatus2000].

După finalizarea Masterului de Informatică Medicală și Biostatistică, UMF în anul 2000, am obținut un post de asistent universitar până în anul 2006 la această catedră. **Lucrarea de disertație** având titlul **“WEB Atlas în Pathology, using SNOMED Codification”** a fost coordonată de profesor dr mat Ștefan Țigan și realizată în colaborare cu Universitatea din Oviedo (coordinator prof Andres Sampedro) unde am beneficiat de o **bursă Leonardo-da-Vinci**. Aplicația s-a utilizat pentru training-ul și testarea cunoștințelor medicale ale medicilor specialiști în domeniul patologiei. S-au publicat două articole [AMI2008][PathologyGalatus], având coautor și coordonatorul din Spania a activității mele din timpul bursei LeonardoDaVinci (prof Andres Sampedro). În aceeași perioadă sunt membru în echipa proiectului de cercetare: **“Medical Algorithms - Diagnosis and Treatment”**, VIASAN, director contract prof Nicolae Miu.

În paralel am început o colaborare cu Catedra de Calculatoare de la Facultatea de Automatica și Calculatoare ca și *cadru didactic asociat* la disciplinele “*Algoritmi*” coordonată de prof Iosif Ignat și “*Baze de date*”, coordonată de prof Robert Dollinger, precum și la Catedra de Bazele Electronicii de la Facultatea de Electronica, Telecomunicații și Tehnologia Informației din UTCN, în domeniul “**Optoelectronica și Fotonica**”, coordonată de prof Emil Voiculescu și prof Nicolae Puscas de la Politehnica Bucuresti. Sub îndrumarea prof N. Pușcaș am obținut primele rezultate în domeniul Optoelectronicii și Fotonicii, care s-au concretizat prin publicarea a **3 articole ISI** [SPIEGalatus2007][TaylorGalatus2009][SPIEGalatus2009].

În anul 2006 am devenit **asistent universitar** la aceasta catedra (BEL-ETTI-UTCN), unde îmi desfășor activitatea și în prezent, în domeniile didactice ingineresti de Optoelectronică, Fonică și Comunicații optice. Sunt titular de curs pentru „Sisteme optoelectronice în telecomunicații” (SOT), anul 4, Telecomunicații, precum și „Management Logistic” (ML) la studii de licență, an 4 Inginerie economică și respectiv „Senzori optoelectronici cu aplicații industriale” (SOAI) la nivel de studii Master, an I, Circuite și sisteme integrate. La aceste discipline am elaborat sistematic **suportul de curs** în format ppt, adaptat la evoluția tehnologică rapidă, înregistrată în aceste domenii. În 2013 sunt coautoarea unui **Manual pentru lucrări de laborator** pe domeniul Optoelectronicii [LucrariGalatus2013]. În urma experienței didactice dobândite și a cunoștințelor provenite din activitatea de cercetare s-a elaborat lucrarea cu titlul „**Senzori Optici: concepte fundamentale și aplicații**” [SenzoriGalatus2016]. Am contribuit la dezvoltarea bazei materiale a laboratoarelor de Optoelectronică, prin adoptarea Kit-ului STEM cu numele Photonics Explorer de la Vrije Universiteit, Brussels, Belgia (acesta a fost tradus în limba română prin participarea colectivului de Optoelectronică). De asemenea în domeniul Management logistic și Senzori optoelectronici am contribuit la dezvoltarea unor lucrări de laborator bazate pe platforma cu microcontroler, Arduino, ușor de utilizat din punct de vedere didactic, care urmărește informația predată la curs. S-a realizat dotarea continuă a laboratorului cu componente și dispozitive necesare pentru bunul mers al activității: s-au utilizat componente RFID, senzori (utili în domeniul logistic pentru proiectarea de aplicații inteligente) și optoelectronice.

Teza de doctorat susținută în anul 2008 a fost orientată pe domeniul “Machine Vision” și avută ca titlu “**Metode de extragere și de interpretare a informațiilor în imagistica medicală**” și a fost finalizată prin suportul material oferit de proiectul “Cercetări privind dezvoltarea tehnicilor computerizate de screening citologic și asistare a diagnosticului histopatologic ” (Research and development of techniques for computerized cytological screening and hystopological assisted diagnosis), national research project, type A, Code-CNCSIS 885, 2004-2006 (director proiect prof V Trifa, coordonatorul tezei de doctorat). În timpul tezei de doctorat au fost publicate pe domeniul tezei articolele [AMIGalatus2001], [MediTechGalatus2007], [ICCPGalatus2006], [ICCCGalatus2005], [AMIGalatus2004] și [ActaGalatus2004].

Începând cu anul 2009 am participat ca membru în echipa următoarelor proiecte educaționale:

- Proiectul POSDRU/18/1.2/G/6831, “*Studii universitare de masterat în domeniul Inginerie și Management*”, Doru Farcas – *manager* de proiect, unde am activat ca **expert pe termen lung**. Proiectul s-a desfășurat în perioada 2009-2011 și s-a concretizat prin elaborarea unui capitol din manualul didactic la care am fost autor, “*Managementul sistemelor logistice: manualul calificării*” [ProiectManagement6831].
- Proiect DidaTec, “*Școală universitară de formare inițială și continuă a personalului didactic și a trainerilor din domeniul specializărilor tehnice și ingineresti*”, cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013, axa prioritară: 1 „Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii

economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere” și domeniul major de intervenție: 1.3 „Dezvoltarea resurselor umane din educație și formare”. În cadrul acestui proiect am participat la cursurile de pregătire concretizate printr-un examen final pentru obținerea diplomei de absolvire și respectiv elaborarea suportului de curs “Curs de Management Logistic și Lucrări de Seminar - format electronic” încărcate pe serverul UTCLUJ-DIDATEC(2013). Structura cursului de Management Logistic a fost concepută astfel încât studenții să asimileze activități practice și să se deprindă cu analiza studiilor de caz inspirate după modele reale. În acest sens, activitățile de analiză a studiilor de caz desfășurate în cadrul scolilor rezidențiale CODECS pe care le-am absolvit primind Diploma în Management profesional de la OpenUniversity, UK (2010) au oferit un suport educațional practic, adaptat la cerințele scolilor de management internaționale [ProiectDidaTec].

Sunt coordonator a 5 **Acorduri Erasmus** [AcorduriErasmus], începând cu anul 2014 cu următoarele universități din străinătate: UMONS – University of Mons, Belgia; UNINA2 – University of Vanvitelli, Aversa, Italia; UNIZAR – University of Zaragoza, Spania, XLIM – Institutul XLIM al Universității din Limoges, Franța; Universitatea din Białystok, Polonia. Am coordonat deplasările Erasmus a 6 studenți, acceptați în urma selecției organizate în cadrul Facultății ETTI: la UMONS, 6 studenți la UNINA2, 5 studenți la UNIZAR, 6 studenți la XLIM. până în prezent, un total de 23 studenți au beneficiat de burse Erasmus pe aceste Acorduri pe care le coordonez.

În fiecare an am invitat și organizat cadrul de desfășurare a cursurilor susținute de profesori din străinătate, prin **schimburi Erasmus-invited professors**: prof Juan Valles de la UNIZAR (anul 2014 și 2018), prof Marc Wuilpart de la UMONS (anul 2014 și 2016), prof Luigi Zeni de la UNINA2 (anul 2016) împreună cu colegul său din același grup, prof Aldo Minardo de la UNINA2 (anul 2018). De asemenea prof Francis Berghmans de la B-PHOT, Vrije Universiteit Brussels, Belgia și Cercetător dr ing Jean-Louis Auguste de la XLIM, Franța. În urma organizării cursului de profesor invitat de la B-PHOT, începând cu anul 2016 am devenit coordonator pentru acordul UTCN-Grup Optoelectronica și asociația non-profit **Eyest-Institutul B-PHOT** de la Vrije Universiteit Brussels, Belgia, pentru promovarea activităților educaționale legate de **Fotonica**, în România (UTCN a devenit Local Area Partner pentru Eyest). A beneficiat de asemenea și Institutul de Geodinamică de la Academia Română (director C. Hanganu) de un astfel de kit, pentru organizarea unor activități educaționale legate de formarea tinerilor în domeniile fizicii. S-a utilizat acest curs în cadrul școlilor de vară pentru fizică și Fonică, realizate cu studenți și elevi, încă din anul 2015.

În anul 2010 am obținut o **bursă postdoctorală** de 3 ani, în cadrul proiectului „Dezvoltarea și susținerea de programe postdoctorale multidisciplinare în domenii tehnice prioritare ale strategiei de cercetare - dezvoltare - inovare 4D –POSTDOC”, POSDRU/89/1.5/S/52603 (2010-2013). Propunerea proiectului de cercetare evaluată de un grup de cercetători evaluatori acreditați la nivel național a fost „Metode de prelucrare a semnalului optic”. În cadrul acestei burse am beneficiat de 3 mobilități la Universități din străinătate, având activități de cercetare în domeniul fotonicii: UNIZAR-Spania, UNINA2-Italia și UMONS-Belgia.

Au fost organizate sesiuni de instruire, în cadrul cărora am participat ca trainer, cu profesorii de la licee din România, susținute de **Inspectoratul Județean pentru Educație Cluj** (dna prof Chicinas), în urma cărora s-au elaborat diplome de specializare pentru profesorii participanți. Suportul acestor sesiuni de specializare a fost asigurat de Eyest (<http://www.eyest.eu/STEM-Programs>), prin kit-ul Photonics Explorer înregistrat în sistemul educațional internațional STEM (SCIENCE • TECHNOLOGY • ENGINEERING • MATHEMATICS). A fost obținută în 2016, o sponsorizare printr-o societate non-profit din județul Cluj, 11EVEN, pentru dotarea a 12 licee cu acest Kit. (figura 1.1-1.3).

Începând cu anul 2016, ocup poziția de Conferențiar universitar la Departamentul de Bazele Electronicii, ETTI unde îmi desfășor activitatea și în prezent. De asemenea sunt membră în **Consiliul Facultății ETTI** începând cu anul 2016, responsabilă cu disciplinele de Optoelectronică. Încă din acest an am organizat în fiecare an, vizite de studiu la companii private pentru studenții de la ETTI, dar nu numai : Romtelecom (T-Mobile) – Departamentul tehnic de comunicații, Emerson – Departamentul logistica, Bosch – Engineering (figura 1.4), Teledatanet SRL, Prisbyan Group. De asemenea sunt responsabilă în elaborarea statutului de funcții pentru disciplinele grupului de Optoelectronică și Fotonica, de la ETTI, în fiecare an.

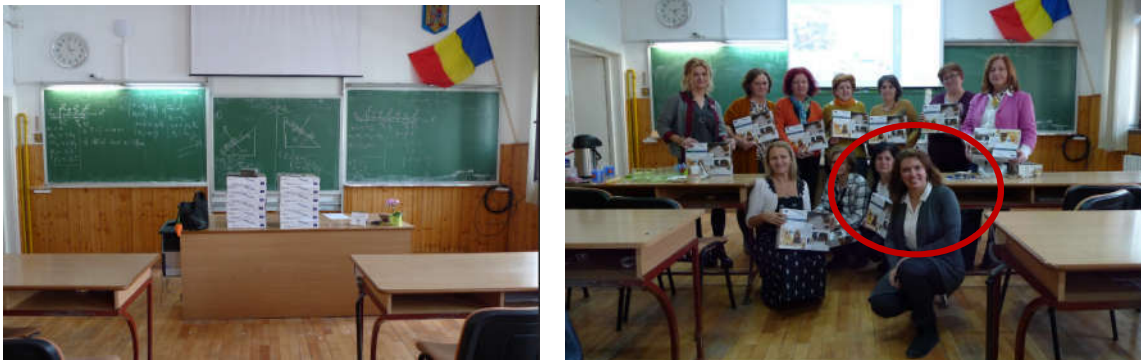


Figura 1.1. Training-ul realizat de autoare pentru profesorii de fizică de liceu din Jud Cluj



Figura 1.2. Training-ul realizat de autoare, pentru elevi de liceu din Jud Cluj, în anul 2016

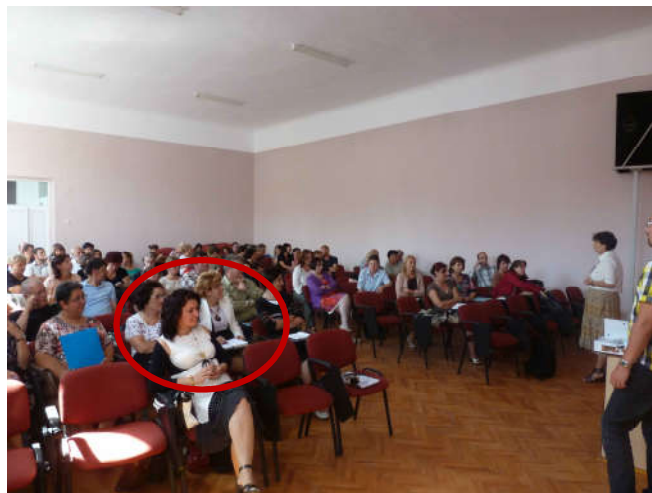


Figura 1.3. Training-uri Eyest- Kit Photonics Explorer, coordonat de prof inspector judetean pentru fizica, Chicinaș (anul 2016)



Figura 1.4. Vizita de studiu cu studenții la Bosch – locatia Jucu, jud Cluj, respectiv TeleDataNet

Fiind preocupata de dezvoltarea continua a propriilor aptitudini profesionale, am participat la cursuri de instruire care au contribuit la **elaborarea continutului cursurilor** predate la disciplinele pe care le predau în UTCN, în conformitate cu **standardele de competența actuale**. Astfel am participat la workshop-ul de **instruire ACPART ale Agentiei Nationale Pentru Calificările din Învățământul Superior și Parteneriat cu Mediul Economic și Social**, unde am obținut Certificat de absolvire. Programul de instruire ACPART (2009) este dedicat dezvoltării cadrului național al calificărilor din învățământul superior din România, pentru implicarea instituțiilor de învățământ superior din România în dezvoltarea unei societati europene bazat pe cunoaștere și productivitate. Aceste sesiuni de instruire au avut ca scop să realizeze un sistem informatic integrat pentru centralizarea tuturor descrierilor calificărilor universitare într-un format digital structurat, într-o bază de date nationala. In anul 2009 am obținut și Diploma-certificat în Managementul proiectelor, recunoscuta CNFPA la EuroBestTeam SRL, Bucuresti. în anul 2018 am ontinut **Diploma-certificat de competenta în Antreprenoriat**, recunoscuta ANC la PicOil și IPA S.A. Cluj în cadrul proiectului “Dezvoltarea antreprenoriatului și înființarea de întreprinderi sustenabile în mediul urban din regiunea Nord-Vest”, Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Capital Uman 2014-2020, POCU/82/3.7/104067. [Antreprenoriat2018]. Am absolvit cursurile modulelor de **Management profesional**, de la CODECS S.A. -Open University, UK, obtinand în anul 2010, diploma în Management profesional, de la Open University, UK. în 2010 am obținut de asemenea Diploma-certificat Xpert în Comunicare, de la Asociatia EUOED, Bucuresti și Eopaische Prufungszentrale, Dortmund, respectiv Diploma recunoscuta diplomă de absolvire acreditată ANC, pentru **Managementul proiectelor structurale**. Alte certificate se refera la participarea la Certificatul de absolvire a cursului “Technological Development în Sustainable Economy”(2009) pentru abordarea subiectelor legate de Proprietate intelectuala și Elaborarea cererilor de finantare pentru proiecte nationale și internationale FP7.

Am participat la 2 școli de perfecționare a cunoștințelor științifice:

- COST MP1401-EPFL 2018 Winterschool Fiber Lasers & Optical Fiber Technology, February 13 – February 16, 2018 at Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL) în Lausanne, Switzerland [EPFL2018]. Acesta a inclus urmatoarele directii de cercetare: Materials for photonics and optical fibers, Modeling of fiber lasers, IR- transparent materials and fibers for lasers, Optical fiber waveguides, fiber Bragg gratings, and lasers, NIR and Mid-IR fiber lasers, Biomedical applications of Mid-IR fiber lasers, Lausanne, Elvetia, 2018.
- 12th edition of the International School on Hybrid and Organic Photovoltaics (ISOPHOS), Toscana, Italy, 2018 [IsoPhos2018]. Acesta a inclus urmatoarele directii de cercetare: recent advances în science and technology of organic and hybrid photovoltaic devices. Experimental and

theory/simulation descriptions of the organic and hybrid PV, polymers, perovskites, dye solar cells and the use of Graphene and other 2D materials for energy applications.

1.2 Colaborări cu studenții de la licența, master și doctorat

În anul 2016 am obținut o bursă la UNINA2, prin competiție internațională, ca **Invited professor** și **Invited researcher**. În timpul perioadei de activare în această instituție am susținut cursurile de “**Design of Integrated Circuits**” (coordonator prof Luigi Zeni) pe o perioadă de 4 luni și prelegeri pentru doctoranzii și postdoctoranzii Departamentului **Industrial and Information Engineering**. Am coordonat activități de cercetare pentru studenții doctoranzi Reem Sweid, Laura Conte, Luigi Bibbo și Francesco Mattiello, precum și studentul masterand Luigi Luongo. Aceste activități s-au concretizat prin publicarea a 5 lucrări științifice [SensorsGalatus2013], [SPIEGalatus2013], [ActuatorsGalatus2013], [SPIEGalatus2017], [SASGalatus2016].

Încă de la începutul ocupării poziției de cadru didactic la grupul de Optoelectronică, UTCN, în fiecare an coordonez activitatea a cel puțin **6 studenți anual**, pentru finalizarea studiilor prin elaborarea proiectului de licență, absolvenți ai Facultății de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, atât pentru specializarea EA (Electronică Aplicată) și TST (Tehnologii și Sisteme de Telecomunicații) cât și IE (Inginerie Economică). De asemenea am coordonat 3 lucrări de disertație pentru Masterul CSI (Circuite și Sisteme Integrate) din cadrul ETTI, în anii 2015, 2016 și 2018 pe domeniul comunicațiilor optice și senzori. În fiecare an, începând cu anul 2012, sunt membră în comisia de licență și de disertație a studenților, în toate sesiunile de susținere a proiectelor de licență și respectiv disertație – în prima etapă în comisia de Inginerie Economică, apoi în comisia de bazele electronicii unde participă studenții de la specializările Electronica și Telecomunicații și Telecomunicații.

În anul universitar 2018-2019 voi coordona activitatea de cercetare a **doi studenți doctoranzi**, acceptați pentru mobilitate Erasmus, de la Universitatea de Știință din Zaragoza (UNIZAR). Activitatea de cercetare va viza dezvoltarea aparatului matematic de simulare a comportamentului fibrelor optice fluorescente codificate și respectiv aplicații cu senzori optici. Aceste activități vor continua colaborarea de cercetare cu grupul prof Juan Valles, pe domeniul ghidurilor optice din cadrul proiectului „**Femtosecond-laser Assisted Self-Organization Processes for Photonics: Design of Photonic Devices and Experimental Characterization**”, Principal Investigator: Juan Antonio Valles Brau, Universitatea de Științe din Zaragoza, Spania - proiect câștigat prin competiție în Spania, unde sunt membră în colectivul de cercetare și responsabilă din partea UTCN pentru dezvoltarea activităților de proiectare a ghidurilor optice.

În anul 2018 a fost câștigat proiectul Erasmus Mundus – eMIMEO, Erasmus+: Higher Education - Erasmus Mundus Joint Master Degrees (EAC/A05/2017), studii de **Master**, în care sunt **membră colectivului UTCN care a participat la elaborarea acestui proiect și a curicului de studiu, ca parte din consorțiul Facultăților** având un program de studiu de master în domeniul „*Erasmus Master in Microwave Electronics and Optics*”. Precizez că în acest moment fac parte și din proiectul COST – Action CA16220 European Network for High Performance Integrated Microwave Photonics, pe același domeniu de cercetare, activități care vor folosi la completarea curicului pentru acest Master internațional, coordonat de UNILIM (Universitatea din Limoges, Franța) și care **sprijină activitatea de cercetare a tinerilor cercetători** și a doctoranzilor, respectiv a grupurilor de cercetare, conferindu-le vizibilitate internațională.

În cadrul proiectului PNIII-PED67 [PED67Galatus2017], a cărui director de proiect sunt, am organizat în anul 2017 un “Workshop on Integrated nanodevices for environmental analysis” pentru **studenți, masteranzi și doctoranzi** din UTCN și instituția parteneră (UMF), astfel contribuind la

formarea tinerilor cercetatori pe domeniile de aplicabilitate a fotonicii. La acest workshop cu participare internațională au participat ca invitați, profesori și cercetători din Franța, Polonia și Czech Republic (figura 1.5 și 1.6).



Figura 1.5. Workshop “Integrated nanodevices for environmental analysis”-participanți



Figura 1.6. Workshop “Integrated nanodevices for environmental analysis”-studenți

1.3 Sinteza activitatilor de cercetare

În acest subcapitol vor fi prezentate activitățile de cercetare, cu direcțiile principale de cercetare abordate de autoare. Aceste activități și rezultatele obținute sunt tratate în extenso în Capitolul 2 al prezentei teze de abilitare. Sinteza contribuțiilor științifice este cuprinsă în sub-capitolul 2.4 al prezentei teze.

1.3.1 Sisteme electrice: actionari electrice pentru motoare cu reluctanta autocomutate și baterii și supercapacitori (2000-2009)

Actionari electrice pentru motoare cu reluctanta autocomutate a constituit subiectul de debut pentru activitatea de cercetare. În perioada de cercetator ca doctorand la Departamentul de Actionari Electrice și Roboți, de la Facultatea de inginerie electrica din UTCN, am dezvoltat aplicații care vizau modelarea, simularea și optimizarea funcționala a motoarelor cu reluctanta autocomutate, activitate care s-a concretizat prin publicarea a **7 articole** la conferințe internaționale de specialitate [OptimGalatus98][AQTRGalatus98][SanJoseGalatus99][ElectroGalatus99][IasiGalatus99][CadamecGalatus99][PowerElGalatus99], în cadrul a 2 proiecte de cercetare care au finanțat dezvoltarea acestor activități, în care am fost membru proiect, cercetator doctorand: “*Cercetari privind implementarea unui laborator virtual pentru motoare electrice reluctante folosind rețeaua Internet*. CNCSIS, 2004-2006.” și respectiv “*Implementarea comenzii în timp real a servomotorului cu reluctanta autocomutat cu alimentare ecologică din rețeaua de c.a.* CNCSIS, 1998-2000.”, amandouă având ca director pe prof Viorel Trifa, coordonatorul de doctorat de la Departamentul de Actionari Electrice și Roboți, IE-UTCN.

Activitățile de cercetare pentru domeniul ingineresc al sistemelor electrice au continuat cu modele ce vizau simularea și optimizarea funcționala a unor componente de electronica de putere. Astfel au fost publicate un număr de **3 articole** [SIITMEGalatus20081], [SIITMEGalatus20082] [AECEGalatus2008], finanțate în cadrul proiectului [Trans-Supercap2008]. Menționez ca articolul [AECEGalatus2008] are un număr de 6 citări indexate WoS și un total de 14 citări.

În domeniul ingineresc ce vizau sisteme cu *senzori inteligenți*, am participat la elaborarea unor aplicații ce vizau monitorizarea construcțiilor hidrotehnice. Am fost membra a contractelor [HydroSens] și respectiv [DAMFU], care amandouă vizau dezvoltarea și validarea, în condiții de funcționare similare celor reale, a prototipului unui produs-sistem, bazat pe tehnologii inovatoare de analiză și fuziune a informațiilor multi-senzoriale, inclusiv a imaginilor digitale, în vederea supravegherii infrastructurilor hidrotehnice critice—IHC, în principal a barajelor, dar și a altor IHC-uri: diguri, stăvilare, canale aducțiuni, castele de echilibru, descărcători de ape mari, galerii, etc, și *am dezvoltat module bazate pe senzori optici distribuiți cu fibra optică*, compatibile cu tehnologiile aplicațiilor existente. Au fost publicate rezultatele prin participări la **3 conferințe** [SIITMEGalatus20171][SIITMEGalatus20173][I2MTC20181] și **1 capitol de carte** [MicroringGalatus1] cu acknowledgement. Ca membra în proiectul [HIPER-CPS] am propus soluții de utilizare a senzorilor optici integrați, de tip optic.

1.3.2. Inginerie medicala: Imagistica medicala (2004-2008), Biostatistică și Baze de date (2003-2004)

Datorită largirii cadrului de multidisciplinaritate în cercetare, prin activarea la Catedra de Informatica medicală și biostatistică, din cadrul Universității de Medicină și Farmacie “Iuliu Hatieganu”, Cluj-Napoca ca asistent universitar, orientarea spre o nouă direcție de cercetare a imagisticii medicale, biostatisticii și a bazelor de date medicale a contribuit la maturizarea abilităților mele de cercetător. Astfel teza de doctorat a urmat noul curs de cercetare, concretizându-se pe tema “*Methods for Information Extraction and Interpretation in Medical Imaging*”, cu titlul științific de doctor în inginerie medicală s-a concretizat prin susținerea acestei teze în anul 2008. Activitățile de dezvoltare a noii tematici de doctorat au fost susținute prin proiectul “*Cercetări privind dezvoltarea tehnicilor computerizate de screening citologic și asistare a diagnosticului histopatologic*”, contract CNCISIS de tip A (2004-2006), având ca director de contract pe prof Viorel Trifa, coordonatorul tezei de doctorat, din cadrul Facultății de Inginerie electrică, având ca specializare “*inginerie electrică; inginerie medicală*” precum și VIASAN, având ca director de contract pe prof dr Nicolae Miu. În cadrul proiectului VIASAN, având ca scop dezvoltarea unei baze de date pacienți, cu posibilități de conectare spre consultare on-line de către persoane având pregătire profesională în domeniul medical, autorizate, a fost integrată și aplicația “*WEB atlas in pathology*”, dezvoltată în cadrul lucrării de disertație la Masterul de informatică medicală, în colaborare cu Universitatea din Oviedo, Asturia, Spania. Contribuțiile autorului au fost publicate în articolele [AMIGalatus2004][ActaGalatus2004].

1.3.3 Optică, Optoelectronică și Fonică – sinteza activităților științifice

Principala direcție de cercetare de **dupa susținerea doctoratului**, o constituie ramura de inginerie a Fotonicii, imbinată cu Nanotehnologii, cu aplicații inteligente ce includ senzori optici, plasmonica, fotonica integrată și fibrelor optice active (laseri) cu aplicații medicale și industriale.

În 2017 a fost elaborat un raportul „**Europe’s age of light!**” [Photonics21] al grupului European Photonics21 de la Brussels, care reunește experți din domeniul Opticii și Fotonicii din Europa, considerat semnificativ din punctul de vedere al aplicațiilor, impactului economic și social al erei tehnologiei luminii și provocări ale direcțiilor de dezvoltare, perspective de viitor la care aceasta ramură a științei va putea răspunde cu succes.

Fotonica (def): este un domeniu ingineresc, exploatează proprietățile unice ale luminii pentru a dezvolta noi aplicații („Photonics: puts light at work”). În acest sens, diferă de *Optica* ca disciplină fundamentală, aceasta fiind orientată pe modelarea proprietăților luminii, pe studiul interacțiunii luminii cu materia, predicția comportamentului și a propagării luminii, încercând să răspundă la întrebările legate de natura luminii.

Fotonica asigură fundamentul erei telecomunicațiilor digitale. Anul 2015 astfel a fost declarat *Anul Internațional UNESCO al Tehnologiei Luminii*, piatra de hotar ce marchează necesitatea folosirii proprietăților luminii într-o tehnologie inovativă (precizie, rapiditate și nepoluare) în beneficiul societății, având un mare impact economic într-o **piată emergentă** al aplicațiilor ce vizează tehnologia luminii. Aceasta tehnologie se adresează rezolvării provocărilor date de limitările existente, într-o economie globalizată aflată într-o dezvoltare foarte rapidă.

Un studiu realizat de grupul Photonics21- platforma Europeană, având ca misiune promovarea la nivel industrial a fotonicii [Photonics21] se evidențiază o creștere anuală medie de 6.2% până în anul 2015, apoi o creștere spectaculoasă pe segmentele de piață în domeniul fonic, conform figurii 1.6.

Fotonica asigură componentele, echipamentele și dispozitivele esențiale pentru era comunicațiilor digitale, asigurând compatibilitate cu sistemele existente și cu echipamentele automatizate de producție care pot fi interconectate. Amintesc pe scurt următoarele: în domeniul comunicațiilor și a display-urilor, piața economică globalizată, pentru fonică (photonic technology market-PTM) a

inregistrat o crestere de 47%, fotovoltaice (12%), tehnologia pentru stiinte medicale 8%, componente și sisteme optice 5% etc.

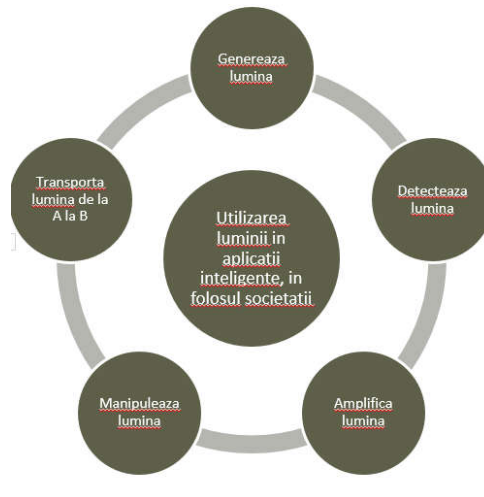


Figura 1.7. Fotonica ca disciplină de inginerie

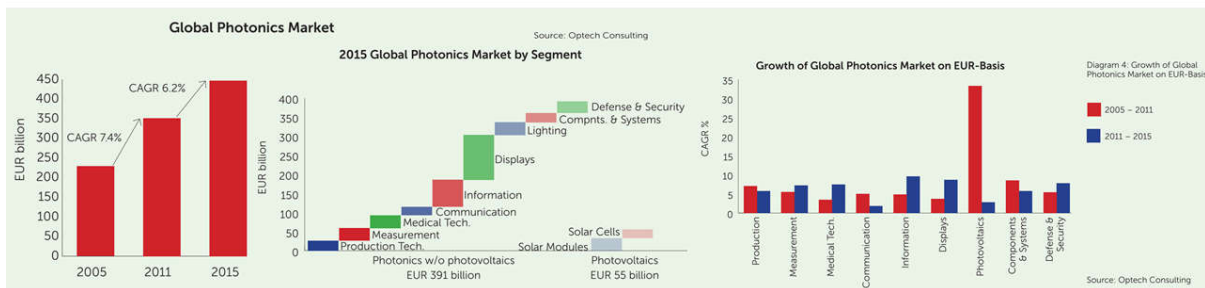


Figura 1.8: Piata tehnologiei fotonicii: average annual grow rate(CAGR), Sursa: **Optech Consulting**

Europa este unul din principalii jucatori pe piata globalizata PTM, ocupand un sector de piata de 15.5%, dupa China 26.6% și urmata de Japonia cu 15.4% și având o rata de crestere pe principalele domenii de aplicabilitate a fotonicii, redate în figura 1.9.

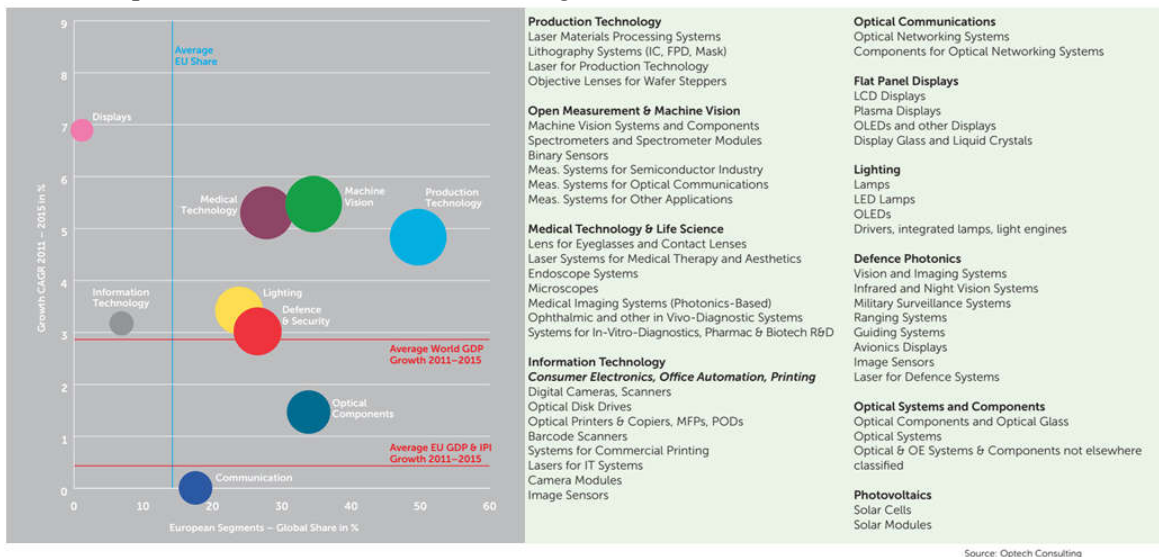


Figura 1.9: Segmente de piata pentru tehnologia fotonicii. Sursa: Optech Consulting, Photonics21: *Market Research Study Photonics 2017-KPI Measuring*

Comunitatea Europeana pe domeniul fotonicii isi mentine competitivitatea având în vedere domeniile KET (key Enable Technology): Spectroscopie infrarosu, LIDAR (light detection and ranging), aplicatii cu diode laser, fibre optice pentru domeniul medical și respectiv pentru telecomunicații, produse inovative care implica fotonica integrata, micro și nano-fotonica, plasmonica, metamateriale, optica cuantica și photonica digitala (computational imaging and 3D sensors) pentru aplicatii în domeniul medical (ex. teranostics, lab-on-a-chip, imaging, tehnologia laser, biosenzori optici integrati în dispozitive la purtator -wearable devices, realitate virtuala), agricultura (controlul calitatii mancarii și poluarii mediului), automotive (monitorizare și solutii de evitarea congestiei traficului, interfete inteligente om-masina până la transport-autonom), inginerie de proces (process ingeneering) având ca subramuri green-photonics pentru reducerea poluarii mediului, smart-factory pentru automatizarea proceselor și crearea locurilor de munca, economie de tip terabit, litografie, procesare laser de material, 3D printing, iluminare și display-uri, cellule solare, sisteme micro și nano-opto-electro-mechanice (MOEMS și NOEMS), noi materiale în geometrii 2D și 3D de tip silicon-photonics sau organic photonics.

In acest context, dezvoltarea cercetarii pe care am realizat-o pe direcția de cercetare a **fotonicii** se inscrie în domeniul Senzorilor optici, Plasmonica, Fotonica integrata și a Fibrelor optice active cu aplicatii medicale și industriale. Debutul l-a constituit obtinerea unei burse postdoctorale, de cercetare având tema POSDRU-4D-POSTDOC “*Metode de prelucrare a semnalului optic*” [4D-POSTDOC]. Acest proiect a sustinut deplasarea la trei mobilitati de cercetare la universitatile Spania-UNIZAR, Italia-UNINA2 și Belgia-UMONS, cu care s-a pastrat continuitatea dezvoltarii activitatilor de cercetare și în prezent. Astfel, pe langa articolele științifice publicate în timpul derularii proiectului, exista atat:

- publicatii științifice în care sunt incluse rezultatele studenților ca autori sau co-autori [ATNGalatus2014][ATNGalatus2017] cat și
- didactice, în present existand mobilitati de tip Erasmus ale studenților, pe temele aplicatiilor cu senzori inteligenti.

La universitatea UNINA2 am beneficiat pe langa bursa de Invited professor oferita de aceasta universitate și bursa Invited researcher, în anul 2016.

Am coordonat 2 proiecte de cercetare naționale:

- Director proiect “*Nano-biosenzor optic cu interfata smartphone pentru detectia rapida și selectiva a antibioticelor din apa*”, PN-III-P2-2.1-PED-2016-0172 (2017-2018), UEFISCDI, valoare 600.000 RON (128.755 EUR), în cooperare cu partenerii de la University of Medicine and Pharmacy “Iuliu Hatieganu” Cluj-Napoca
- Responsabil stiintific în proiectul “*Management and evaluation of the local and regional hipertermia models using advanced methods for temperature measurement and control*”, Romanian Academy ASTR-CA1-2016, partners University of Medicine and Pharmacy “Iuliu Hatieganu” Cluj-Napoca and Tedelco SRL, valoare 65.400 RON (14.034 EUR)

Ultimul constituind baza de cooperare pentru desfasurarea viitoare a colaborarii pe tematica senzorilor plasmonici, în **proiectul internațional ERANET- SALIVAGES**-, „Abordări tehnologice inovative pentru validarea AGEs salivare (Producșilor Finali de Glicozilare Avansată) ca noi biomarkeri în evaluarea factorilor de risc în bolile relaționate cu dieta” (2018-2021), coordonator UMF – Conf dr Aranka Ilea, în care sunt membra în echipa proiectului.

Contribuțiile științifice pe domeniul Fotonicii au fost disseminate în articolele [PhotonicsGalatus55]-[PhotonicsGalatus79] din care 23 articole ISI pe acest domeniu, 6 articole BDI (IEEE și SCOPUS) și

două capitole de carti internationale [MicroringGalatus1] [PhotonicsGalatus80], având un impact care mi-a adus vizibilitatea internationala printr-un numar de 85 citari (**WOS: h=4**).

Vizibilitatea internationala a fost atrasa și de participarea în **5 proiecte de cercetare internationale** de tip HORIZON2020- COST:

- membru Management committee, expert stiintific din partea UEFISCDI-România și responsabil stiintific din partea UTCN in
 - o HORIZON2020- COST “MP 1401 – AFLASER, Advanced Fibre Laser and Coherent Source as tools for Society, Manufacturing and Lifescience”, (10 Dec 2014- 9 Dec 2018) http://www.cost.eu/domains_actions/mpns/Actions/MP1401?management , www.aflaser.eu , respectiv
- membru substitute în Management committee, expert stiintific din partea UEFISCDI-România și responsabil stiintific din partea UTCN în urmatoarele 4 proiecte:
 - o HORIZON2020-COST-TD1205-Innovative methods în radiotherapy and radiosurgery using synchrotron radiation (21 May 2013-20 May 2017), http://www.cost.eu/domains_actions/bmbs/Actions/TD1205?management,
 - o HORIZON2020-COST-CA16220-European Network for High Performance Integrated Microwave Photonics (4 Oct 2017-3 Oct 2021), http://www.cost.eu/COST_Actions/ca/CA16220,
 - o FP7-COST TD1001-Novel and Reliable Optical Fibre Sensor Systems for Future Security and Safety Applications (**OFSeSa**) (2010-2013) link: http://www.cost.eu/COST_Actions/ict/Actions/TD1001?management,
 - o FP7-COST MP1307-Stable Next-Generation Photovoltaics: Unraveling degradation mechanisms of Organic Solar Cells by complementary characterization techniques (**StableNextSol**)(2014-2018), link: http://www.cost.eu/COST_Actions/mpns/Actions/MP1307?management
 - o experienta din acest proiect StableNextSol fiind fructificata în proiectul de cercetare international, prin fonduri structural: **POC-ORGLIGHT[54]- „MATERIALE ACTIVE UNICOMPONENTE PENTRU CELULE SOLARE ORGANICE BAZATE PE COMPUȘI PI-CONJUGATI AUTOASAMBLAȚI”**, ID: P_37_220, Nr. contract: 21/1.09.2016, cod MySMIS: 103509, coordonat de cercetatorul francez Jean Roncalli, CNRS Moltech Anjou, *University of Angers, France* link: <http://orglight.granturi.ubbcluj.ro/echipa-de-implementare/>

De asemenea am facut parte din echipa a două proiecte internationale:

- Femtosecond-laser Assisted Self-Organization Processes for Photonics: Design of Photonic Devices and Experimental Characterization, Principal Investigator: Juan Antonio Valles Brau, Universitatea de Stiinte din Zaragoza (2015-2018), Spania - proiect **castigat prin competitie în Spania, responsabil UTCN: R. Galatus**
- Seed network, Fibre Sensing în Harsh Environment (2016), finantat de French Embassy în UK, având acronimul FINDERS, **castigat prin competitive în Franta** de catre Institutul XLIM, Limoges, Franta link: <https://uk.ambafrance.org/Seed-Meeting-Fibre-Sensing-in-Harsh-Environment-FINDERS> , **responsabil UTCN: R. Galatus** unde am participat la intalnirea de proiect la Londra, UK decembrie 2016.

In anul 2013 am participat ca **evaluator international**, având contract cu Ministerul cercetarii din Cehia, pentru evaluarea proiectelor de cercetare la propunerile de proiecte Norvegia-Cehia, realizand aprecierea continutului pentru 4 proiecte de cercetare. De asemenea am fost evaluator pentru 4 proiecte din competitia GNaC ARUT 2018 pentru Universitatea Politehnica Bucuresti, România.

Principalele contribuții în domeniul opticii și fotonicii sunt rezumate în cele ce urmează:

Integrarea componentelor fotonice (figura 1.8) pe substraturi de dimensiuni de ordinul mm prin încapsulare de tip lab-on-a-chip sau în configurații minimale care conțin emitor, componenta optică, componenta de sensing optic și foto-detector prezintă avantajele obținerii unor structuri cu design flexibil, putere consumată redusă, eficiența în fabricarea lor, integrare compatibilă din punct de vedere al procesării semnalului cu componente electronice obișnuite și integrarea unor noi funcții (micro-mecanice, micro-optice, component microfluidice).

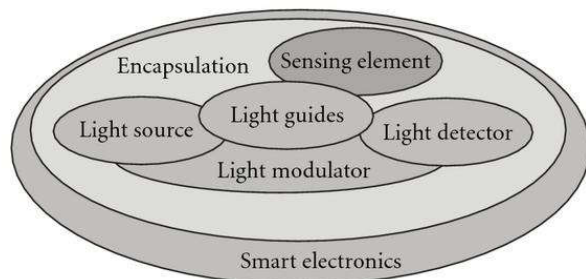


Figura 1.10. Integrarea componentelor fotonice

În activitatea de cercetare pe care am desfășurat-o, descrisă pe larg în Capitolul 2 al tezei de abilitare, m-am axat pe:

1. Componente având ca principiu de funcționare **fenomenul plasmonic** (Cap 2.1.2). S-au dezvoltat senzori SPR bazati pe cuplaj cu prisma, configurație Kreitchmann [Patent2018] și senzori pe fibra optică, 16 articole științifice [SensorsGalatus2013] [SPIEGalatus2013] [ActuatorsGalatus2013] [SPIEGalatus2017] [SASGalatus2016] și [PhotonicsGalatus55]-[PhotonicsGalatus65] precum și un capitol de carte internațională, CRC Press [PhotonicsGalatus80]. S-a dezvoltat un sistem integrat prezentat în figura 1.9, pentru un dispozitiv portabil de analiză a calității apei și detecție a antibioticelor din apă, care a constituit obiectivul principal al proiectului UEFISCDI-PNIII-PED67, acronim nSensOFWater [PED67Galatus2017], unde am fost director de proiect, proiect în parteneriat cu Universitatea de Medicină și Farmacie “Iuliu Hatieganu”, Cluj-Napoca, 2017-2018, acronim UMFCluj). Acest proiect se continuă cu aplicațiile plasmonice pentru detecția unor biomarkeri salivari, din cadrul proiectului SALIVGES [Salivages2018].

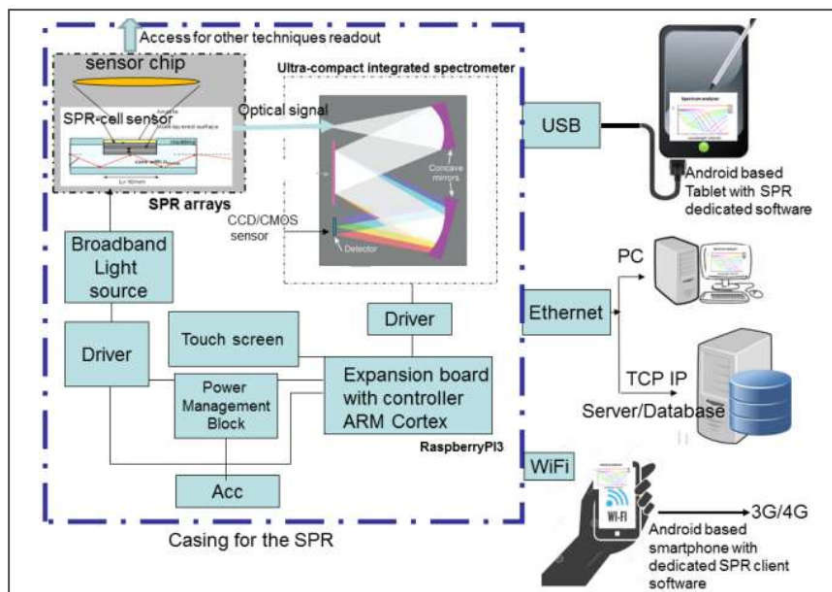


Figura 1.11. Sistem SPR dezvoltat în cadrul proiectului PED67-nSensOFWater

S-au obținut următoarele premii UEFISCDI (2013-2017) pentru articolele publicate:

- PN-II-RUPRECISI-2013-7-3044), UEFISCDI, Articol jurnal ISI, "Performance Comparison of Two Sensors Based on Surface Plasmon Resonance in a Plastic Optical Fiber", http://uefiscdi.gov.ro/userfiles/file/PREMIERE_ARTICOLE/ARTICOLE%202013/LISTA%203%20REZULTATE%2013%20DECEMBRIE.pdf, 2013
- PN-II-RU-PRECISI-2014-8-4722), UEFISCDI, Articol jurnal ISI, "Sensors Based on Surface Plasmon Resonance in a Plastic Optical Fiber for the Detection of Trinitrotoluene", http://uefiscdi.gov.ro/userfiles/file/PREMIERE_ARTICOLE/ARTICOLE%202013/LISTA%203%20REZULTATE%2013%20DECEMBRIE.pdf, 2014
- PN-III-P1-1.1-PRECISI-2017-14263, Magnetic Nanoparticles for Antibiotics Detection, 2017, <https://uefiscdi.ro/resource-87484?&wtok=5c377aafa7c06b091b988579abae3b4b0d5ad9be&wtkps=XY1BDolwEE XvMmtFpqWWDncwJp6A0IrVQtEiGlX3F+rC6Gp+Ju/9X5KkZyBBMPYXF6CwxNJtp hTPikCcIFgNS1IEvHa5Eo00vDROjEMn28dQD71fd2d7xe2aTdPJVQuOBHa5jEAgfJoq HesRlQJIAq27dn/YcJmynOWpyKMxq9/PiiEKjsiRx1oRrd2fgynBLzjvjbuzqnx+u5M4 m91cjdHGyptk8GaMSlvva28g+L1Bg==&wchk=4adb8667fa4edd598b2aacffdaf61cd502 d25978>

2 Componente de tip microinel (**microring**) (Cap 2.1.4)- figura 1.10, integrate pe substrat de tip sticla-fosfat (photospate glass) co-dopate cu pământuri rare Er^{3+} și Yt^{3+} , (6 articole [PhotonicsGalatus66]- PhotonicsGalatus71] și un capitol de carte internațională InTech [MicroringGalatus1]). Aceste componente simple sau integrate ca structuri de tip arii de componente microinel funcționează ca demultiplexoare în rețelele de comunicații moderne cu multiplexare de mai multe lungimi de undă, tip DWDM (dense wavelength division and multiplexing), filtre optoelectronice sau senzori optici. S-au analizat de asemenea ghidurile optice amplificatoare dopate cu Er^{3+} pe substrat Ti: $LiNiO_3$ și s-au publicat 3 articole științifice [SPIEGalatus2001], [TaylorGalatus2009], [SPIEGalatus2009]. S-au obținut următoarele premii UEFISCDI (2013-2017) pentru articolele publicate:

- PN-II-RUPRECISI-2013-7-3031), UEFISCDI, Articol jurnal ISI, ""Highly Yb³⁺/Er³⁺-Codoped Waveguide Microring Resonator Optimized Performance"", http://uefiscdi.gov.ro/userfiles/file/PREMIERE_ARTICOLE/ARTICOLE%202013/LISTA%203%20REZULTATE%2013%20DECEMBRIE.pdf", 2013
- PN-II-RU-PRECISI-2015-9-8654, Modeling of Yb³⁺/Er³⁺-codoped microring resonators, OPTICAL MATERIALS, 2016
https://uefiscdi.ro/userfiles/file/PREMIERE_ARTICOLE/ARTICOLE%202015/REZULTATE/Rezultate%20evaluare_lista%20ACTUALIZATA_18_12_2015.pdf

3. **Senzorii optici distribuiți** sunt prezentați în (Cap 2.1.3). Au fost realizați:

- Senzorii optici pe fibra optică, cu rețele de difracție, au fost utilizați în cadrul proiectului „Management and evaluation of the local and regional hipertermia models using advanced methods for temperature measurement and control” , Româniian Academy ASTR-CA1-2016 [AstrGalatus2016], ca senzori de monitorizare a temperaturii cu o mare rezoluție, de 0.1° C. în cadrul acestui proiect s-a dezvoltat un model experimental de laborator.
 - S-au proiectat și implementat aplicații cu senzori optici distribuiți de tip microîndoire sau bazate pe analiza spectrală implementați cu fibre optice speciale, codopate sau prezentând fenomenul de fluorescență, articolele [PhotonicsGalatus72]-[PhotonicsGalatus79]), respectiv [SIITMEGalatus20173], [I2MTC20181] și [SIITMEGalatus20171] în cadrul proiectelor de cercetare [DAMFU] și [HydroSens]. Aceste tipuri de soluții sunt utile în aplicații industriale, automotive sau sisteme cu senzori portabili
4. **Energii regenerabile** (Cap 2.3): fabricarea celulelor solare organice „Materiale active unicomponente pentru celule solare organice bazate pe compuși pi-conjugați autoasamblați proiect [SMOSCs2017]”
5. **Prelucrări de imagini** (Cap 2.2): realizarea unui sistem automat pentru prelucrarea lamelor Pap smear, care să asiste medicul în luarea deciziilor cu privire la clasificările CIN și elaborarea unor algoritmi de segmentare și clasificare a acestor lame, adecvate metodei de coloratura utilizată în tehnica Papanicolau. Acesta a constituit și materialul cuprins în teza de doctorat cu titlul “Metode de extragere și de interpretare a informațiilor în imagistica medicală” finanțată prin proiectul "Cercetări privind dezvoltarea tehnicilor computerizate de screening citologic și asistare a diagnosticului histopatologic”, proiect național tip A, Code-CNCSIS 885, 2004-2006 (director proiect prof V Trifa, coordonatorul tezei de doctorat)

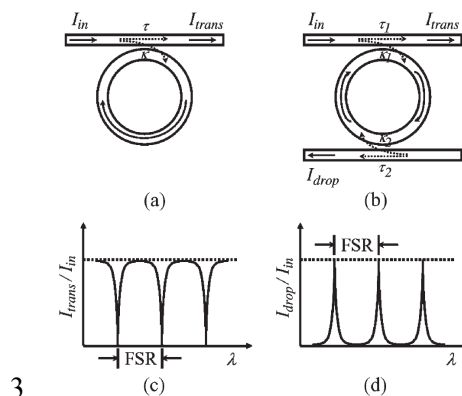


Figura 1.12. Componente microinel, cu cuplaj lateral a. un ghid-filtru, b. două ghiduri lateral cuplate- demultiplexor

Cap 2. Aplicații ale fotonicii

Fotonica este știința luminii. Este tehnologia de generare, control și detectare a undelor electromagnetice luminoase având spectrul de frecvențe Optoelectronice, corespunzătoare domeniilor IR (infra red), VIS (vizibil) și UV (ultra-violet) și a fotonilor, care sunt particulele de lumină asociate. În anul 2018 fotonica a fost declarată una din tehnologiile cheie (“*key enable technologies*”), de către grupul reprezentativ European, Photonics21, deoarece se prevede că fiind una din tehnologiile care pot să răspundă provocărilor actuale ale societății legate de soluții care oferă precizie, viteză și nepoluare. Definiția completă a **fotonicii** (a se vedea Capitolul 1.3.3):

*Fotonica (def): este un domeniu ingineresc, exploatează proprietățile unice ale luminii pentru a dezvolta noi aplicații („Photonics: puts light at work”). În acest sens, diferă de *Optica* ca disciplină fundamentală, aceasta fiind orientată pe modelarea proprietăților luminii, pe studiul interacțiunii luminii cu materia, predicția comportamentului și a propagării luminii, încercând să răspundă la întrebările legate de natura luminii (grupul Photonics21 – Brussels, Europe).*

Optica integrată continuă să ofere soluții revoluționare în diferite domenii de activitate, de la biosenzori la telecomunicații. Ghidurile optice sunt elementele de bază, componente ale acestor circuite care se bazează pe generarea, propagarea și detecția luminii. După invenția laserului în 1960, un alt moment de referință îl constituie dezvoltarea în anul 1966 a fibrelor optice moderne cu pierderi mici. Scopul principal al utilizării fibrelor optice este domeniul telecomunicațiilor, dar începând cu anul 1970 se înregistrează o implicare din ce în ce mai mare a lor în aplicații cu senzori. Fibrele optice oferă o serie de avantaje dintre care amintim funcționarea la temperaturi ridicate, în zone greu accesibile, capacitatea de funcționare ca senzori distribuiți, multiplexare și integrare în sisteme moderne de comunicații WDM (*wavelength division and multiplexing*) etc. Alte aplicații ale acestei discipline putem să le regăsim începând de la echipamente de laborator până la componente din viața de zi cu zi (LIDAR, smartTV display, smartphone displays, celule fotovoltaice, scanere laser, senzori etc). Ghidarea luminii se realizează freespace prin componente optice (oglinzi, lentile), ghiduri optice (waveguides) sau fibre optice. În figura 2.1 este ilustrată schema cu componentele de bază ale unui

sistem fonic: un emitor conectat printr-o interfata optica la un modulator de semnal optic, care apoi este transmis prin fibre optice (monomod, multimod sau speciale – birefringente, aplicatoare, PCF) și ghiduri, la un fotodetector care asigura printr-o electronica adecvata procesarea semnalului optic.

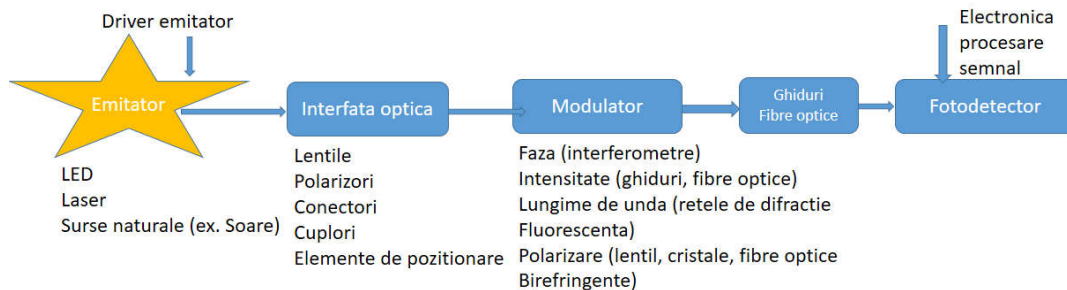


Figura 2.1. Schema unui sistem cu componente fotonice de baza

Ghidurile de undă optice sunt structuri spatiale formate din miez, substrat și invelis, având distribuție neomogenă 2D (planare) sau 3D (channel), care ghidează undele electromagnetice optoelectronice într-un volum restricționat prin geometria miezului lor [RpPhotonics1]. Acestea reprezintă blocuri fundamentale ale mai multor **sisteme** optice, inclusiv legăturile de comunicație optice sau circuite integrate fotonice de tipul lab-on-a-chip, lasere sau componente active, precum și amplificatoare pentru aplicații de mare putere.

In activitatea de cercetare pe care am desfasurat-o în perioada postdoctorala m-am orientat spre utilizarea ghidurilor optice plasmonice în configuratie cu cuplaj prisma (Patent de inventie aplicat [Patent2018]), ghiduri optice micro-inel [PhotonicsGalatus66]-[PhotonicsGalatus71] și ghiduri optice LiNbO₃ [SPIEGalatus2001][SPIEGalatus2009] [TaylorGalatus2009].

Fibrele optice sunt ghiduri optice particulare. Ele sunt utilizate cu precădere în domeniul telecomunicațiilor, datorită pierderilor mici a semnalului transmis, pe distanțe mari (ex. fibre optice de sticlă, monomod), în sisteme de comunicații multiplexate WDM (la ora actuală 160 lungimi de undă multiplexate[Gordon2][RpPhotonics1] ofera banda de transmisie de 1.28 Tb/s). Fibrele optice utilizate în telecomunicații pe distanțe mari sunt cele monomod cu indice treapta, fabricate din sticlă, având o atenuare mică. Fibrele optice au aplicații și în domeniul senzorilor, datorită robusteții lor, teledetecției și a capacității de monitorizare în timp real. Fibrele optice din plastic (POF) sau fibrele optice speciale (LMA – large mode area, PCF-photonic cristal fibers, fibre active etc) sunt folosite în special pentru aplicații cu senzori și diverse aplicații industriale.

In activitatea de cercetare pe care am desfasurat-o în perioada postdoctorala am utilizat fibre optice dopate de tip LMA ca senzori de indoire (bending) [ATNGalatus2017] și [PhotonicsGalatus72]-[PhotonicsGalatus75], fibre fluorescente ca fibre active [PhotonicsGalatus76]-[PhotonicsGalatus77] în aplicații cu senzori de proximitate și arc electric [SIITMEGalatus20171][SIITMEGalatus20173][I2MTC20181] și [PhotonicsGalatus77] [PhotonicsGalatus78][PhotonicsGalatus79] și ca surse de cuplaj optic [[PhotonicsGalatus56], fibre optice de plastic ca senzori plasmonici [SensorsGalatus2013][SPIEGalatus2013]

[ActuatorsGalatus2013][SPIEGalatus2017][SASGalatus2016] și [PhotonicsGalatus56]-[PhotonicsGalatus65] și nanomateriale [PhotonicsGalatus55],[PhotonicsGalatus80].

Procesarea semnalului, este domeniul științific care permite interpretarea unui fenomen. O definiție mai complexă este oferită de José M.F. Moura în IEEE Signal Processing Magazine, 2009 [Moura3].

În activitatea de cercetare pe care am desfășurat-o în perioada doctorală am obținut contribuții în ceea ce privește procesarea imaginilor medicale [AMIGalatus99][AMIGalatus2000][HTGalatus2000][AMI2008][PathologyGalatus] și iar în perioada postdoctorală am fost implicată în procesarea semnalului optic în vederea proiectării optimizate a componentelor fotonice (ghiduri microinel, fibre active, senzori optici) [4D-POSTDOC]. Am realizat și procesarea semnalelor și în domeniul electric, pentru optimizarea funcționării motoarelor pas-cu-pas [OptimGalatus98] [AQTRGalatus98] [SanJoseGalatus99] [ElectroGalatus99][IasiGalatus99][CadamecGalatus99][PowerElGalatus99] și a supercapacitorilor [SIITMEGalatus20081][SIITMEGalatus20082][AECEGalatus2008].

2.1. Ghidurile optice, fibre optice și senzori

2.1.1. Senzori optici: plasmonici, proximitate și fibre optice speciale

Senzorii devin o parte integrantă a dezvoltării tehnologice moderne. Senzorii pe fibră optică joacă un rol important în numeroase aplicații de detecție, control, monitorizare în timp real, compatibile cu sistemele de telecomunicații. Se folosesc în domeniul medical (intervenții chirurgicale minim invazive, biosenzori), la aparatele electrocasnice, în industria auto, în aviație, în securitate, pentru aplicațiile casei inteligente și alte tipuri de aplicații (Tabel 2.1). În general, pentru aceste aplicații, fibrele optice folosite trebuie să fie mult mai sensibile la fenomenele de modulație a semnalului optic de către un factor perturbator, considerat ca variabilă de monitorizat, decât în cazul fibrelor optice folosite în telecomunicații. Folosirea senzorului optic aduce cu sine foarte multe avantaje, senzorul optic are dimensiune mică, are sensibilitate mare și lățime de bandă mare, este imun la interferențe electromagnetice, se poate folosi în medii periculoase, este ușor de integrat și ușor de instalat.

Cea mai simplă structură a unui senzor (Figura 2.2) de fibră optică este compusă dintr-o sursă de lumină, o fibră optică și un detector. Elementul sensibil de pe fibra optică are capacitatea de a interacționa cu măsurandul țintă și de a provoca o schimbare în funcționarea răspunsului traductorului (intrinsec sau extrinsec). Senzorii trebuie să fie sensibili la măsurătorile țintă și insensibili la alte mărimi de intrare, care ar putea avea un impact (ex. interferențe de semnal) asupra performanței lor. Senzorii permit monitorizarea perturbațiilor semnalului optic de către un parametru de interes (presiune, temperatură, indici de refracție etc) care pot fi monitorizate la ieșirile electrice/optice care sunt mai potrivite pentru procesarea și analiza datelor .

Tabel 2.1

Aplicație	Exemple de tipuri de senzori
Linii de producție automate	Poziționare, dimensiune obiecte, comutare la limita de deplasare, detecție întreruperi de funcționare, viteză.
Controlul proceselor	Temperatură, presiune, analiza chimică, debit

Industria auto (<i>automotive</i>)	Temperatură, presiune, cuplu, detecție a gazului, accelerație
Avionica	Temperatură, presiune, deplasare, rotație, aliniere, elongație, nivelul de lichid
Domeniul biomedical	Temperatură, presiune, compuși chimici, biotoxine
Domeniul petrochimic	Gaze inflamabile sau toxice, detecție scurgeri, nivel lichid
Aplicații pentru casa inteligenta (<i>'smart-home'</i>)	Temperatură, rotație, vibrație, sunet, poziționare, monitorizare compuși chimici, presiune, radiații, câmp electromagnetic

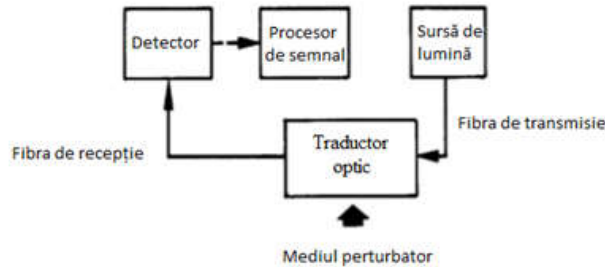


Figura 2.2. Elemente de bază ale unui senzor de fibră optică

Senzorul optic este un sistem fonic în care semnalul de intrare introduce modificări sau modulații ale caracteristicilor luminii (transmisie, intensitate, reflecție, absorbție etc.), care după detectare și procesare va furniza un semnal de ieșire, de obicei în domeniul electric. Senzorii de fibră optică, sunt împărțiți în cinci categorii de bază: senzori cu modulație în fază, senzori cu modulație de intensitate, senzori cu modulație pe lungime de undă, senzori bazați pe împrăștiere și senzori bazați pe fenomenul de polarizare. Senzorii de fibră optică se bazează pe procesarea semnalului optic. Răspunsul obținut la ieșirea senzorului este cel mai potrivit pentru procesarea și analiza datelor (Modulații de lumină).

Marimi fizice ce pot fi detectate cu senzorii pe fibre optice: intensitatea luminii, temperatura, presiunea, sunetul, câmpul electric, câmpul magnetic, reacții chimice (ex. pH) sunt doar câteva exemple.

Senzorii de fibră optică pot fi intrinseci sau extrinseci (Figura 2.3). Dacă modularea are loc direct în fibră, este un senzor intrinsec. Procesul de detectare este extrinsecă dacă modularea este efectuată de un traductor extern.

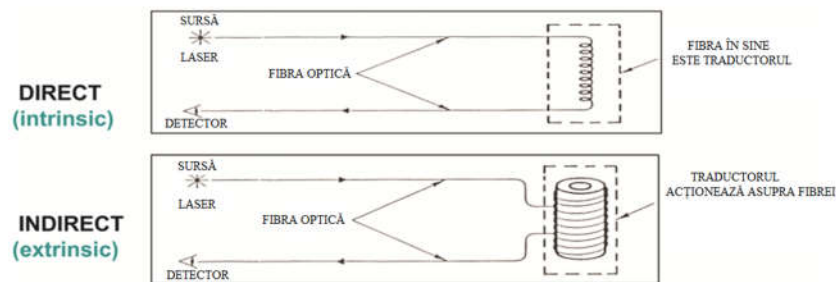


Figura 2.3 . Senzorul intrinsec și senzorul extrinsec

Ca regulă universală, senzorii trebuie să asigure o detectare fiabilă, precisă, stabilă și în general la costuri scăzute și nu în ultimul rând durata de viață a senzorului este foarte importantă iar răspunsul comportamentului unui sensor trebuie să fie bine înțeles de către utilizatori prin parametrii de performanță.

Avantajele utilizării senzorilor optici:

- dimensiuni mici și ușori
- pot fi folosiți ca și componente pasive, sau active de putere mică
- imuni la interferențe electromagnetice (*EMI - Electromagnetic interference*) și de radiofrecvență (*RFI- radio frequency interference*)
- sensibilitate mare, lățime de bandă mare
- pot fi folosiți în medii periculoase (de exemplu pentru monitorizare substanțe inflamabile)
- ușor de interfațat și compatibili cu rețelele de telecomunicații moderne și sistemele optoelectronice actuale
- capabilitate de multiplexare (de exemplu pentru mai mulți măsuranzi sau procesarea semnalelor de la mai mulți senzori)
- capabilități multifuncționale (de exemplu pentru fibrele optice ca senzori distribuți, se realizează atât transmisia semnalului ghidat cât și modulația acestuia)
- integrarea ușoară în varietăți structurale complexe
- robustețe și rezistență în medii dure, neprietenoase, adesea inaccesibile altor tipuri de senzori sau accesului direct
- adesea nu necesită contact direct cu măsurandul
- monitorizate de la distanță
- ușor de instalat
- acuratețe mare de măsurare
- fiabilitate și siguranță în transmisia datelor
- rezistenți la radiații ionizate
- în cazul fibrelor optice pot fi implementați distribuit

2.1.2 Fenomenul plasmonic (SPR) și senzorii plasmonici

Fenomenul de rezonanță plasmonică de suprafață (SPR- surface plasmon resonance) este oscilația colectivă a electronilor (figura 2.4) de la suprafața unui metal în contact cu un solid sau lichid stimulat de lumina incidentă. Rezonanța plasmonului de suprafață (SPR) este o tehnică foarte sensibilă pentru determinarea variațiilor mici ale indicelui de refracție a unui analit, la interfața dintre un strat metalic și un mediu dielectric [Homola4]. Această tehnică este folosită pe scară largă ca principiu de detectie pentru (bio)senzori care operează în diverse domenii (chimie, biologie, medicina, farmacie, mediu). SPR este cunoscută a fi o tehnică foarte sensibilă bazată pe unde evanescente, pentru determinarea variațiilor indicelui de refracție la interfața dintre un strat metalic și un mediu dielectric (analit). SPR demonstrează un mare potențial pentru studiul interacțiunilor biomoleculare la suprafața zonei active a senzorului (interfața dielectric-metal), care permite analiza în timp real fără utilizarea unor molecule de marcă, tehnica denumită free-labeling. Rezonanța plasmonului de suprafață (SPR) este utilizată pentru detectarea speciilor moleculare și pentru măsurarea cineticii de legare moleculară la suprafețe metalice (kinetic analysis).

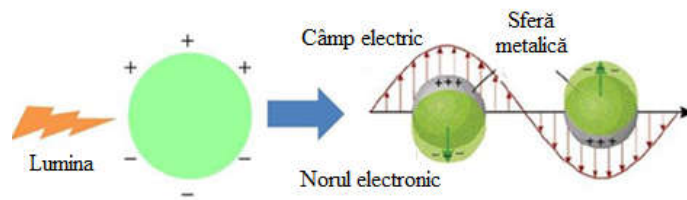


Figura 2.4. Excitarea plasmonilor de suprafață

La interfața metal-dielectric se propaga undă electromagnetică polarizată p (TE), într-o direcție paralelă cu această interfață. Această undă electromagnetică se numește undă de suprafață plasmonică (SPW- Surface Plasmon Wave). Undă electromagnetică polarizată t, (TM) este componenta care interacționează cu suprafața de sensing. Aceasta componentă TM contribuie la sensibilitatea răspunsului senzorului plasmonic.

Primul experiment care a evidențiat fenomenul de rezonanță plasmonică a fost realizat în anul 1902 de către R.M. Wood [Gupta5] care a remarcat un comportament specific al luminii la interfața rețelei de difracție-metal, remarcat ca o anomalie în spectrul rețelei de difracție și distribuția franjelor de interferență. În 1907, Lord Rayleigh a publicat primul model matematic care descria această „anomalie”, care apare în anumite condiții: singularități care apar la anumite lungimi de undă (lungimi de undă de rezonanță), pentru lumina polarizată perpendicular pe suprafața rețelei de difracție. Au urmat o serie de publicații (1907: Zenneck, Sommerfeld și 1941-Fano) care au constituit fazele premergătoare de formulare a teoriei rezonanței plasmonice de suprafață, concretizată prin în 1957 de Richie, care a formulat pentru prima dată conceptul teoretic de „plasmon” ca purtători de energie care traversează suprafața straturilor metalice subțiri, generând o absorbție de energie (pierdere de energie) din undă evanescentă electromagnetică care se cuplează la interfața celor două medii. Existența plasmonilor a fost demonstrată experimental în anul 1968- configurația lui Otto (prisma-dielectric-metal) și aprofundată în 1971- configurația Kretschmann și Raethe (prisma-metal). O serie de articole care au urmat au căutat să demonstreze relația material prisma- dimensiune dielectric- dimensiune metal. În 1983, Liedberg și colaboratorii au utilizat pentru prima dată acest fenomen în aplicații cu senzori, demonstrând modificarea condiției de rezonanță a lungimii de undă a radiației odată cu modificarea proprietăților dielectricului din configurația Kretschmann. În anul 1990 este comercializat primul aparat de rezonanță plasmonică (SPR-surface plasmon resonance) de către compania Biacore, care a continuat această tradiție a aplicațiilor de sensing până în prezent. Configurația lui Kretschmann și configurația lui Otto sunt metodele cele mai utilizate pentru excitarea plasmonilor de suprafață prin intermediul unei prisme și a metodei de reflexie totală atenuată(ATR).

Începând cu exemplul Biacore din 1990, în ultimii 25 de ani, mai multe companii au comercializat echipamente ce se bazează pe tehnica de spectroscopie plasmonică. În general, aceste echipamente au fost construite dintr-un sistem optic format dintr-un traductor care analizează activitatea (bio) chimică și transferă această informație unui sistem electronic de procesare a semnalului. Volumele esanțioanelor de măsurare sunt mici, acesta fiind un avantaj demn de remarcat din punctul de vedere al probelor de analizat. Esanțioanele biologice sunt, în general, transportate printr-un sistem microfluidic de către un fluid tampon. Cu ajutorul senzorilor SPR, când mediile de transducție (liganzi) reacționează cu moleculele țintă prezente în analit, orice modificare a indicelui de refracție la suprafață este determinată prin interogare optică.

Configurația Kretschmann

Metoda lui Kretschmann (Figura 2.5.) a fost abordarea inițială pentru excitarea plasmonilor de suprafață, care se bazează pe un cuplaj de prismă și fenomenul de reflexie internă totală (TIR- total internal reflection). Pentru a efectua interogarea, răspunsul optic se detectează utilizând o structură optică formată dintr-un strat metalic subțire (40-60nm) cuplat la o prisma. Prisma cu indice de refracție ridicat n_p interacționează cu un ghid de undă metal-dielectric care constă dintr-un film subțire de metal cu permeabilitate ϵ_m și grosime q și un dielectric cu un indice de refracție n_d ($n_d < n_p$). Atunci când lumina se deplasează de la un mediu cu indice de refracție mai ridicat la mediul cu indice de refracție mai mic, reflexia internă totală (TIR) poate avea loc în mediul 1, atâta timp cât unghiul incident, θ , este mai mare decât unghiul critic θ_c , unde $\theta_c = n_d / n_p$, conform ecuației lui Snell. Aceasta configurație excita optic polaritonii plasmonici de suprafață (SPP). SPP constă într-o oscilație electronică colectivă cuplată la o undă electromagnetică (EM) evanescentă-SPW. Deci rolul acestui cuplor cu prisma este de a excita și de a interoga undele de suprafață (SPW) generate pe interfața metal-analit. Excitarea undelor de suprafață evanescente (SPW) de către undă optica incidentă, rezulta prin transferul de energie rezonantă, evidențiată prin absorbția luminii incidente. Atunci când lumina p-polarizată incidentă la această interfață metal-dielectric în așa fel încât constanta de propagare (și energia) undei electromagnetice rezultate este egală cu aceea a SPW, rezulta o absorbție puternică a luminii ce are ca rezultat transferul de energie. Astfel semnalul de ieșire prezintă o scădere bruscă la o anumită lungime de undă cunoscută sub numele de lungimea de undă de rezonanță SPR. La SPR, reflexia scade, deoarece energia fotonului este folosită pentru excitarea plasmonului. Deoarece excitația necesită potrivirea vectorului impuls al luminii cu plasmonul, schimbarea unghiului de incidență a luminii schimbă energia de rezonanță a plasmonului. Sensibilitatea undei evanescente electromagnetice (EM) la schimbările în constanta dielectrică a suprafeței oferă SPR capacitatea lui de a detecta evenimentele moleculare care au loc. Majoritatea senzorilor SPR au fost realizați folosind filme subțiri de metale nobile, cum ar fi Ag și Au, care prezintă SPR în regimul vizibil. Există însă și rezonanța plasmonică în IR de exemplu cu Pt sau ITO.

Condiția de rezonanță este dată de următoarea expresie:

$$K_0 n_c \sin \theta = \sqrt{K_0 \left(\frac{\epsilon_{mr} n_s^2}{\epsilon_{mr} + n_s^2} \right)} ; \quad K_0 = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1)$$

Unde

- termenul din partea stângă este constanta de propagare ($K_{inc} = K_0 n_c \sin \theta$) a undelor evanescente generate ca urmare a reflexiei interne atenuate (ATR) a undei luminoase incidente la suprafața de separație, sub un unghi θ față de normal la suprafața de cuplaj (cum ar fi prisma sau fibra optică) având indicele de refracție n_c .
- termenul din dreapta este constanta de propagare a undei SPW (K_{SP}), cu ϵ_{mr} partea reală a constantei dielectrice metalice (ϵ_m) și n_s fiind indicele de refracție al stratului de detecție (dielectric). Această condiție de egalare a constantelor de propagare este puternic sensibilă chiar și la o ușoară schimbare a mediului exterior, ceea ce face ca această tehnică să fie un instrument puternic pentru a detecta diferențe parametrice.

Această absorbție care are loc la condiția de rezonanță, evidențiază un mimin în intensitatea luminii reflectate. Când se modifică indicele de refracție al analitului, vor fi necesare condiții diferite pentru a satisface cuplajul: condiția și poziția minimumului intensității reflectate se va schimba. Această deplasare este evidențiată prin condiția de rezonanță și poate fi monitorizată prin două tipuri de interogări: mod de interogare spectrală (folosind o sursă policromatică) sau în modul de operare în intensitate (folosind o sursă monocromatică).

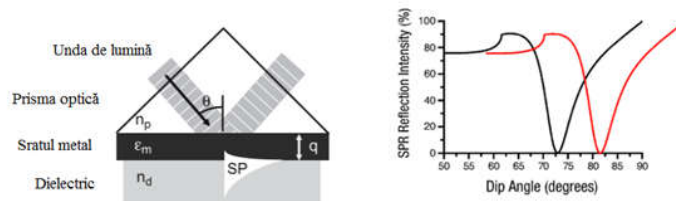


Figura 2.5. Excitarea plasmonilor prin metoda Kretschmann

Configurația Otto

Configurația Otto (Figura 2.6) necesită o prismă cu indice de refracție ridicată n_p care interacționează cu un ghid de undă dielectric-metal care constă dintr-un film subțire de dielectric cu un indice de refracție n_d ($n_d < n_p$) și de grosime q și un metal cu permeabilitate ϵ_m . Lumina ajunge pe interfața prismă-dielectric cu un unghi de incidență mai mare decât unghiul critic de incidență și produce o undă evanescentă propagând de-a lungul interfeței dintre prismă și filmul dielectric. Dacă grosimea stratului dielectric este aleasă în mod corespunzător (de obicei câțiva microni), undele evanescente și plasmonul de suprafață la interfața dielectric-metal se pot cupla. Pentru ca cuplarea să aibă loc, constanta de propagare a undelor evanescente și aceea a plasmonului de suprafață trebuie să fie egală [Gupta5][Fang6][Schasfoort7].

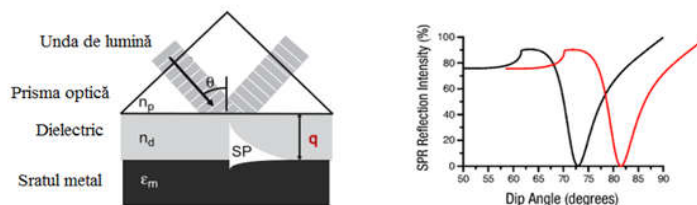


Figura 2.6. Excitarea plasmonilor prin metoda Otto

Configuratia cu fibra optica

În 1993, Jorgenson și Yee au combinat fenomenul plasmonic cu **utilizarea fibrei optice**. Atât numărul mare de publicații cât și noile avantaje datorate evoluției tehnologice au condus la îmbunătățirea performanțelor de sensibilitate a detecției până la 10^{-8} RIU (refractive index unit) sau 0.1 RU (resonance unit). Numărul de canale de sensing în paralel a crescut de la 4 canale (Biacore-1990, configurația Kretschmann) la 192 canale (flow-control drops) pentru IBIS MX96 și chiar 10.000 canale pentru Plexera. Numărul de studii referitoare la optimizarea configurației experimentale și îmbunătățirea performanțelor parametrilor cinetici pentru interacțiunile biomoleculare în ce privește chimia de suprafață a biosenzorilor plasmonici au crescut continuu.

Cel mai des întâlnit tip de senzori pe fibra optică [Fang6] de plastic (POF) se bazează pe fenomenul rezonanță plasmonică de suprafață (SPR) pentru implementarea biosenzorilor și a

senzorilor chimici. Fibrele optice de plastic (POF) sunt avantajoase datorită flexibilității excelente și având o apertură numerică (NA) foarte mare pentru cuplarea radiației optice. Utilizarea fibrei optice de plastic reduce costul și dimensiunea dispozitivului, cu posibilitatea de integrare ușoară a senzorului SPR împreună cu dispozitive optoelectronice, cum ar fi LED-uri și alte emițătoare (LASER) și fotodetectoare, precum și dispozitive electronice pentru prelucrarea datelor (figura 2.7).

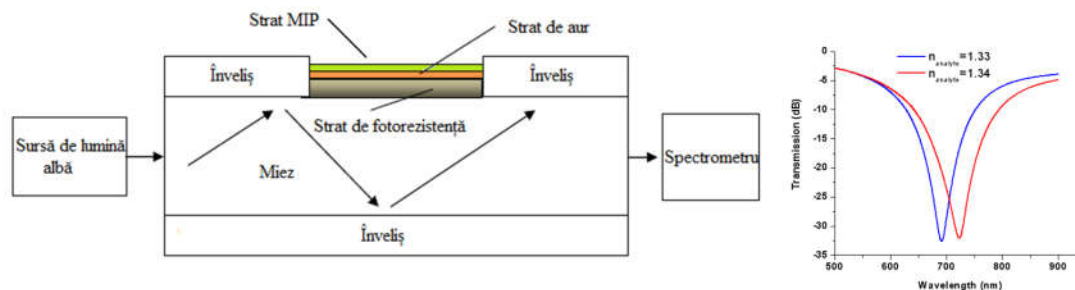


Figura 2.7. Configurația cu fibra optică și metoda spectrală de interogare

Biosenzorul și senzorul chimic

Biosenzorii (figura 2.8) sunt utili în foarte multe aplicații, cum ar fi securitatea militară, industrială și biomedicală. Combinând specificitatea deosebită a probelor de recunoaștere biologică și sensibilitatea excelentă a detecției optice pe baza semnalului de la o sursă de spectru larg (broadband) sau un laser, senzorii biofotonici sunt capabili să detecteze și să diferențieze componentele bio/chimice ale sistemelor complexe și oferă o identificare clară a componentelor. Variabilele de interes pentru biosenzori sunt în mod tipic tipul și concentrația unui analit specific, care poate fi un compus biochimic simplu (de exemplu, glucoză), o secvență de acid nucleic (ADN sau ARN), o proteină specifică, virus, o bacterie etc.

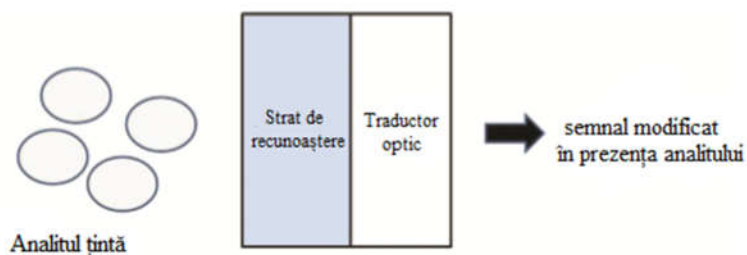


Figura 2.8. Conceptul de biosenzor

Determinarea variabilelor necesită o componentă, cunoscută ca bioreceptor, care este un material biologic, ce include anticorpi, enzime, acizi nucleici, viruși, bacterii, țesuturi etc. care se leagă în mod specific la un analit țintă. Un anticorp este un bioreceptor foarte popular, care este o moleculă de proteine, și constituie baza sistemului imunitar. Atunci când o moleculă străină invadează corpul, sistemul imunitar recunoaște și memorează forma moleculei prin crearea unei molecule de anticorp care este perfect similară cu molecula străină. Molecula care este recunoscută de un anticorp este numită antigenul, de asemenea, poate să recunoască un virus sau o bacterie prin recunoașterea proteinelor de la suprafață. [Schasfoort7]

Informația decodificată de bioreceptor este transformată într-un semnal electric de către traductor folosind tehnici de măsurare precum potențimetriă, termometriă sau fotometriă, toate bazându-se pe variația cantităților fizice. Efectul total al unui biosenzor este transformarea unui eveniment biologic într-un semnal electric.

Prin urmare, un biosenzor (1975-P. F. Turner, *Biosensors and Bioelectronics*) este un dispozitiv analitic care constă într-un element biologic (tesut, microorganism, receptor celular, enzimă, anticorp, component celular) și un traductor fizico-chimic. Interacțiunile specifice dintre substanța de analizat (analit) și materialul biologic produce o modificare fizico-chimică sesizată de traductor. Traductorul generează un semnal analogic proporțional cu concentrația unui analit specific. Bio-fotonica este disciplina care tratează toate aspectele legate de interacțiunea luminii cu lungimi de undă în domeniul UV+VIS+IR (de regulă între 190nm(UV) până la 10.7μm (IR) dar în prezent se folosesc aplicații cu laseri și în domeniul midIR) precum detectia, reflexia, emisia, modificarea, absorpția, crearea și manipularea fotonilor, cu un material biologic folosind tehnici *in vivo*, *in vitro* sau *ex-vivo*.

Există biosensori [Ligler2008]:

- cu detecție directă (*free-labelling*) : reflectometrie (spectroscopie de interferență RIFS și elipsometrie) și tehnici bazate pe câmp evanescent (optica integrată cu interferometru Mach-Zehnder și rețele de difracție sau SPR)
- cu sisteme de etichetare (*labelling*): fluorescență, TIRF, FRET (transfer de energie la fluorescență de rezonanță)

Deși sunt utilizate pe scară largă, macromoleculele biologice sunt limitate de costurile de producție ridicate și de stabilitatea scăzută. Această problemă a stimulat dezvoltarea materialelor sintetice care pot fi proiectate pentru a avea selectivitate moleculară (aptameri, MIP).

Metode de interogare

a. Detecția spectrală

În senzorii SPR cu interogare spectrală, lungimea de undă de rezonanță (λ_{res}) este determinată ca o funcție a indicelui de refracție al stratului de detecție (n_s). Dacă indicele de refracție al stratului de detecție este modificat de δn_s , lungimea de undă de rezonanță se schimbă cu $\delta \lambda_{res}$. Sensibilitatea (S_n) a unui senzor SPR cu interogare spectrală este definită ca:

$$S_n = \frac{\delta \lambda_{res}}{\delta n_s} \left[\frac{nm}{RIU} \right] \quad (2)$$

Datorită faptului că marea majoritate a intensității câmpului SPW este concentrată în dielectric, constanta de propagare a SPW este extrem de sensibilă la modificările indicelui de refracție al dielectricului însuși. În cazul receptorilor artificiali, ca de exemplu polimerii imprimați molecular (MIP), pelicula polimerică de pe suprafața metalului recunoaște selectiv și captează analitul prezent într-o probă lichidă, producând astfel o creștere locală a indicelui de refracție la suprafața metalică. Creșterea indicelui de refracție dă naștere unei creșteri a constantei de propagare a propagării SPW de-a lungul suprafeței metalice care poate fi măsurată cu precizie prin mijloace optice. Amplitudinea modificării constantei de propagare a unui SPW depinde de schimbarea indicelui de refracție și de suprapunerea acestuia cu câmpul SPW. Dacă legarea moleculară are loc în întreaga adâncime a câmpului SPW, modificarea indicelui de refracție indusă de legare produce o modificare a părții reale a constantei de propagare, care este direct proporțională cu schimbarea indicelui de refracție.

Rezoluția (Δn) a senzorului optic pe bază de SPR poate fi definită ca fiind variația minimă a indicelui de refracție detectabilă de senzor. Acest parametru (cu interogare spectrală) depinde de siguranța de rezoluția spectrală ($\delta\lambda_{DR}$) a spectrometrului utilizat pentru a măsura lungimea de undă de rezonanță într-o schemă de senzori. Prin urmare, dacă există o deplasare a $\delta\lambda_{res}$ în lungimea de undă de rezonanță corespunzătoare unei modificări a indexului de refracție a lui δn_s , atunci rezoluția poate fi definită ca:

$$\Delta n = \frac{\delta n_s}{\delta \lambda_{res}} \delta \lambda_{DR} [RIU] \quad (3)$$

Raportul semnal-zgomot al unui senzor SPR depinde de cât de precis poate detecta senzorul lungimea de undă de rezonanță și, prin urmare, indicele de refracție al stratului de detecție. Această precizie în detectarea lungimii de undă de rezonanță depinde și de lățimea curbei SPR.

Cu cât curba SPR este mai îngustă, cu atât este mai mare precizia de detectare. Prin urmare, dacă $\delta\lambda_{sw}$ este lățimea spectrală a curbei de răspuns SPR corespunzătoare unui anumit nivel de referință al puterii transmise, precizia de detecție a senzorului este invers proporțională cu $\delta\lambda_{sw}$.

$$SNR(n) = \left(\frac{\delta \lambda_{res}}{\delta \lambda_{sw}} \right)_n \quad (4)$$

unde $\delta\lambda_{sw}$ poate fi calculată ca lățimea completă la jumătatea maximului curbei SPR (FWHM). SNR este un parametru fără dimensiuni, puternic dependent de modificările indexului de refracție.

b. Detectia în intensitate

Pentru senzorii SPR, se poate folosi o schemă mai simplă cu o sursă de lumină monocromatică și un fotodetector optic ce determină variația intensității semnalului, pe măsură ce se modifică indicele de refracție. Sensibilitatea S_n a unui astfel de senzor se definește ca:

$$S_n = \frac{\delta I_{norm}}{\delta n_s} [a. u./RIU] \quad (5)$$

unde I_{norm} este ieșirea relativă, normalizată la un nivel de referință, pentru a compensa fluctuațiile sursei de lumină.

Rezoluția (Δn) a senzorului optic SPR, în modul de funcționare în amplitudine, poate fi definită ca:

$$\Delta n = \frac{\delta n_s}{\delta I_{norm}} \sigma [RIU] \quad (6)$$

unde σ este deviația standard a valorii relative a ieșirii.

Variația indicelui de refracție trebuie realizată cu multă acuratețe și se precizează limita de detecție a analitului. Complexitatea instrumentelor din sistemul de analiză SPR a limitat utilizarea lui doar la analize de laborator. Cu toate acestea, datorită evoluției tehnologiei (ex. fibrele optice și ghidurile optice integrate), soluțiile noi satisfac nevoia de miniaturizare, astfel sistemele SPR pot fi utilizate ca soluții portabile, pentru analize “out-of-lab”.

În cazul soluțiilor SPR bazate pe fibra optică (OF-SPR), deși sensibilitatea este mai slabă decât cea obținută pentru configurația convențională cu prisma, acestea promet din punct de vedere al aplicațiilor pentru care sunt adaptate, având costuri reduse (disponibilitatea laserelor ieftine și fotodetectoare ieftine), volum mic de testare (folosind uneori și soluții bazate pe integrarea componentelor microfluidice, monitorizare de la distanță în zonele periculoase. Dispozitivele SPR pe fibra optică (OF-SPR) nu diferă ca principiu de funcționare de cele standard cu prisma. Modulurile superioare de propagare pe fibra optică multimod interacționează cu suprafața de sensing. Aceasta suprafață de

sensing, unde exista depuneri de straturi metalice (Au, Ag cele mai uzuale pentru analizele în domeniul vizibil, dar și altele) este activata specific printr-o ‘chimie de suprafață’ care consta într-un protocol format din mai multi pasi. În mod specific aplicatiei, un ligand chimic este astfel depus pe suprafața metalica. Analitului curge prin canalul microfluidic și moleculele țintă se leagă de liganzii depusi, creând un strat mai gros ce poate fi sesizat printr-o schimbare mică al indicelui de refracție. Performanța senzorilor este în general discutată în termeni de sensibilitate, limită de detecție și interval de funcționare pentru detectarea speciei. Alegerea solutiilor (geometriile cu prisma sau fibre optice) și modurile de interogare sunt cu adevărat importante deoarece acestea afectează substanțial acești trei parametri importanți. În timp ce selectivitatea și timpul de răspuns al senzorului sunt determinate predominant de mediul de transducție, iar sensibilitatea și precizia sunt guvernate de proprietățile sistemului optic. A fost însă necesar să se stabilească un standard comun pentru aceste unitati de masura, deoarece chimiștii folosesc în general concentrația (pg / ml sau pM) ca unități de precizie, fizicienii folosesc unitatea indice de refracție (RIU), iar biologii utilizează unități de formare a coloaniilor pe mililitru.

În zilele noastre, cele mai bune sensibilități obținute în configurația prismei sunt bine stabilite, aproximativ 5×10^{-5} RIU / nm în interogarea lungimii de undă și respectiv 5×10^{-3} RIU / deg în interogarea unghiulara. Limita de detecție este 10^{-7} to 5×10^{-8} RIU. În ceea ce priveste senzorii OF-SPR, sunt mentionate în publicatiile existente valori de la 5×10^{-4} până la 10^{-5} RIU / nm, în funcție de geometrie și configurațiile alese, iar pentru limitele de detecție, o gama larga de valori de la 10^{-3} la 10^{-7} RIU. Cu toate acestea, în unele cazuri nu sunt necesare valori mari ale sensibilităților. Datorită numărului mare de aplicatii și respectiv a moleculelor tinta care se folosesc pentru detecție, nu s-a stabilit un standard pentru aceste valori, existând doar optimizari ale geometriilor propuse pentru configurațiile SPR astfel încat valorile să fie cuprinse în intervalele mentionate anterior. Numeroase studii, atât teoretice, cât și experimentale, au fost dedicate studiului efectului diferitor parametrii: stratul metalic (grosime, constanta dielectrica), forma și localizarea absorbției benzilor SPR.

Avantajele folosirii unui sensor integrat optic se refera la putere consumata mica, design flexibil, compatibilitate la integrarea cu alte component electronice, necesare pentru procesarea semnalului precum și integrarea unui system microfluidic pentru analiza substantelor. Raspunsul senzorului este localizat (la 10-100nm de suprafață de sensing) și direct legat de interactiunea zonei active a senzorului cu mediul de analizat.

Mecanismul traductorului plasmonic

Acesta este de două feluri:

- cu suprafață traductorului non-functionalizata (direct substanta de analizat) și
- respectiv functionalizata (indirect, printr-o chimie de suprafață care consta într-un element bioreceptor – de exemplu aptamer sau MIP [PhotonicsGalatus63] [Ley Ye8][Lorenzo9][Shen X10][Piletsky11][Haupt12][Schirhagl13][Da Silva14][Wang15]). Eficienta de detecție și implicit sensibilitatea senzorului, este data de aceasta chimie de suprafață și consta în monitorizarea interactiunilor de legare a compusilor la nivelul suprafetei active a senzorului (interactiuni de tip ligand-analit) care are loc în mai multe etape de functionalizare a suprafetei. Datorită varietatii proprietăților moleculelor analizate, nu se poate define o procedura generala de functionalizare a suprafetei.

Contribuții proprii

Contribuțiile în acest domeniu au fost grupate în:

- abordari ale geometriei senzorului SPR, (atat pe fibra optica cat și pe configuratia cu prisma) prin abordarea non-funcționalizata a traductorului, folosind substante cu indici de refractie diferiti (soluții apoase cu diferite concentratii de zahar sau glicerina, pentru a nu ataca prin reactii chimice materialul traductorului)
- precum și a domeniilor de aplicabilitate, în acest sens fiind adus un aport în colaborarea cu farmacisti și chimisti, pentru funcționalizarea suprafetei, prin detectie indirecta și optimizarea raspunsului senzorului în cazul a diverse aplicatii (detectia markerilor de cancere, detectia de substante explosive, detectia puritatii apei). Sensorul SPR-POF a fost dezvoltat impreuna cu grupul de cercetare de la Universitatea Vanvitelli, Aversa, Italia, coordonat de prof Luigi Zeni. Cercetarea a continuat apoi cu grupul de Optoelectronica din România-UTCN, folosind fibre de plastic cu emisie pe suprafata și respectiv fibre fluorescente – colaborare cu grupul de Optoelectronica Bialstock, Polonia (Conf dr ing Piotr Miluski)

Detecția indirectă [Ley Ye8][Lorenzo9]

Tehnica de imobilizare adecvata unei detectii trebuie determinată pe baza:

- tipului de ligand: proteină, zahăr, ADN, substanță cu masă moleculară mica;
- analitul care urmează a fi utilizat (interacțiunii mici sau mari) și
- scopul studiului : specificitate, concentrare, afinitate, cinetică.

În plus, ligandul trebuie să își păstreze activitatea biologică după imobilizare. Informații despre dimensiunea ligandului, pI, compoziția de aminoacizi, stabilitatea pH-ului și posibilele locații pentru orientarea spatiala a cuplării sunt benefice în determinarea metodei de imobilizare.

Sunt disponibile mai multe chimii de cuplare covalenta pentru a imobiliza ligandul în funcție de grupările reactive disponibile. Sunt utilizate trei proceduri bine stabilite: chimia de cuplare amină (-NH₂), tiol (-SH₂) și aldehydă (-COOH). Cuplarea covalentă este stabilă și, în general nu necesită nici o modificare a ligandului. Nivelul de imobilizare este ușor controlat și consumul de ligand este scăzut. Totuși, tehnicile standard de imobilizare covalentă sunt predispuse la orientarea aleatorie a ligandului la suprafata dextranului. Această orientare aleatorie poate bloca site-urile de legare și astfel poate reduce numărul de situri de legare disponibile. Mai mult, grupările reactive libere în apropierea locului de legare pot fi acoperite, reducând sau eliminând afinitatea pentru analit. În unele cazuri, pH-ul scăzut sau agentul de blocare utilizat în imobilizare pot inactiva ligandul. Tehnicile standard de imobilizare covalenți pot transforma chiar și un ligand omogen într-unul heterogen, ceea ce poate face ca rezultatele sa fie mai greu de analizat. Sunt disponibile două soluții principale pentru orientarea aleatorie:

- Imobilizarea unidirecțională, datorită orientării legaturilor chimice
- Capturarea afinității pentru a prestabili pozitia ligand-ului – aceasta metoda poate fi uneori instabila.

Adecvarea unei metode de imobilizare depinde în cea mai mare parte de natura ligandului:

- Cuplarea aminei este cea mai generală chimie de cuplare aplicabilă și ar trebui să fie prima alegere de luat în considerare. Cele mai multe macromolecule conțin grupe amino, care pot fi utilizate în cuplarea aminei. Cuplarea aminei este mai puțin adecvată în situații care implică oricare dintre următoarele: liganzi acizi, liganzi în care o amină este în locul activ și molecule care posedă mai multe grupări aminice.
- Adecvarea cuplării tiol depinde în mare măsură de disponibilitatea grupărilor tiol pe ligand. Cu toate acestea, este relativ ușor de introdus grupări tiol pe ligand. Chimia tiolului este mai robustă decât chimia aminelor și, prin urmare, condițiile de cuplare sunt mai puțin importante.

Cuplarea tiol nu poate fi utilizată în condiții de reducere puternică, deoarece legătura disulfurică este instabilă în astfel de condiții.

- Cuplarea aldehidică este cea mai bună alegere în cazuri specifice.
- (Strept)avidin-biotină este cea mai bună alegere atunci când cuplarea aminei sau tiolului este nesatisfăcătoare sau necorespunzătoare.
- O alta abordare se refera la includerea unor suprafețe de tip MIP (molecular imprinting technology) care e o tehnica promitatoare și din punct de vedere conceptual a fost creat pentru a prepara materiale sintetice capabile să imite legarea selective de molecule țintă care este caracteristică anticorpilor și enzimelor. Inspirat de conceptul "cheie-blocare" (lock and key), imprimarea moleculară urmărește să creeze receptori specifici în materialele polimerice prin utilizarea moleculelor țintă ca șabloane "cheie", care apoi conduce la aranjarea pieselor de tip "încuietori" în timpul sintezei. Includerea unei proporții mari de agenți de tip "cross-linker" are ca rezultat polimeri rigizi "care blochează" (numiți polimeri imprimați molecular - MIP) care au fost deja demonstrat ca fiind utili pentru: izolarea analiților, îmbunătățesc detectarea și cuantificarea substanțelor urmărite, purificarea apei, catalizarea reacțiilor specifice sau eliberare de medicamente într-un mod susținut pentru terapie.

Datorită gradului ridicat de interdisciplinaritate a abordării acestor senzori, chimia de suprafață a fost tratată de colaboratori, specialiști în domeniul chimiei și a farmaciei.

Sistemul cu sensor

Geometria inovativa a senzorului SPR se bazeaza pe fibra optica, având suprafață de sensing optimizata. Au fost propuse mai multe geometrii, bazate pe fibra optica de plastic obisnuita sau de tip side-emitting (cu emisie circular, laterala).

La ora actuala sunt mentionate în literatura de specialitate implementari inovative bazate pe geometrii cu ghiduri, rețele de difracție, fibre optice de sticla, având ca obiectiv principal optimizarea functionarii din punctul de vedere al sensibilitatii de detectie, a rezolutiei și a SNR dedicate unei aplicatii curente (gaz, analit fluid). În activitatea mea de cercetare au fost investigate mai multe geometrii de senzori SPR pe fibre optice de plastic (POF) sau de tip emisie pe suprafață (SEF- side emitting fiber).

Geometria pe fibra optica de plastic conventionala

Fibra de plastic conventionala este utila în aplicatii de tip intranet sau în aplicatii automotiv, prezentand avantaje ca flexibilitate, având raza de indoire mica și randament de cuplaj mare a emitatorului și receptorului, având apertura numerica mare. De asemenea este compatibila cu rețeaua de comunicații optice. Din aceste motive a fost aleasa ca substrat al senzorilor SPR.

Numarul de moduri de propagare este estimat ca fiind proportional cu aperture numerica și diametrul miezului fibrei optice și invers proportional cu lungimea de undă:

$$M \cong 0.5 * \left(\frac{\pi * D * NA}{\lambda} \right)^2 \quad (7)$$

Fibra obisnuita de plastic a fost fabricata având sectiunea lateral plana (fiind polizata lateral în D). Suprafață plana a fost acoperita multistrat prin depunerea unui strat buffer cu proprietăți optice în domeniul UV-VIS (transparenta a lungimilor de undă în acest domeniu) pentru a asigura adeziunea stratului de aur la substrat. Depunerea stratului buffer Microposit S1813 photoresist s-a realizat prin tehnica spin-coating (acoperire uniforma de suprafețe prin viteze de rotatie adaptate proprietăților

materialului depus). La pasul urmator, stratul subtire de ordinul nanometrilor, de aur a fost depus cu un echipament de sputtering

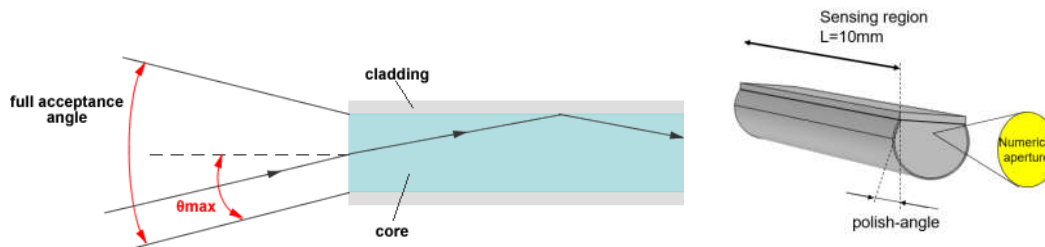


Figura 2.9. A. Sectiune longitudinală, fibra optica conventionala multimod B. Zona activa a senzorului, 3D

Au fost analizate două tipuri de senzori SPR, una cu fibra conventionala de plastic PMMA, cu diametrul miezului de 980 μm și grosimea invelisului de 20 μm (fibraA) și o fibra de plastic de 240 μm și invelisul de 10 μm (fibraB). Amandouă esantioanele au fost fixate în suporturi de plastic pentru a permite polizarea pe suprafață, sub forma de D (sectiunea polizata este plana). A fost aleasa aceasta geometrie în D, în locul geometriei circulare, pentru a facilita activarea ariei de sensing printr-o chimie de suprafață corespunzatoare fixarii analitului pentru detectie (acesta fiind fluid sau solid) și maximizarii efectului plasmonic prin maximizarea interactiunii componentei TM (transversal magnetic) a semnalului optic cu aria de sensing.

Această geometrie în D a fost obținută prin polizare sub forma de 8, pentru a asigura o polizare uniforma la zona de tapering (adaptare) între fibra convențională conectorizată și zona de sensing. Această zonă de sensing, conform simulărilor de optimizare [PlasmonicsGalatus61] a fost realizată cu o dimensiune de 10mm în ambele cazuri și 20 de mișcări circulare pentru fibraA și 10 miscari circulare pentru fibraB, cu o hartie abraziva cu cristale de [Thorlabs60] cu granulatie de 5 μm , pentru a asigura polizarea până la jumătate din dimensiunea razei fibrei și a expune zona de sensing la interactiunea maxima dintre semnalul optic și fenomenul plasmonic.

Pentru a asigura adeziunea stratului de aur la substrat (miezul fibrei optice, PMMA cu indice de refractie 1.49), în urma simularilor de optimizare s-a stabilit și verificat depunerea unui strat de 1.5 μm de Microposit S1813 photoresist (0.1ml), cu indicele de refractie de 1.61. Depunerea s-a rezalizat cu o masina de spin-coating la 6000rpm pentru 60secunde. Adeziunea stratului de aur este necesara pentru a asigura rezistenta la spalare a zonei de sensing (pentru a permite repetabilitatea rezultatelor în cazul masurarii mai multor probe) cu apa ionizata.

Stratul de aur de 60nm a fost depus cu o masina de sputtering (Bal-Tec SCD 500). Dimensiunea de 60nm a fost obținuta prin aplicarea unui current de 60mA timp de 35secunde de 3 ori (a fost obținut un strat de 20nm la fiecare pas $\times 3 = 60\text{nm}$). (Figura 2.10)

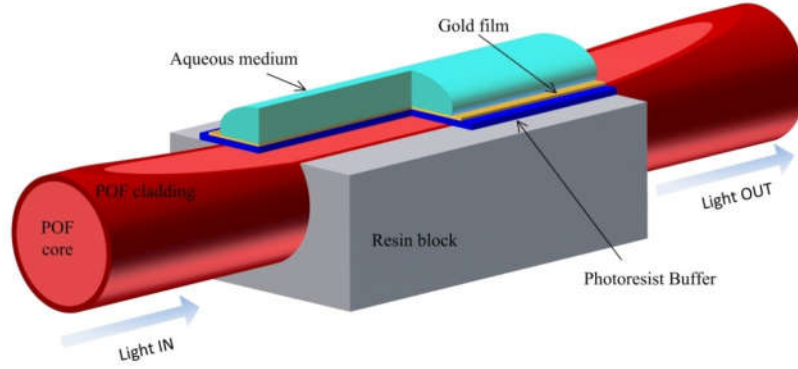


Figura 2.10. Structura senzorului SPR pe fibra optica, cu detectie directa

Modelul matematic asociat este descris prin urmatoarele ecuatii:

Puterea optica de iesire, corespunzatoare unei lungimi de undă și analitului cu indicele de refractie $n_{sensing}$, pentru un model cu Q strat-uri (figura 2.11) se exprima conform ecuatiei:

$$P_{out}(\lambda, n_{sensing}) = \frac{1}{2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} R_p^N P_0(\lambda, \theta, n_{sensing}) d\theta + \frac{1}{2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} R_s^N P_0(\lambda, \theta, n_{sensing}) d\theta \quad (8)$$

Unde P_0 este puterea optica a emitatorului.

θ este unghiul de incidenta la suprafata de sensing, corespunzator modurilor de propagare prin fibra optica $\theta \in [\theta_{critic}, \pi/2]$;

N se exprima ca fiind numarul de reflexii de la suprafata de sensing:

$$L = \frac{LW}{D \tan(\theta)} \quad (9)$$

L – lungimea zonei de sensing (10mm)

D – diametrul fibrei, W – latimea suprafetei de sensing (<1mm)

Pentru determinarea lui R_p și R_s se foloseste formalismul matricii de transfer, pentru sistemul multistrat din figura 1.

Coeficientul de reflexie, a luminii p-polarizate, este data de ecuatie:

$$R_p = |r_p|^2 = \left| \frac{(M_{11}^p + M_{12}^p \xi_N^p) \xi_o^p - (M_{21}^p + M_{22}^p \xi_N^p) \xi_N^p}{(M_{11}^p + M_{12}^p \xi_N^p) \xi_o^p + (M_{21}^p + M_{22}^p \xi_N^p) \xi_N^p} \right|^2 \quad (10)$$

Iar pentru lumina s-polarizata este:

$$R_s = |r_s|^2 = \left| \frac{(M_{11}^s + M_{12}^s \xi_N^s) \xi_o^s - (M_{21}^s + M_{22}^s \xi_N^s) \xi_N^s}{(M_{11}^s + M_{12}^s \xi_N^s) \xi_o^s + (M_{21}^s + M_{22}^s \xi_N^s) \xi_N^s} \right|^2 \quad (11)$$

Unde M este matricea de transfer pentru sistemul cu N strat-uri:

$$[M] = \begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} \\ M_{2,1} & M_{2,2} \end{bmatrix} = \prod_{k=1}^{N-1} \begin{bmatrix} \cos \zeta_k & \frac{-i \sin \zeta_k}{\xi_k} \\ -i \xi_k \sin \zeta_k & \cos \zeta_k \end{bmatrix} \quad (12)$$

Unde:

ζ_k – termen ce exprima faza stratului k

$$\zeta_k = K_0 n_k \cos \theta_k (y_k - y_{k-1}) = K_0 d_k \sqrt{(\epsilon_k - n_{core}^2 \sin^2 \theta_{incident})} \quad (13)$$

$$\zeta_k^{(s,p)} = \frac{\sqrt{(\epsilon_k - n_{core}^2 \sin^2 \theta_{incident})}}{\epsilon_k^s} \quad (14)$$

$\zeta_k^{s,p}$ - termen ce exprima admitanta optica, ca stare de polarizare

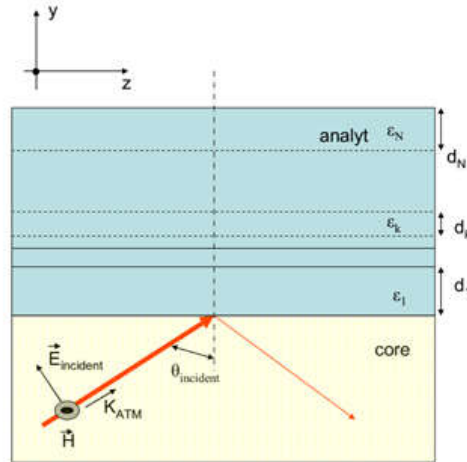


Figura 2.11. Componenta p-polarizata (TM) a unei electromagnetice, la incidenta zonei multistrat in zona activă a senzorului

Geometria pe fibra cu emisie pe suprafață (SEF- side emitting fiber)

In cazul SEF (figura 2.12), depunerea aurului a fost realizata circular, deoarece componenta TM (transversal magnetic) de interactiune cu zona de sensing este maximizata și se datoreaza formei de realizare insasi a fibrei.

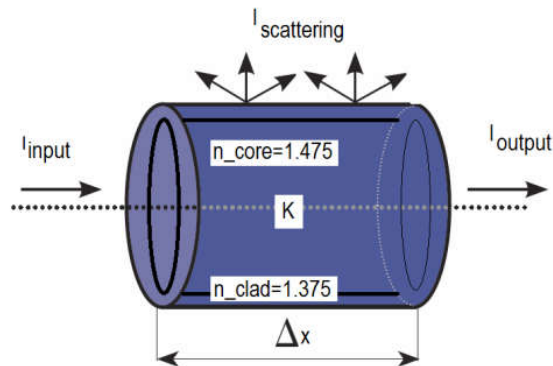


Figura 2.12. Structura fibrei SEF (cu emisie pe suprafață)

Fibra optica cu emisie pe suprafață (SEF) a deschis o noua nisa de oportunitati pentru aplicatiile optice. SEF funcționează ca o sursa extinsa de lumina și este deja populara atat în aplicatii medicale cat și non-medicale. Este special proiectata pentru a stimula scurgerea uniforma a luminii inafara miezului prin fenomenul de imprastiere (LSF – light scattering phenomena) controlata a radiatiei optice. Acest

fenomen LSF poate fi obținut în câteva moduri din care cele mai comune sunt: multiple micro-îndoiri ale axei fibrei optice, substanțe fluorescente în miez, asimetrii, microcavitati sau bule de aer în miezul fibrei optice. Aspectul inovativ introdus în activitatea mea de cercetare l-a reprezentat utilizarea fibrei SEF ca mediu gazdă pentru senzorul plasmonic, aspect care înlocuiește geometrii mai complicate de implementat, ca de exemplu cele bazate pe cuplaj cu rețele de difracție în fibra optică.

Modelul matematic asociat este descris prin aceleași ecuații, cu diferența că θ , unghiul de incidență la suprafața de sensing, conține atât modulele de propagare prin fibra optică cât și cele secundare, rezultate prin fenomenul de împrăștiere (LSF), rezultând condiția $\theta \in [0, \pi/2]$.

Construirea senzorului plasmonic

Pașii pentru construirea senzorului:

1. Îndepărtarea stratului învelișului protector (bufferului) fibrei optice
2. Polizarea fibrei optice (îndepărtarea învelișului și o parte din miez)
3. Depunerea unui strat fotorezistent pe miezul expus al fibrei polizate, prin echipamente de “spin-coating”.
4. Depunerea unui film subțire de aur (de ordinul μm) prin echipamente de depunere folosind tehnica de “sputtering”
5. Analiza directă sau indirectă (etapele de legare aptamer [PhotonicsGalatus63] sau depunerea stratului MIP[SPIEGalatus2013] sau graphene [PhotonicsGalatus64])

Pasul 1: Îndepărtarea bufferului fibrei optice

Structura de bază a unei fibre optice este formată din trei componente: miez(**core**), înveliș(**cladding**), și mediul protector (**coating/buffer**). Miezul este centrul subțire al fibrei care ghidează/confinează lumina. Dimensiunea miezului variază între 8 μm (monomod) și 63 μm (multimod) pentru fibrele standard de sticlă. Miezul este înconjurat de înveliș cu diametrul 125 μm , care este un strat realizat dintr-un material cu indice de refracție mai mic decât al miezului. Transmisia luminii în interiorul fibrei se bazează pe fenomenul de reflexie internă totală (TIR). Pentru protecție suplimentară, învelișul este inclus într-un strat suplimentar denumit tampon sau buffer.

În cazul nostru, fibra optică de plastic multimod este alcătuită dintr-un miez PMMA(poly-methyl-methacrylate) de 980 μm , și un înveliș de polimer dopat de 20 μm . Indicele de refracție al miezului este 1.49, iar al învelișului 1.41, astfel este posibilă reflexia internă totală. Înlăturarea bufferului se face cu ajutorul cleștelui de sertizare(Figura 2.13.)



Figura 2.13. Clește de sertizare

Pasul 2. Polizarea fibrei optice (îndepărtarea învelișului și o parte din miez)

Fibra optică fără stratul buffer este încorporată într-un bloc de rășină sau plastic, cu scopul de a ușura procesul de polizare. Blocul de rășină are 1000 μm lățime și 20 μm înălțime. (Figura 2.14.) Procesul de polizare se realizează cu o hârtie de șlefuit cu diverse rugozități (20, 10 μm) pentru a îndepărta învelișul și o parte a miezului prin miscări sub forma de 8 (Figura 2.15), iar procesul se repetă de 20 de ori. Pentru a expune complet miezul, a fost utilizată o hârtie de șlefuit de 1 μm cu care se repetă același proces. În final se obține fibra cu suprafață plană, geometrie D în secțiune transversală (figura 2.16)

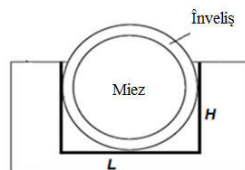


Figura 2.14. Fibra optică încorporată în blocul de rășină

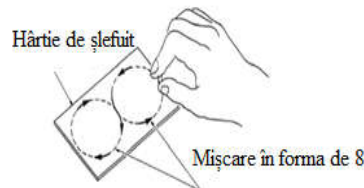


Figura 2.15. Mișcarea de polizare a zonei sensibile a senzorului, în formă de 8 (pentru a asigura uniformitatea suprafeței optice)

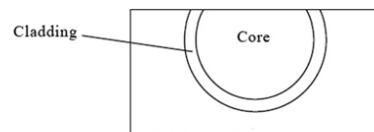


Figura 2.16. Fibră optică polizată în blocul de rășină

Pasul 3 Depunerea stratului fotorezistor

Acest proces se bazează pe trei etape: **depunerea, centrifugarea și evaporarea** (Figura 2.17.). Stratul de fotorezistor se realizează cu ajutorul unui spin coater. Fotorezistorul Microposit S1813 este depozitat într-o singură picătură (aproximativ 0,1 ml) în centrul substratului cu ajutorul unei pipete. În procesul de centrifugare platforma se rotește la viteză mare, la 6000 rpm timp de 60 de secunde, astfel fotorezistorul va acoperi uniform suprafața. Grosimea finală a stratului fotorezistent este de aproximativ 1.5 μm .



Figura 2.17. Etapele unui spin-coater

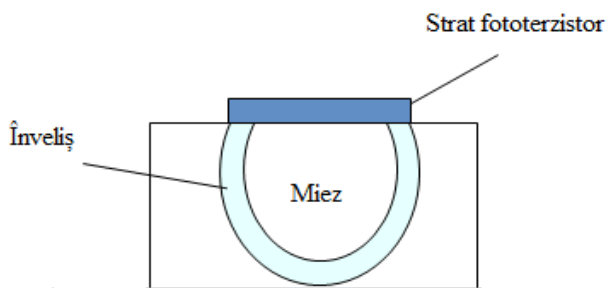


Figura 2.18. a. Senzorul cu stratul fotorezistor



b. Tehnica de spin-coating

Photoresistorul Microposit S1813 este un fotorezistor pozitiv, care oferă acoperire uniformă foarte bună, este eficient la expunerea în bandă largă (broad-band), iar în caz de îndepărtare este foarte ușor de îndepărtat. Grosimea stratului fotorezistor depinde de viteza la care se rotește spin-coaterul. Indicele de refracție a fotorezistenței utilizată Photoresist Microposit S1813, variază în funcție de lungimea de undă a luminii incidente. Se depune stratul de fotorezistor pentru îmbunătățirea performanței sensorului. Fără acest strat s-a demonstrat că sensibilitatea sensorului ar fi mai mică, și există o scădere a puterii transmise în fibră.

Pasul 4. Pulverizare catodică – Sputtering

S-a utilizat mașina de sputtering Bal-Tec SCD 500. Acest proces permite depunerea de aur pe substratul de fotorezistor. Procesul de sputtering se repetă de trei ori cu un curent de 60 mA timp de 35 secunde (20nm/pas), astfel încât se obține un strat de aur de 50-60 nm.

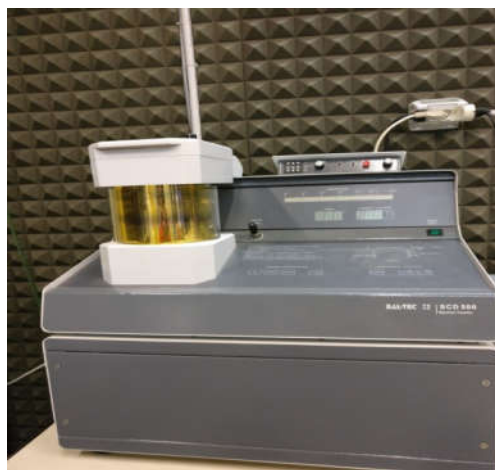


Figura 2.19. Mașina de sputtering

Pasul 5. Obținerea strategiei de funcționalizare a suprafeței de sensing, pentru a răspunde gamei de receptori alesi

Scopul principal al proiectului de cercetare PED67 (având ca director de proiect pe autoarea prezentei teze) a fost monitorizarea concentrațiilor de antibiotice din diferite eșantioane de mediu pentru a evalua expunerea populației la antibiotice prin apele uzate contaminate, ca un pas important în lupta împotriva utilizării abuzive a antibioticelor și a răspândirii rezistenței la antibiotice.

O etapă importantă în proiectarea biosenzorilor este configurația platformei de imobilizare și tehnica de imobilizare la suprafața acestei platforme, în scopul de a asigura transferul electronic între bioelement și traductor. Mai multe nanoplatforme au fost deja dezvoltate cu succes, conducând la o densitate mai mare de bioelemente încorporate pe suprafața traductorului ceea ce se traduce în sensibilitate îmbunătățită și o bună selectivitate.

Principala calitate a unei platforme eficiente trebuie să fie posibilitatea de a crea monostraturi de molecule capabile să prindă specific moleculele țintă. Sunt testate în prezent două nanoplatforme:

- una ce utilizează receptori biomimetici de tip polimeri imprimați moleculari și
- a două ce permite o realizare controlată a straturilor de bioelemente imobilizate (anticorpi și aptameri) folosind sărurile de diazoniu. Ambele metode sunt testate pe electrozi de carbon vitros și pe celule electrochimice planare imprimate cu electrod de lucru de grafit.

Depunerea stratului MIP

Zona de detecție (suprafață de aur) se spală cu etanol, apoi se pune într-un cuptor termostatic la 60 ° C înainte de depunerea straturilor de polimer (MIP). După ce zona de detecție este uscată se pune 50μm din amestecul prepolimeric pe această zonă al cipului și se rotește timp de 80 de secunde la 1500 rpm pentru obținerea unui strat uniform. Urmează un proces mai lung, polimerizarea termică se efectuează timp de 16 ore la 74 ° C. După polimerizare, filmul polimeric obținut este spălat și se extrage molecula de șablon, lăsând locurile de imprimare libere pentru relegare.

Procedurile de spălare și extracție se caracterizează prin două etape. În prima etapă, stratul MIP se spală cu etanol 96% (5 ml de etanol pe platformă) pentru a îndepărta resturile de monomeri nepolimerizați. În a doua etapă, șablonul se extrage din MIP prin spălare cu soluție de HCl și etanol 96%

(1.5 ml de HCl, 5 ml de etanol). În final, sensorul se spală cu apă deionizată și se lasă la uscat la temperatura camerei.

Cuptorul folosit pentru deunerea stratului MIP este TCF 50 Argolab, cu control digital (figura 2.21). În final este obținuta geometria sensorului reprezentata schematic în figura 2.22.



Figura 2.21. Cuptorul folosit pentru depunerea stratului MIP

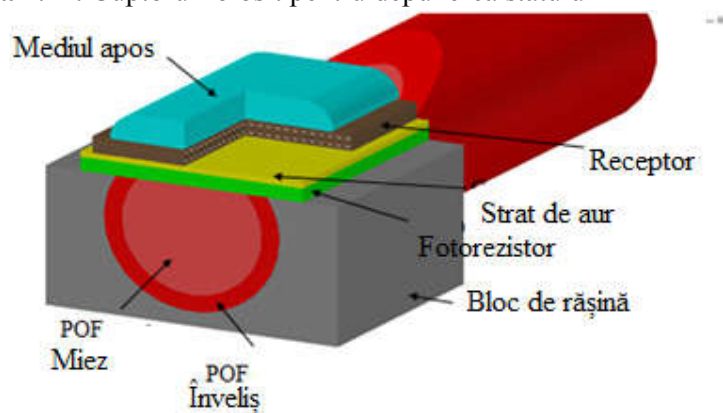


Figura 2.22. Platforma finala SPR-POF-MIP

În Figura 2.23. de la stânga la dreapta, se prezintă sensorul obținut practic, în diferite etape:

- a) Fibra optică în blocul de rășină înainte de polizare
- b) Fibra optică în blocul de rășină după polizare
- c) Sensorul finalizat

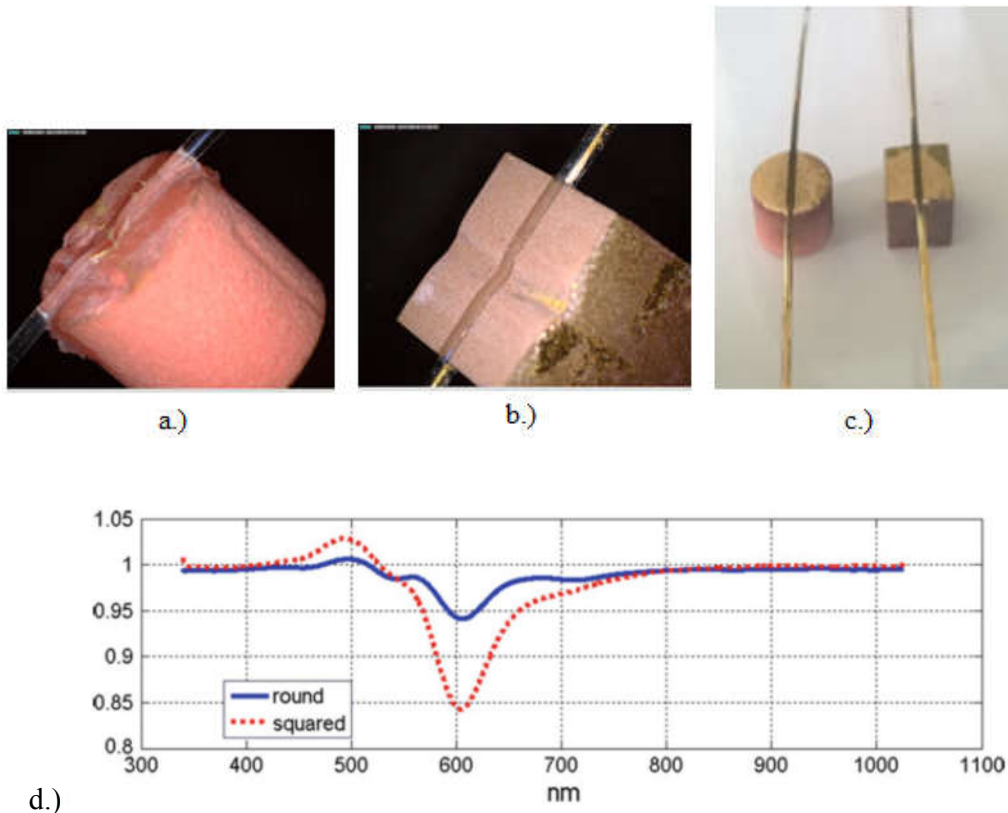


Figura 2.23. Suprafață senzorială în diferite etape (a-c) și d. răspunsul traductorului, având suportul rotund respectiv dreptunghiular [PhotonicsGalatus60][PhotonicsGalatus62]

În final se obține o platformă de senzor optic bazat pe o fibră optică din plastic (POF) cu un strat buffer (Microposit S1813) între miezul fibrei expus și filmul de aur subțire. Zona de detecție plasmonică are o lungime de aproximativ 10 mm. În domeniul vizibil de interes, stratul de fotorezistor prezintă un indice de refracție mai mare (1.61) decât cel al miezului fibrei (1.49). Acest strat de fotorezistor îmbunătățește performanțele senzorului SPR. Dimensiunea miezului este 980 μm (PMMA), iar dimensiunea învelișului este 10 μm . Întrucât multistratul pe POF prezintă o grosime a stratului buffer de aproximativ 1,5 μm și un film de aur subțire de 60 nm. Depozitarea receptorului MIP peste stratul subțire de aur oferă detectarea selectivă, astfel senzorul SPR-POF-MIP face posibilă detectarea selectivă a compusului vizat (în cazul de față, experimentul s-a realizat în cadrul proiectului PED67-UEFISCDI și a vizat detectia antibioticilor de tip beta-lactam din apă). Tabelul 2. reprezintă straturile finale ale senzorului realizat.

În articolele [SPIEGalatus2013][ActuatorsGalatus2013] a fost raportată detectia de trinitrotoluenă (TNT), folosind un SPR-POF cu MIP. Rezultatele experimentale arată că utilizarea stratului MIP este adecvată pentru detectarea selectivă a TNT, până la aproximativ 50 μM (adică $\sim 11 \mu\text{g} / \text{ml}$). Aceasta arată că detectarea directă a unei substanțe cu masă moleculară mică este posibilă cu traductorul SPR, chiar și la o concentrație scăzută. Mai mult decât atât, celula de detecție SPR este ieftină și relativ ușor de realizat și poate fi foarte atractivă pentru detectarea și analiza trinitrotoluenului (TNT), având în vedere că nu implică utilizarea vreunui dispozitiv electric și poate fi utilizat prin monitorizare de la distanță online exploatând o legătură pe fibră optică, fiind compatibilă cu sistemul optic de transmisie a semnalelor. Activitățile de cercetare pentru a îmbunătăți sensibilitatea senzorului SPR, sunt în progres, prin schimbarea parametrilor de proiectare a senzorului, pentru a mari intervalul

de detecție de la 1.43 la 1.49 (de ex. proprietățile stratului tampon al fotorezistului, pentru a depăși limita datorată indicelui de refracție relativ ridicat al stratului MIP dedicat pentru detectarea selectivă a TNT).

Tabel 2. Straturile senzorului realizat

Straturile senzorului
Miez (PMMA) 980 μm ; RI=1.49
Înveliș 20 μm; RI=1.41
Fotorezistor Microposit S1813 1.5 μm; RI=1.61
Strat de aur 60 nm
Receptor MIP

În figura 2.24.a sunt prezentați 3 senzori finalizați bazați pe fenomenul SPR, iar în figura 2.24.b alte configurații de senzori plasmonici (pe fibra cu emisie de suprafață și fluorescența galbenă).

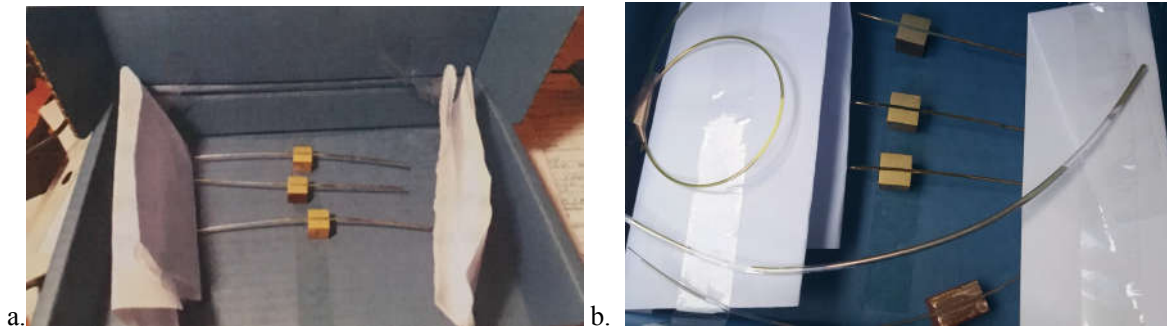


Figura 2.24. Senzori SPR în diverse geometrii a. senzori cu POF b. Senzori SEF și fluorescența

Se prezintă în Figura 2.25. caracterizarea suprafeței fibrei optice, care s-a realizat cu un echipament SEM. Microscopia electronică este o metodă de investigație care oferă informații importante în legătură cu structura și starea suprafețelor materialelor. Această tehnică permite obținerea unor informații referitoare la topografia suprafeței probei și este utilizată pe scară largă datorită faptului că probele nu necesită o pregătire specială și pot fi examinate fără a fi prelucrate.



Figura 2.25. Caracterizarea suprafeței fibrei optice cu echipament SEM

Echipamentul experimental pentru interogarea senzorului

Configurația experimenta este concepută astfel încât să se măsoare spectrul radiației transmise prin fibra optică și este constituit dintr-o sursă de lumină de bandă largă 360 nm - 1700 nm (lampa halogen, sau fibre fluorescente) și un analizor spectral Ocean Optics “USB2000+UV-VIS” (200 nm –850nm). Rezoluția spectrală a spectrometrului este 1.5nm (FWHM). Spectrometrul este conectat la calculator/tabletă sau o platforma de dezvoltare Raspberry Pi. Curbele SPR reprezentând datele achiziționate sunt afișate pentru a fi analizate, cu ajutorul software-ului user-friendly de la Ocean Optics. Imagini de detaliu ale senzorului, având suportul de rasină de forme diferite [PhotonicsGalatus62] sunt prezentate în figura 2.23. S-a demonstrat experimental că sensibilitatea senzorului având forma suport rotundă, acționează la intrare ca o lentilă convergentă, iar la ieșirea zonei de sensing ca o lentilă divergentă, dispersând semnalul și asigurând o sensibilitate atenuată din acest motiv, pentru detectia analitilor.

Configurația minimală este schițată în imaginea 2.26. Instalarea experimentală simplă și ieftină se bazează pe 3 componente principale, așa cum se poate observa în Figura 2.26.: lampă halogen(HL–2000–LL, fabricat de Ocean Optics, Dunedin, FL, USA), ca sursă de lumină, care iluminează sistemul de senzor optic, senzor SPR-POF, spectrometru(FLAME-S-VIS-NIR-ES, fabricat de Ocean Optics, Dunedin, FL, USA) Spectrul de transmisie SPR, normalizat la spectrul de referință, este obținut utilizând software-ul Matlab (MathWorks, USA). Spectrul de referință se poate obține atunci când mediul înconjurător este aer. Blocul de plastic, suport al senzorului SPR-POF este fixat pe o masă. De fiecare dată, după ce se salvează datele pentru curba SPR în aer (spectrul de referință), măsurătorile sunt obținute în aceleași condiții (cipul în aceeași poziție, în cutia de stabilizare termică care asigură izolarea față de variațiile luminoase din mediul ambiant). Cu ajutorul unei pipete se depun soluțiile apoase, având diferite concentrații, având indice de refracție diferit (figura 2.28).

Configurația minimală a fost îmbunătățită, având în vedere un consum redus de energie, prin înlocuirea sursei halogen cu fibre optice fluorescente (în cazul de față fibra optică roșie).

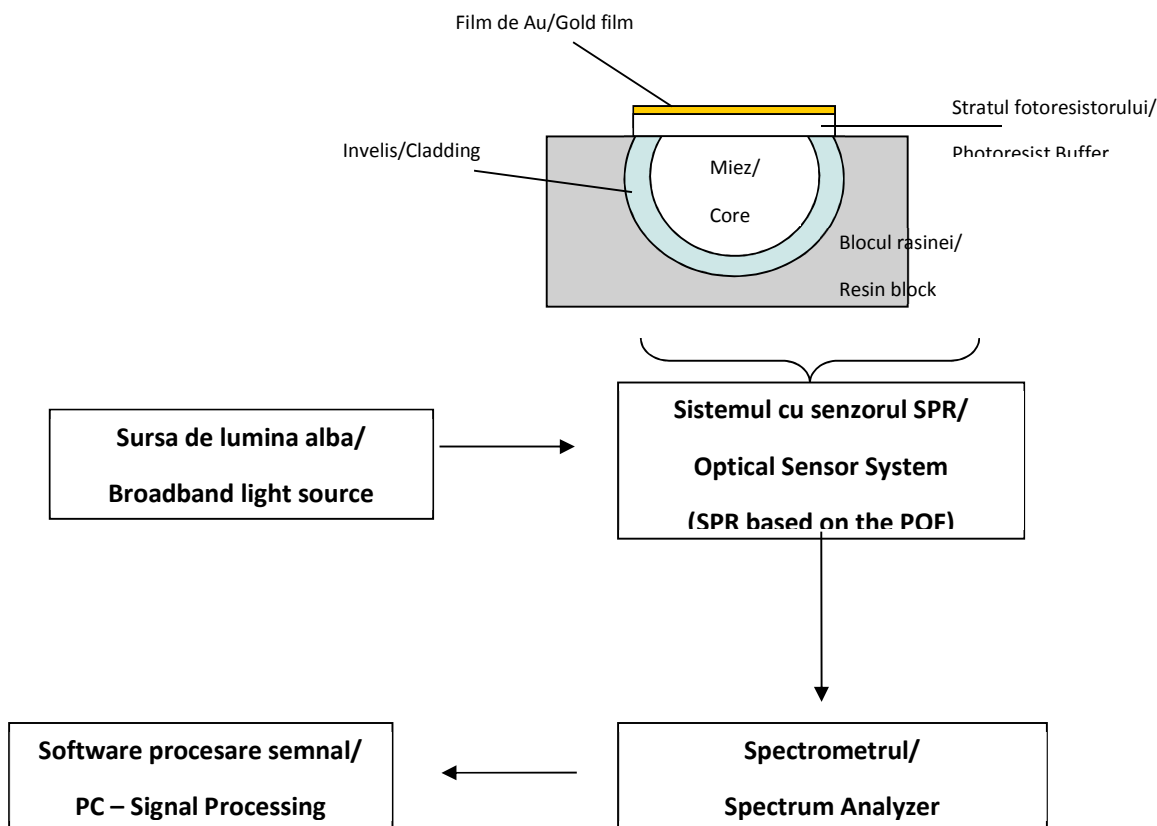


Figura 2.26. Schita setup experimental pentru interogare senzor SPR – configuratia de baza

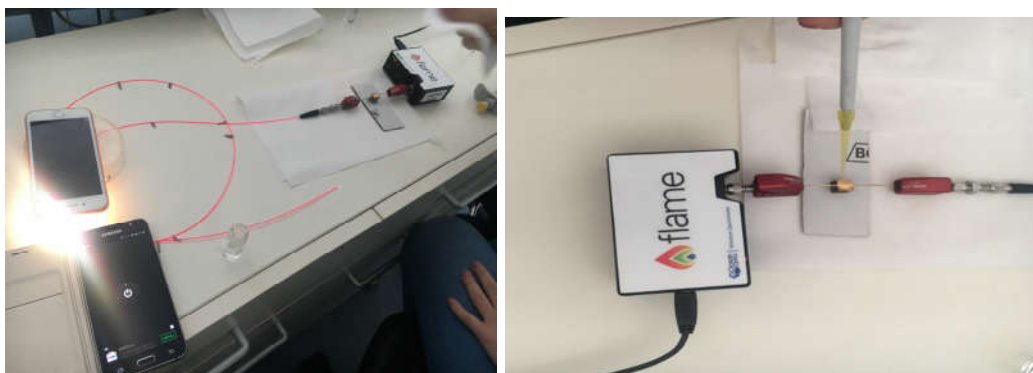


Figura 2.27. Echipamentul experimental în sistemul cu senzor SPR

În figura 2.27 se observă utilizarea fibrei optice fluorescente ca sursa de lumina pentru sistemul cu senzor SPR [PhotonicsGalatus56], în locul sursei halogen. În acest mod se reduce consumul energetic al sistemului cu senzor. Fibra roșie are un diametru total de 1 mm, cu un miez de polistiren, având un diametru de aproximativ 800 μm și invelis acrilic. Vârful emisiei optice este aproximativ 650 nm și emite un spectru larg în intervalul aproximativ 620 la 760 nm.

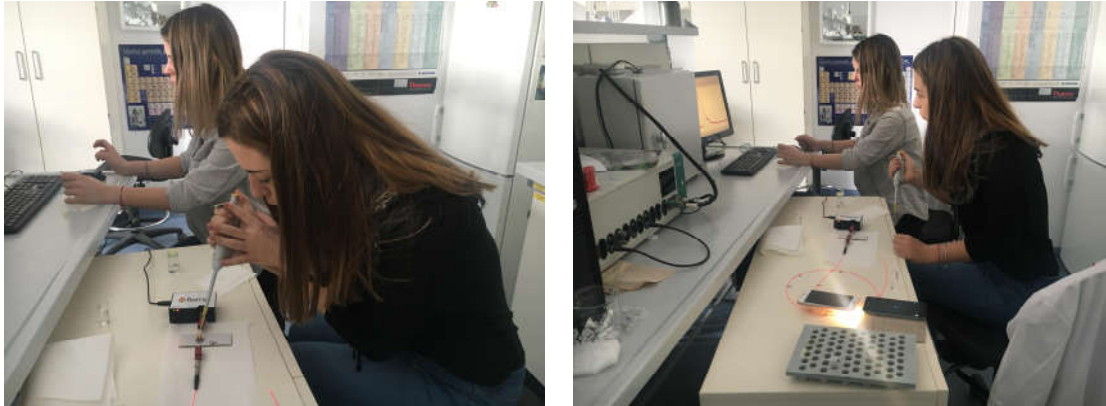


Figura 2.28. Testarea sistemului cu senzor SPR – participare tineri cercetatori, proiect PED67

Integrarea multi-canal cu arii a senzorilor [PhotonicsGalatus65] în sistemul hardware a fost realizată prin tehnica TDM (time division and multiplexing). Aceasta tehnică presupune ca fiecărui senzor să i se aloce un interval de timp egal de citire a datelor cu spectrometrul, în mod secvențial. Integrarea modulului de sensing în sistemul funcțional final a fost realizată astfel: plecând de la configurația cu o singură celulă de sensing s-a ajuns la geometria din Figura 2.29 în care se ilustrează configurația de lucru a sistemului cu $N=2$ celule de sensing. Această configurație funcționează astfel:

- singura sursă (de exemplu flashlamp-ul de la telefonul mobil) cuplată la fibrele optice fluorescente (care sunt sensibile la cuplaj lateral) ca surse pentru celulele SPR și
- N celule SPR, comandate prin aplicația smartphone de microcontrolerul de pe placa BlunoNano dotată cu Bluetooth 4.0 (care asigură conexiunea la smartphone) prin N shuttere LC (comutatoare de lumină bazate pe polarizarea cristalelor lichide) (în cazul de față pentru simplificarea $N=2$).
- Un singur receiver: celulele SPR sunt conectate apoi printr-un cuplor $N:1$ la spectrometrul care citește datele.
- Software-ul de procesare a datelor asociază un interval de timp egal pentru citirea datelor $t_1=t_2=\dots=t_N$ fiecărui senzor (intervalul de timp t_i este stabilit de utilizator).

Geometria celei SPR conține cip-ul cu proveniența TED Pella fixat cu lichid de imersiune (siringă Thorlabs) pentru adaptarea indicelui de refracție.

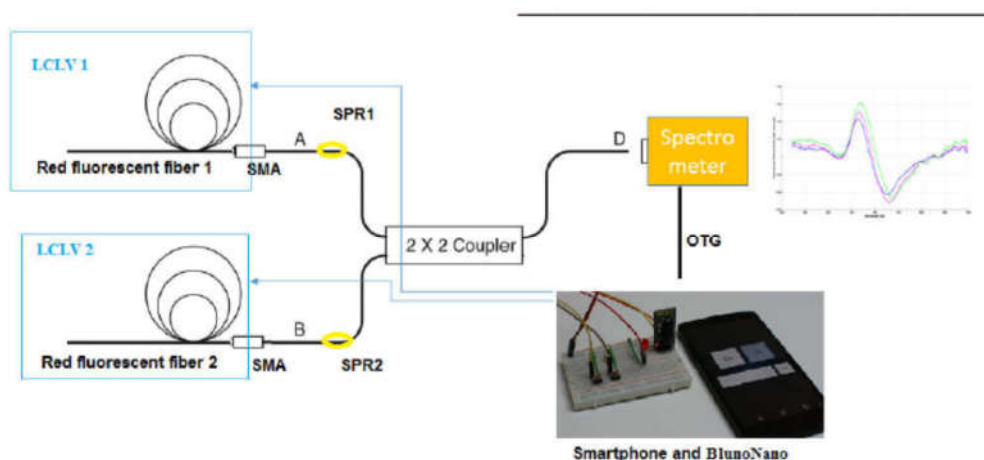


Figura 2.29. Două celule SPR integrate în sistem prin tehnica TDM (schița sistemului explicat)



Figura 2.30. Două celule SPR integrate în sistem prin tehnica TDM (fotografie de laborator)

Dezvoltarea software-ului embedded, pe smartphone constă în citirea secvențială a rezultatelor eșantioanelor. În același timp smartphone poate fi utilizat și ca sursa unică pentru aria de celule SPR (figura 2.29), pentru a avea sursa de lumină în fază, cuplată lateral prin fibrele fluorescente roșii. În figura este ilustrată interfața user-friendly de citire a datelor de la spectrometru, folosind Tableta Android Samsung Galaxy Tab A6, dotată cu modul 4G încorporat. Tableta este conectată prin USB (OTG cable) cu spectrometrul portabil OceanOptics T-Flame.

Experimentele de funcționalizare a suprafeței de sensing

După montarea echipamentelor se colectează datele. Este necesară folosirea unui protocol de măsurare standard după depunerea fiecărei soluții cu diferite concentrații pe chip. Acest protocol este bazat pe 3 pași, care trebuie respectate cu mare atenție:

1. depunerea analitului pe suprafața sensorului, unde se produce interacțiunea chimică între analit și receptorul sintetic (timp de 10 minute la temperatura camerei)
2. pasul de spălare cu apă
3. înregistrarea spectrului, atunci când apa este prezentă ca volumul substanței (bulk)

Acest protocol este necesar pentru a măsura variația lungimii de undă de rezonanță determinată de legarea specifică (datorită interacțiunii analit/receptor) pe suprafața de detecție.

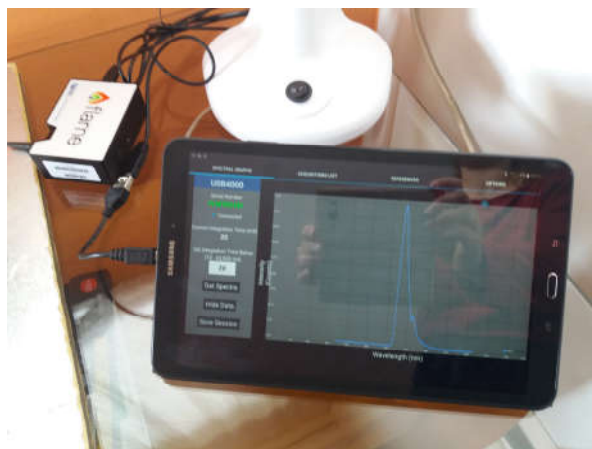


Figura 2.31 Interfața de interogare a senzorilor SPR, cu dispozitiv tableta Android, 4G

A fost realizata de asemenea o interfata pe platforma Raspberry Pi [SASGalatus2016]. Software-ul dedicat **Spectraberry** a fost dezvoltat pentru monitorizarea în timp real a rezultatelor obținute cu SPR-POF. Aceste aplicații necesită o configurație experimentală minimală, ieftină și portabilă și încorporează un software dedicat, ușor de utilizat.

Soluțiile și analitul: soluția apă-glicerină

În cazul senzorilor SPR, **fără stratul receptor MIP** [SensorsGalatus2013], pentru detectarea variației indicelui de refracție se folosesc soluții apă-glicerină cu diferite indici de refracții. Se cunoaște că indicele de refracție a apei este 1.332, iar glicerina are o indice de refracție de aproximativ 1.47. Înainte de experiment se realizează soluțiile. Pașii pentru realizarea soluțiilor și aflarea indicelui de refracție sunt următorii:

- Se pune apă în mai multe eprubete chimice, iar cu ajutorul unei pipete în fiecare se pun cantități diferite de glicerină (1 picătură, 2 picături etc)
- Fiecare eprubetă trebuie agitată până glicerina se amestecă cu apa
- Aflarea indicelui de refracție se face cu ajutorul refractometrului Abbe
- Pe fiecare eprubetă se notează indicele de refracție obținut

Principiul de funcționare a refractometrului Abbe (figura 2.30) se bazează pe unghiul critic. Partea principală a refractometrului Abbe se compune din două prisme, una pentru măsurare și cealaltă pentru iluminare. Lumina intră în proba din prisma iluminată, este refractată la un unghi critic la suprafața inferioară a prisme de măsurare, iar afisajul este utilizat pentru a măsura poziția frontierei între zonele luminoase și zonele mai întunecoase.



Figura 2.30. Refractometrul Abbe

Rezultatele experimentale SPR

Rezultatele sunt obținute măsurând spectrul de transmisie pentru diverse medii apoase ca analit, sunt normalizate la spectrul obținut având aer ca analit (numit spectru etalon).

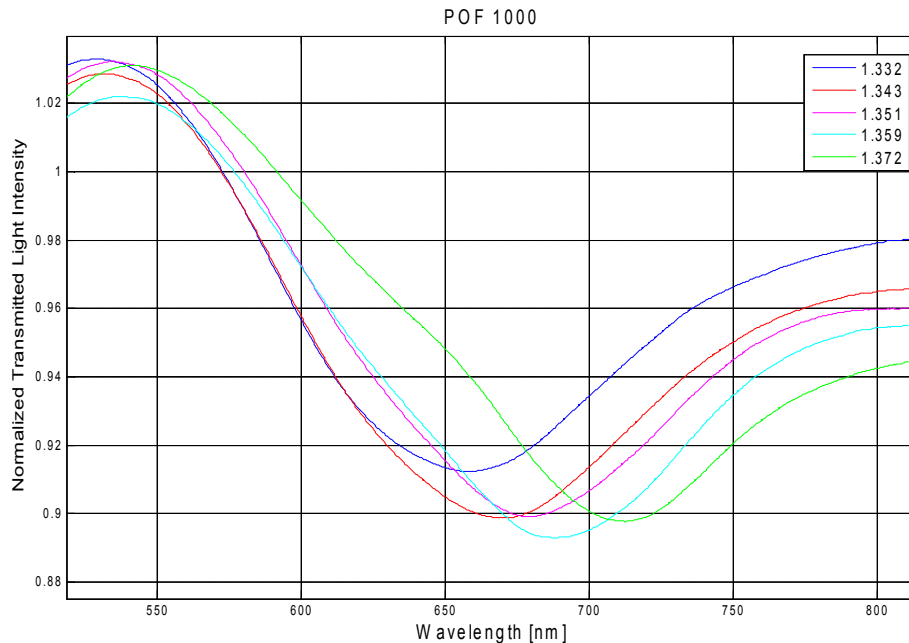
$$T(\lambda) = \frac{P_{out}(\lambda)}{P_{ref}(\lambda)} \quad (15)$$

Banda de absorbtie este rezultatul convolutiei varfurilor de rezonanta. Fiecare varf este rezultatul conditiei de rezonanta ce implica un unghi și o lungime de undă asociata. Pentru etalonarea senzorului, se masoara direct performanta acestuia folosind solutiile amestecuri apa-glicerina sau apa-zahar cu în diverse concentratii, ce corespund la indici de refractie diferiti. De exemplu, pentru 5 solutiile cu indici de refractie în intervalul $n=1.332-1.372$ au fost obținute curbele de transmisie SPR prezentate în figura 2.31, pentru SPR pe fibra POF cu diametrul 1000 μm .

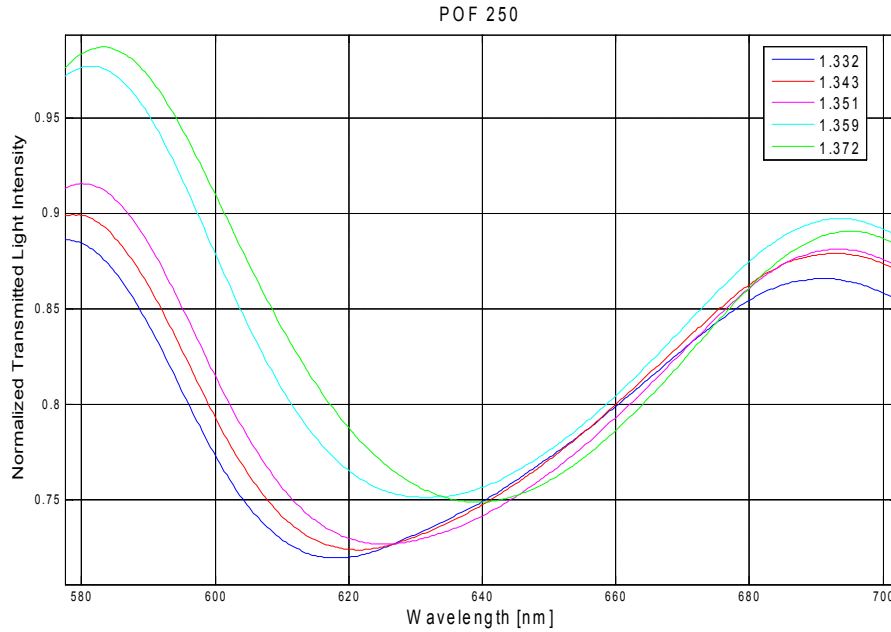
În general apertura numerica a fibrelor de plastic este mai mare decat a fibrei de sticla. Conditia de rezonanta pentru diverse lungimi de undă este data de combinatia dimensiunilor diametrului fibrei optice (D), a lungimii zonei de sensing (L) și a aperturii numerice (NA).

În literatura de specialitate, sunt mentionate geometrii fara strat buffer, sau geometrii multistrat metalice (Crom și Aur sau Argint). În geometria folosita în activitatea mea de cercetare au fost analizate modalitati de imbunatatire a sensibilitatii zonei de sensing prin fibre optice diferite [SensorsGalatus2013], multistraturi metalice [PhotonicsGalatus 61], grafene [PhotonicsGalatus64] sau multistrat cu strat buffer [SPIEGalatus2017], geometrii diferite pentru suportul fibrei [PhotonicsGalatus60]-[PhotonicsGalatus62], folosirea analizei indirecte prin chimie de suprafată cu aptameri sau straturi MIP (molecular imprinted polymer) dedicate recunoasterii unei anumite molecule [SPIEGalatus2013][ActuatorsGalatus2013][PhotonicsGalatus59][PhotonicsGalatus60] precum și o arhitectura hibrida elect-optica SPR [SIITMEGalatus20172][PhotonicsGalatus57].

Pentru senzorii SPR bazati pe fibre optice (plastic sau sticla), variatia lungimii de undă de rezonanta ($\delta\lambda_{\text{res}}$), pentru o variatie predefinita a indicelui de refractie (δn_s), creste odata cu descreterea numarului de reflexii la suprafată de sensing. Astfel sensibilitatea creste cu cresterea diametrului fibrei și descreterea lungimii zonei de sensing. Mai mult, rezolutia senzorului depinde de variatia $\delta\lambda_{\text{res}}$, si, la fel ca sensibilitatea, rezolutia tinde sa se imbunatateasca pentru fibre optice cu diameter ale fibrei mai mari. Rezolutia (Δn) este defnita ca și coeficientul unghiular al aproximarii liniare din figura 2.33, multiplicat cu rezolutia spectrala ($\delta\lambda_{\text{DR}}$) a spectrometrului folosit în configuratia de masurare.



A.

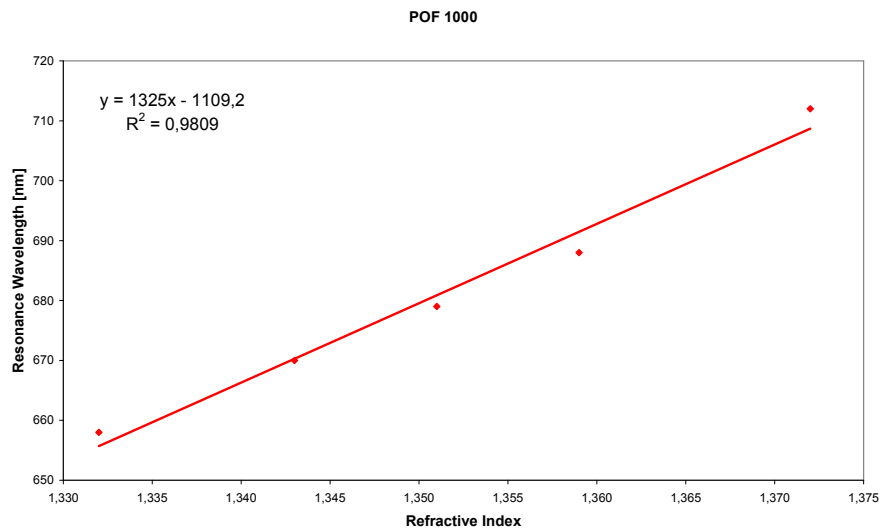


B.

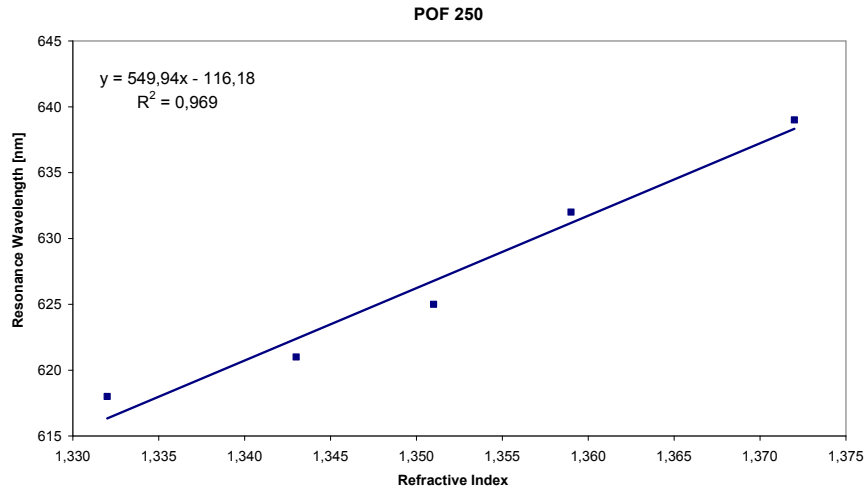
Figure 2.31. Spectrele de transmisie SPR obținute experimental, normalizate la datele „aer”, pentru un indice de refracție al analitilor de tip apos. Configurarea cu un POF având diametrul: (A)- de 1000 μm, (B)-250 μm [SensorsGalatus2013].

Au fost prezentate spectrele de transmisie SPR, normalizate la spectrul obținut având aer-ul ca mediu de analiza, comparative pentru fibra cu diametrul 1000 μm cat și 250 μm.

Raspunsul liniar al senzorului este reprezentat în figurile 2.32 A și B, pe baza datelor experimentale obținute. Coeficientul de corelație Pearson (R) este 0.99 pentru POF de 1000 μm și 0.98 pentru POF de 250 μm. Sensibilitatea deplasării lungimii de rezonanță (nm) pe unitatea de variație a indicelui de refracție (nm/RIU). Astfel este definit ca și coeficientul unghiular al aproximării liniare. Se observa ca sensibilitatea crește odata cu diametrul mizeului fibrei optice.

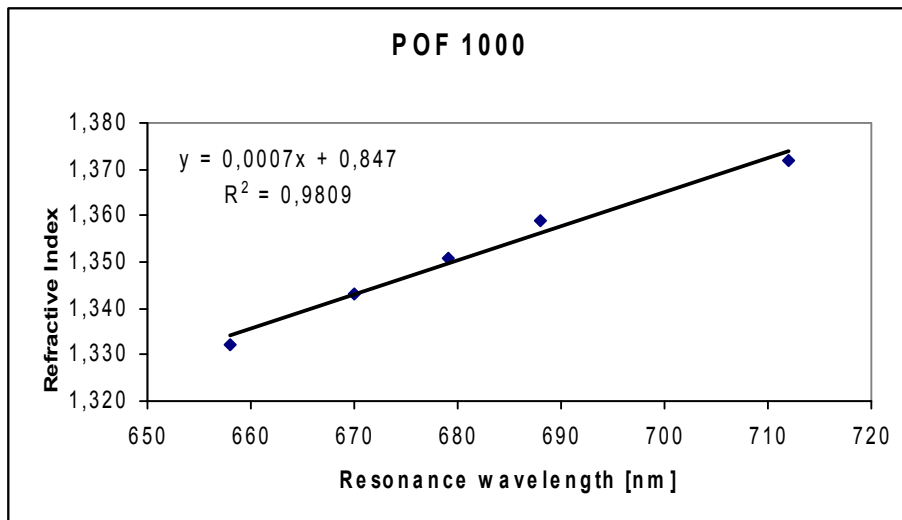


A

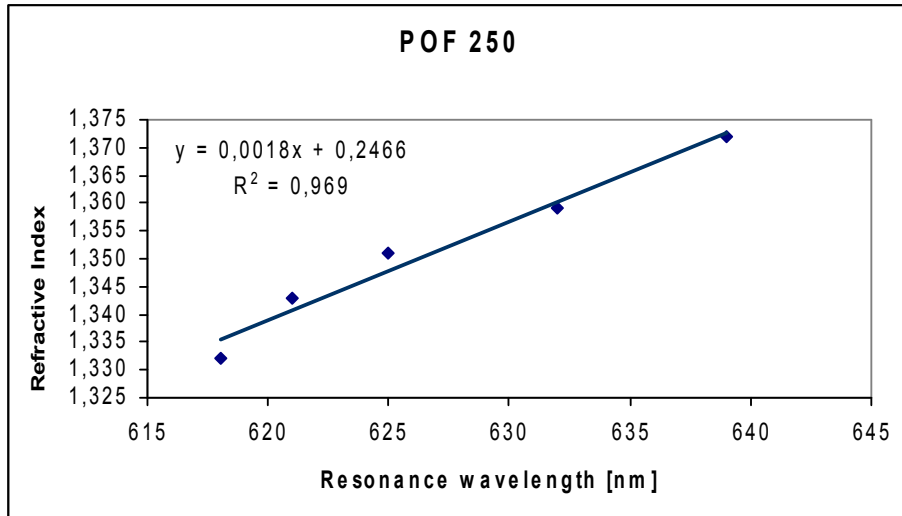


B

Figure 2.32. Lungimea de undă a rezonanței plasmonice în funcție de indicele de refracție. (A) Configurația cu POF având diametrul de 1000 μm. (B) Configurația cu POF având diametrul de 250 μm.



(A) Rezoluția $\Delta n = 0.0007 \cdot 1.5 = 0.0010$ [RIU] -POF 1000



(B) Rezolutia $\Delta n = 0.0018 \cdot 1.5 = 0.0027$ [RIU] -POF 250

Figure 2.33. Indicele de refracție ca funcție a lungimii de undă de rezonanță Plasmonică.
 (a) Configurația POF cu diametrul de 1000 μm . (b) Configurația POF cu diametrul de 250 μm .

Din rezultatele experimentale inasa, rezulta ca folosind stratul buffer se produce un fenomen diferit și variația lungimii de undă de rezonanță pentru o variație fixă a indicelui de refracție crește cu cât diametrul fibrei crește. Mai mult decât atât, lățimea curbei SPR ($\delta\lambda_{sw}$) crește odată cu creșterea diametrului fibrei optice. Ca exemplu este prezentat în figura 7 un exemplu comparative pentru diametrele diferite ale fibrei optice, pentru indicele de refracție fixat $n = 1.332$.

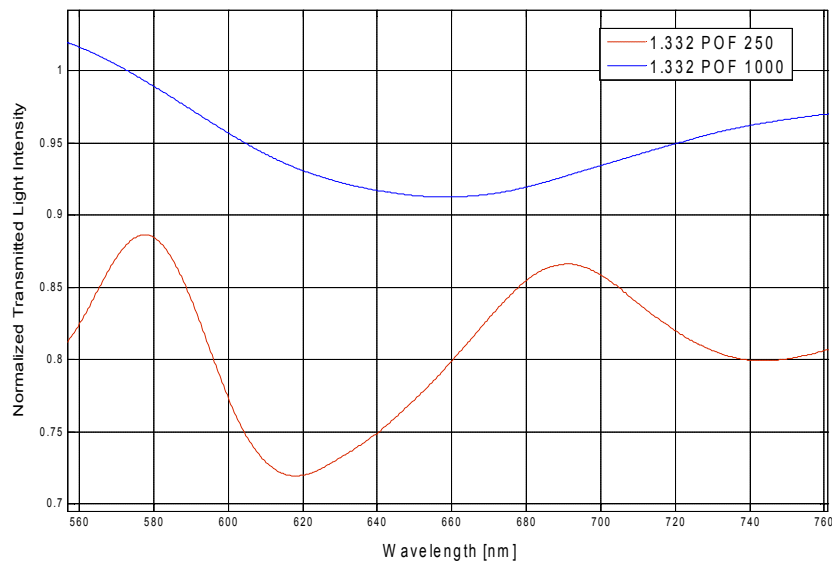
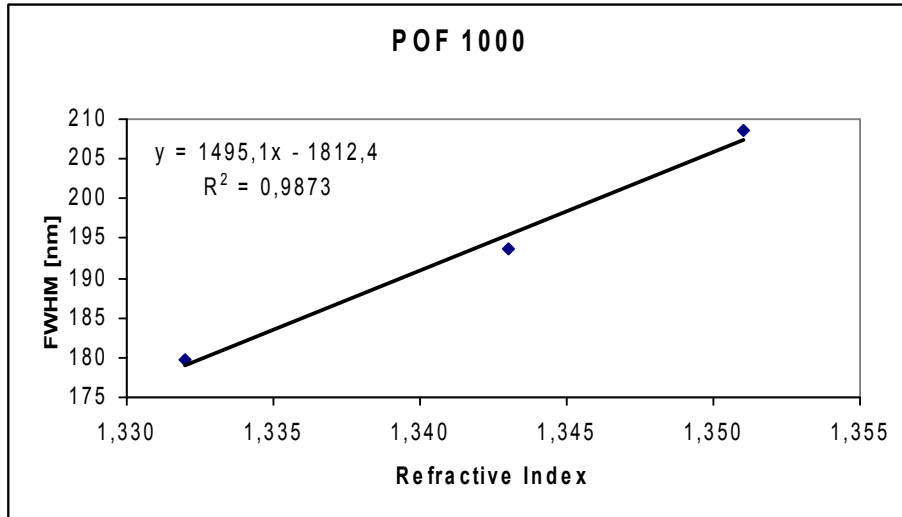
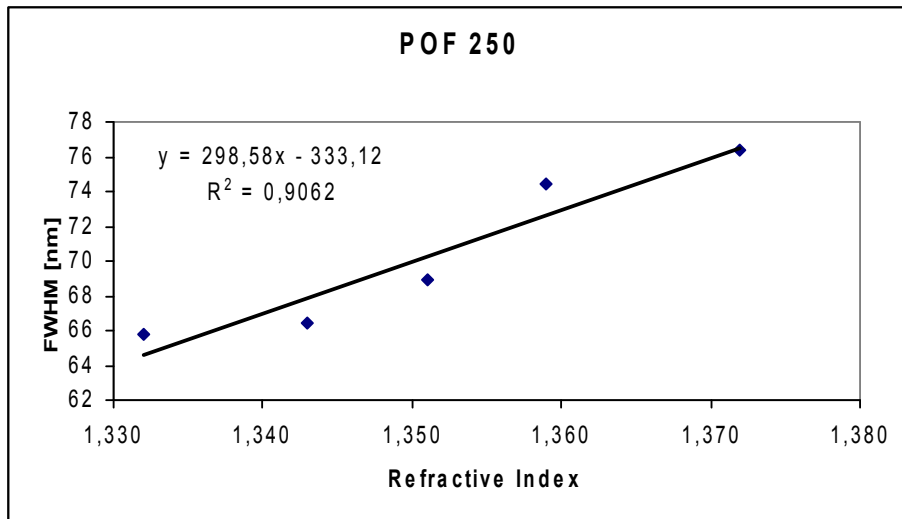


Figura 2.34. FWHM (the full width at half maximum) a curbei SPR pentru cele două configurații ale senzorilor cu POF diametru 250 μm și POF cu diametrul de 1000 μm pentru un indice de refracție extern de 1,332

Latimea curbelor SPR, $\delta\lambda_{sw}$ se poate calcula ca fiind FWHM (full width at half maximum) pentru curbele Figura 2.31. În figurile 2.35 sunt reprezentate FWHM în funcție de variația indicelui de refracție.



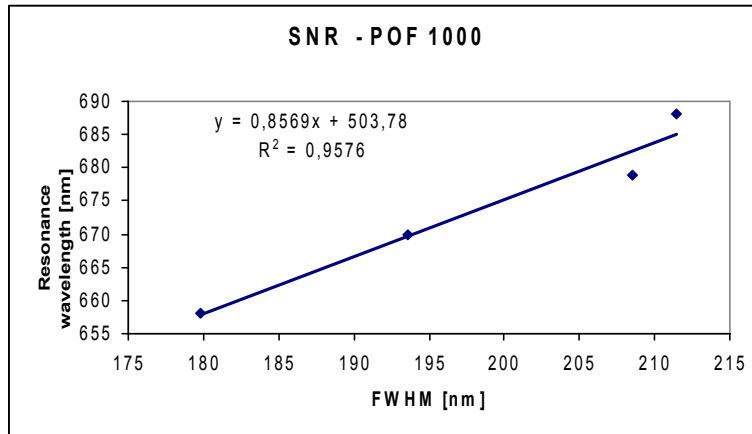
(a)



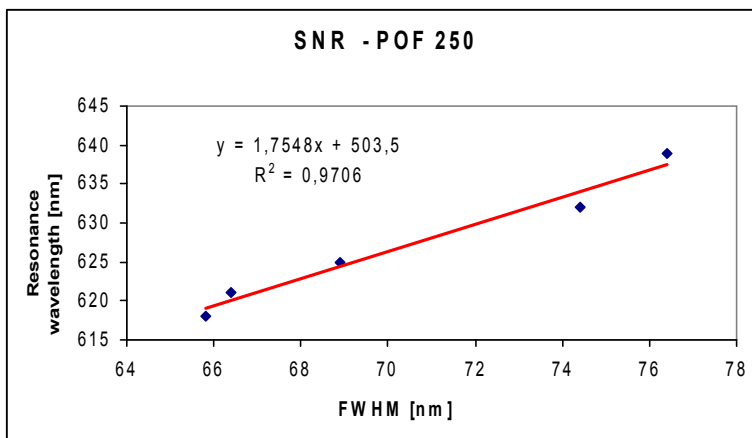
(b)

Figura 2.35. FWHM a curbei SPR în funcție de indicele de refracție. (a) Configurații cu POF cu diametrul de 1000 μm . (b) Configurații cu POF cu diametrul de 250 μm .

Lungimea de undă a rezonanței plasmonice în funcție de FWHM a curbei SPR este prezentată în figura 2.36. SNR este definit ca fiind coeficientul unghiular al fittingului liniar raportat în figura 2.36. Din figura se observa că SNR crește atunci când diametrul miezului fibrei scade.



(a)



(b)

Figure 2.36. Lungimea de undă a rezonanței plasmonice în funcție de FWHM a curbei SPR. (a) Configurația cu POF cu diametrul de 1000 μm . (b) Configurația având POF cu diametrul de 250 μm .

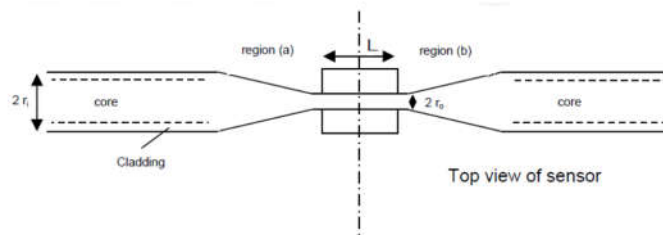
Pentru o analiză comparativă între senzori cu POF diametru 250 μm și POF cu diametru de 1000 μm , Tabelul 3 raportează parametrii medii de performanță măsurați experimental, evaluați prin programul Matlab, pentru indicii de refracție mediu extern cuprins între 1.332 și 1.372.

Tabel 3. Compararea performanțelor pentru două configurații de senzori SPR

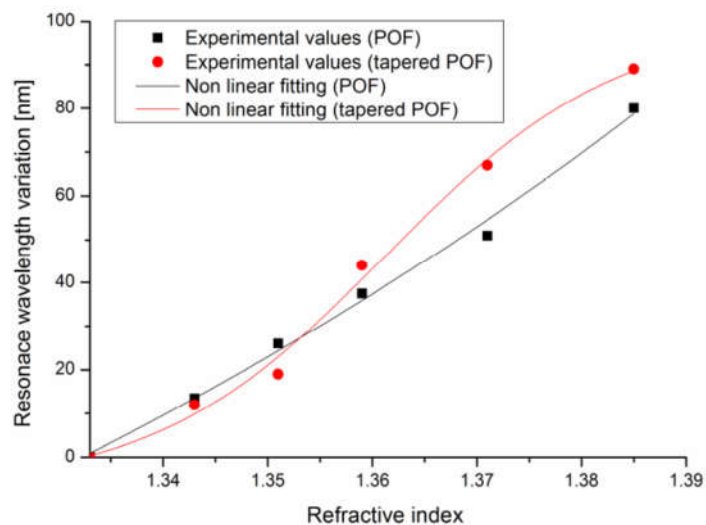
Diametrul POF [μm]	Rezoluție (Δn) [RIU]	Raport semnal-zgomot (SNR)	Sensibilitate (S_n) [nm/RIU]	FWHM/ Δn [nm/RIU]
250	0.0027	1.7548	0.549×10^3	0.298×10^3
1000	0.0010	0.8569	1.325×10^3	1.495×10^3

Senzor SPR cu element de adaptare (tapered) [PhotonicsGalatus60]

Rezultatele arată că sensibilitatea senzorului SPR cu un POF având element de adaptare (taper) este mai mare decât cazul fără taper, atunci când indicele de refracție al mediului apos crește (variind de la 1.359 la 1.385). Figura 2.37 prezintă sensibilitatea pentru ambele configurații.



a).



b).

Figura 2.37. a. Zona de sensing cu element de adaptare (taper) b. rezultate experimentale

Geometria SPR bazata pe nano-antene [PhotonicsGalatus 58]

În această lucrare, s-a realizat procesul de proiectare pentru un răspuns optim al senzorilor plasmonici, exploatănd geometria matricei de tip nanoantenna de aur realizată pe fibră optică din plastic în formă de D (POF). S-au folosit diferite matrici de nano-sloturi geometrice, cu fantă dreptunghiulară, pe stratul de aur. Rezultatele numerice obținute cu diferiți parametrii geometrice, cum ar fi lungimea sloturilor, lățimea și distanța sloturilor, au evidențiat o abordare diferită pentru a obține un senzor plasmonic în POF, în care parametrii geometrice ai sloturilor poate modifica răspunsul senzorului la analiti diferiți legați de stratul de aur. Polarizarea aplicata pentru câmpul magnetic și diferitele modele ale matricei de nano-sloturi (ex spațiile diferite între

sloturi), influențează fenomenele plasmonice: rezonanța localizată a plasmonului de suprafață, rezonanța suprafeței plasmonice sau ambele (figura 2.38).

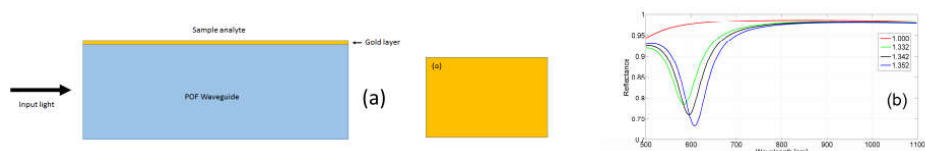


Figure 1: Pol.1 (a) Side view and top view of the SPR Sensor with continuous gold film, (b) Reflectance vs wavelength for various refractive indices of the analyte

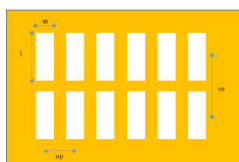


Figure 2: Top view of Nano-slot antenna array

Figura 2.38. Raspunsul senzorului SPR cu matrice de nano-sloturi plasmonice (nano-antene)

Geometrie SPR bazata pe straturi multiple [SPIEGalatus2017]

De obicei, stratul fotorezist este necesar pentru a crește performanța senzorului SPR-POF. Straturile fotorezistului propuse pentru analiză sunt SU-8 3005 și S1813. Analiza propusă arată că tipul stratului fotorezistor nu are influența semnificativă atunci când indicele de refracție al dielectricului în contact cu aurul variază de la 1.332 la 1.375. Pe de altă parte, la indicele de refracție mai mare, în intervalul 1.375-1.393, cea mai bună sensibilitate este oferită de configurația bazată pe stratul tampon fotorezist S1813. Acest rezultat este foarte important mai ales atunci când receptorul depus pe filmul de aur prezintă un indice de refracție "ridicat" (în jurul valorii de 1,40) așa cum apare în cazul Polimerilor cu imprimare moleculară (MIP).

Tehnica de detectie folosind functionalizare cu polimeri moleculari imprimați (MIP)

Principiul tehnicii polimerilor imprimați molecular (MIP) a fost introdus de Wulff în 1972, având la baza formarea de legături covalente reversibile între polimeri funcționali și molecula șablon. În 1981, Mosbach a sintetizat receptori biomimetici bazați pe interacțiuni necovalente între molecula șablon și monomerii funcționali [Ley Ye8][Lorenzo9].

Imprimarea moleculară a polimerilor este o tehnică versatilă utilizată pentru fabricarea de receptori biomimetici. Aceștia reprezintă situsuri de recunoaștere moleculară, complementare ca mărime, formă și funcționalitate chimică cu o moleculă țintă (șablon), create într-un polimer sintetic. Metoda de preparare este simplă și implică utilizarea de monomeri funcționali, molecule șablon, agenți de reticulare și solvenți. Pașii implicați în pregătirea de MIP sunt ilustrați în Figura 2.39 și constau în:

- asamblarea monomerului într-o manieră ordonată în jurul șablonului prin interacțiuni covalente sau non-covalente între moleculele șablon și monomerii funcționali
- polimerizarea monomerului în prezența moleculei șablon, rezultând o matrice polimerică care înglobează moleculele șablon
- îndepărtarea șablonului din matricea polimerică, rezultând astfel cavități de recunoaștere specifice pentru molecula șablon.

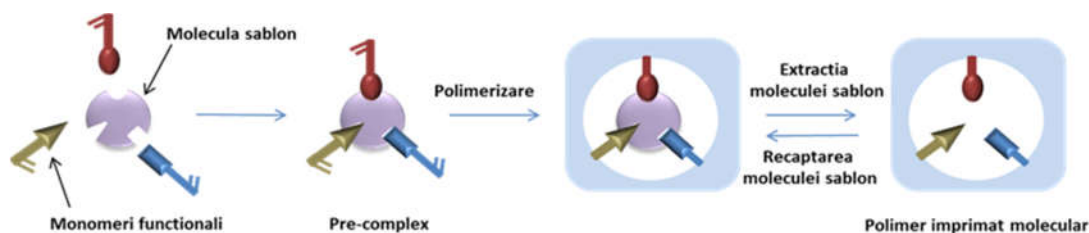


Figura 2.39. Metoda generală de preparare a polimerilor imprimați molecular.

Tehnica polimerilor imprimați molecular prezintă o serie de avantaje precum:

- Preparare simplă
- Cost redus
- Stabilitate într-un interval larg de pH, temperatură și presiune
- Timp de stocare lung, la temperatura camerei
- Selectivitate și afinitate crescută pentru molecula țintă
- Performanță în solvenți organici, spre deosebire de aptameri și anticorpi
- Capacitate de a recunoaște molecule țintă de diferite dimensiuni, de la molecule mici (substanțe medicamentoase, aminoacizi, poluanți, hormoni steroizi sau ioni metalici) la molecule mari (peptide sau proteine)
- Posibilitatea de a sintetiza MIP pentru molecule toxice și substanțe imunosupresoare [Shen X10][Piletsky11][Haupt12]. MIP prezintă aplicabilitate largă în diverse domenii, precum cromatografia, electroforeza, cataliza, transportul la țintă al medicamentelor sau elaborarea de senzori chimici [Haupt12][Schirhagl13][Da Silva14][Wang15][Yu J16][Pradhan17].

Selectivitatea crescută a MIP a atras un interes deosebit în utilizarea acestora în fabricarea de senzori chimici. Un aspect esențial în fabricarea senzorilor bazați pe MIP este integrarea MIP în traductor. Una dintre modalitățile cele mai simple și directe pentru a realiza acest lucru este electropolimerizarea direct pe suprafața traductorului. Aceasta abordare prezintă o serie de avantajele precum: control asupra grosimii și densității filmului polimeric prin modificarea parametrilor experimentali, de exemplu a potențialului aplicat, depunere într-un loc precis la suprafața traductorului și posibilitatea de a obține un film omogen la suprafața unui electrod cu geometrie complexă [Hock18].

Performanța senzorilor bazați pe MIP poate fi îmbunătățită prin introducerea diferitelor materiale nanostructurate care posedă proprietăți fizice și chimice unice, cu scopul de a oferi o mai bună accesibilitate a analitului la situsurile de recunoaștere, precum și o rezistență mai scăzută la transferul de masă. Nanoparticulele de oxid metalic, grafenele, nanotuburile de carbon și alte nanomateriale oferă o serie de avantaje în fabricarea de senzori, cum ar fi sensibilitate sporită, limita de detecție superioară, raport ridicat semnal-zgomot, timp de analiză mai scurt și posibilitate de automatizare și miniaturizare.

Rezultate preliminare obținute folosind MIP-ul a constat în stabilirea protocolului optimizat pentru detectia de antibiotice. Protocolul de lucru pentru fabricarea senzorilor electrochimici, pe baza de filme polimerice imprimate este în acest moment este aplicat pentru detecția selectivă a claritromicinei și cefalexinei. Polimerul este electrodepus în *situ* pe suprafața electrodului de lucru (electrod de carbon vitros, electrod de diamant dopat cu bor), urmând să joace rol de interfață de recunoaștere moleculară, fiind capabili să recunoască în mod selectiv și să preconcentreze antibioticul

de interes din proba de analizat (soluții apoase). Electropolimerizarea MIP-ului are loc simultan cu procesul de imprimare moleculară și se realizează prin voltametrie ciclică, tehnică ce permite integrarea eficientă și intimă a polimerului cu traductorul. Mai mult, grosimea și morfologia filmului polimeric poate fi astfel controlată în mod facil prin modificarea parametrilor electrochimici (numărul de cicluri, viteza de baleiaj) în timpul electrodepunerii. Protocolul de lucru este simplu, rapid, necesitând volume mici ale amestecului de polimerizare, ce conține dizolvate toate componentele necesare: molecula-șablon (antibioticul-țintă), monomerul funcțional și cel de reticulare și electrolitul.

Evaluarea protocolului de functionalizare chimica a nanoSenzorului plasmonic

Recunoașterea moleculară este în general definită ca fiind capacitatea unei moleculă (gazdă) de a "recunoaște" o alta molecula (oaspete), care prezintă complementaritate, în special prin interacțiuni chimice și geometrice moleculare (figura 2.40). Efectele recunoașterii moleculare, care constau în interacțiunea specifică dintre moleculele gazda și ținta (cum ar fi hibridizarea ADN, interacțiunile specifice între biotină și avidină sau între proteină A/G și anticorpul), prin legături covalente (punți disulfurice între lanțurile laterale ale cisteinei) și non-covalente cum ar fi: legături de hidrogen, legături coordonative în cazul metalelor, forțele hidrofobe, van der Waals, interacțiunilor π - π , bazate pe efectele electrostatice și electromagnetice, pot fi exploatate în chimia analitică și în electrochimie, atâta timp cât interacțiunea specifică produce o schimbare detectabilă ce poate fi măsurată cu ajutorul unui instrument.

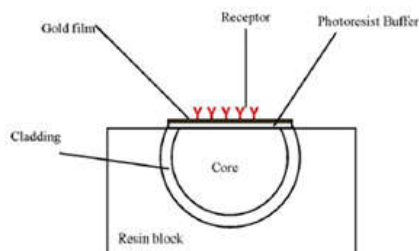


Figura 2.40. Funcționalizarea suprafeței senzului SPR

Bioelementele utilizate în mod curent în dezvoltarea biosenzorilor se clasifică în elemente naturale (anticorpi, enzime, DNA sau miRNA), elemente sintetice (aptameri) și elemente biomimetice (polimeri moleculari imprimați). În abordarea inițială a obiectivelor acestui proiect ne-am focusat pe elementele biomimetice de tip MIP datorită robusteții lor (metode de sinteză și imobilizare la suprafață simple, ieftine și reproductibile, stabilitate chimică și termică superioară) și a selectivității ajustabile față de molecula țintă.

Alte bioelemente ce asigură recunoașterea moleculară în medii complexe sunt anticorpii și aptamerii. În continuare vor fi prezentate în paralel cele două tipuri de bioelemente.

Anticorpi

Anticorpii sunt glicoproteine produse de celulele specializate B în limfocitele gazdei ca și răspuns al sistemului imun la prezența unor specii străine, numite antigene. Se mai numesc și imunoglobuline. Există cinci clase de imunoglobuline (IgG, IgA, IgM, IgD, IgE), IgG fiind cea mai răspândită în natură și utilizată în mod curent în dezvoltarea imunotestelor și a imunosenzorilor [Yu J16].

Structura anticorpilor comparată cu cea a aptamerilor este prezentată în Figura 6. Imunoglobulinele IgG sunt molecule ce au forma de "Y" fiind constituite din două lanțuri ușoare identice (GM de aproximativ 25000 Da) și două lanțuri grele identice (GM de aproximativ 50000 Da), legate printr-o punte disulfidică și interacțiuni non covalente (legături de hidrogen). Atât lanțurile ușoare cât și cele

grele au domenii constante și variabile: un domeniu variabil pentru ambele lanțuri (ușor și greu) V_L și V_C , un domeniu constant pentru lanșurile usoare C_L , și trei pentru lanșurile grele, C_{H1} , C_{H2} , și C_{H3} . Domeniile variabile V_L și V_H , sunt cele mai importante pentru reacția anticorp – antigen, și diferă de la un anticorp la altul dând specificitate legăturii, depinzând de secvențele de aminoacizi. Aceste regiuni ce determină complementaritatea (CDRs) prezintă porțiuni curbe hipervariabile ce reprezintă de fapt locurile de legare ale antigenelor. Marea diversitate a acestor regiuni permite producerea anticorpilor cu așa de mare specificitate pentru o largă varietate de antigene [Yu J16][Pradhan17].



Figura 2.32. Structura anticorpilor și a aptamerilor

IgG pot fi divizați în fragmentul de legare a antigenului (antigen binding fragment Fab) și fragmentul ce nu permite legarea antigenului (non-antigen binding fragment Fc). Anticorpii (Ab) sunt bivalenți și pot lega doi antigeni, regiunea Fab posedând două situsuri de legare a antigenelor. Regiunea de legare pe antigen (Ag) pe se numeste „paratop” iar situsul complementar de la suprafața antigenului se numeste „epitop” complementaritatea lor bazându-se pe mărimea, forma și compatibilitate chimică [Tombelli20].

Interacțiunea anticorpilor cu antigenele corespunzătoare se bazează pe legături de hidrogen, legături ionice, interacțiuni hidrofobice și forțe van der Waals, dar un grad înalt de complementaritate este necesar între antigen și anticorp pentru că interacțiuni de tip non covalent să aibă loc. În unele cazuri, formarea legăturii între Ag și Ab este acompaniată de modificări conformaționale ale Ab, Ag sau ale amândurora, ceea ce duce la o potrivire perfectă dar care poate afecta afinitatea.

Anticorpii sunt produși în organisme vii, ceea ce crește prețul lor de producție. Sunt sensibili la schimbări de pH și de temperatură.

Aptameri

Aptamerii sunt catene de acizi nucleici care se pot lega selectiv de aminoacizi, oligozaharide, peptide sau proteine. De fapt, aptamerii sunt catene scurte de oligonucleotide ADN sau ARN care pot se lega specific de o serie de molecule țintă având o înaltă afinitate și specificitate pentru acestea [Tombelli20]. Aceștia pot lega selectiv molecule mici ca și coloranți organici, medicamente, nucleotide, aminoacizi sau macromolecule cum ar fi proteinele, polipeptidele și polizaharidele [Gopinath19], [Nezlin21][Smuc22]. Există aptameri care pot să se lege selectiv de receptori membranari, de epitopii de pe suprafața celulară, de celule întregi sau chiar de microorganisme ca și toxinele sau prionii [Smuc22][Ling23][Ellington24][Tuerk25]. Legarea aptamerilor de ținta lor poate fi făcută cu ajutorul legăturilor de hidrogen, a interacțiunilor hidrofobice sau electrostatice. Afinitatea lor este dată de abilitatea lor de a se plia într-un mod de legare specific luând forma moleculelor mici și stabilind legături de hidrogen sau integrându-se în structura macromoleculilor legându-se datorită complementarității date de interacțiunile non-covalente.

Aptamerii au constante de disociere de ordinul pico – micromolar dar cu specificitate și afinitate egală și chiar superioară anticorpilor monoclonali [Ling23]. Astfel pot să substituie cu succes anticorpii în dezvoltarea imunotestelor și a imunosenzorilor fiind capabili să discrimineze de exemplu proteine cu

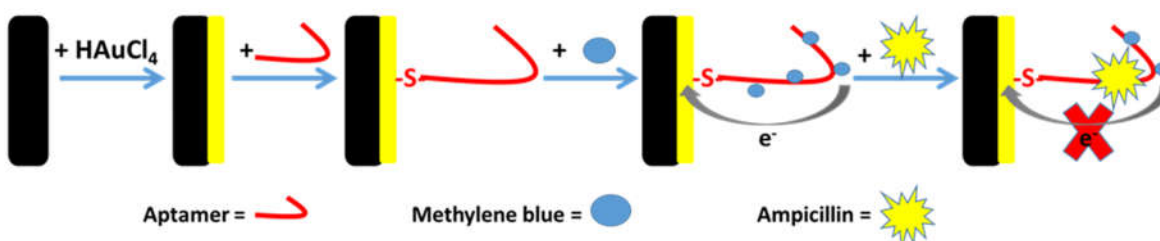
structuri foarte asemănătoare. Au de asemenea avantajul ca sunt sintetizați chimic, *in vitro* cu ajutorul procedurii SELEX [Smuc22] dovedind o stabilitate mult mai bună la variații de pH și de temperatură decât anticorpii.

Monitorizare în vederea optimizării, a parametrilor funcionali ai nanoSenzorului

Elaborarea unui aptasenzor pentru detectia ampicilinei din ape reziduale

Scopul acestui studiu a fost de a dezvolta un biosenzor electrochimic, folosind un aptamer specific ampicilinei, care conține o grupare tiol

(ss-ADN 5'-CACGGCATGGTGGGCGTTCGTGTTTTTTTTTTTTTTTTTTT-3' - (CH₂)₆-SH) să fie imobilizat pe suprafețe de aur printr-un strat de auto-asamblare. Datorită proprietății sale de a intercalata în lanțul de aptameri, pentru detecția electrochimică, albastrul de metilen a fost utilizat ca etichetă electrochimică [SIITMEGalatus20172][PhotonicsGalatus57]. Schema acestui aptasenzor este prezentată în figura 2.33.



Schema 2.33. Structura aptasenzorului pentru ampicilina

Dezvoltarea aptasenzorului electrochimic a implicat mai multe etape: în primul rând, electrodul imprimat pe baza de grafit (C-SPE) cu un electrod de lucru pe bază de carbon și o pseudo-referință de argint (din Dropsens, Spania) a fost modificat cu nanoparticule de aur prin aplicarea a 60 μ l de soluție de 0,6 mM H₂AuCl₄ preparată în 0,5 M H₂SO₄ și efectuarea a zece cicluri de voltametrie ciclică, baleind potențialului între -0,2 și 1,2 V, utilizând un potențiotat AUTOLAB PGSTAT 302N (Ecochemie, Olanda) dotat cu NOVA 1.10 asociat software. Reducerea electrochimică a H₂AuCl₄ conduce la formarea unui strat omogen de nanoparticule de aur la nivelul electrodului de lucru, care îmbunătățește proprietățile sale electrochimice și permite o modalitate simplă de imobilizare a aptamerului selectiv cu ampicilina care conține o grupare tiol; astfel, al doilea pas a constat în incubarea timp de 30 de minute a electrodului cu o soluție de aptamer de 20 μ M care conduce la o atașare puternică a aptamerului la suprafață prin legături covalente Au-S, cu formarea unui monostrat autoasamblat. Soluția de aptamer utilizată pentru imobilizare a fost preparată într-un tampon cu tărie ionică ridicată, constând din 10 mM tris (hidroximetil) aminometan, 100 mM KCl, 100 mM NaCl și 5 mM MgCl₂ și înainte de imobilizarea sa, soluția de aptamer a fost încălzită la 93 °C timp de 3 minute pentru a desfășura aptamerul, forma sa activă. A treia etapă a implicat etichetarea aptamerului ampicilina imobilizat pe electrod cu albastrul de metilen, o etichetă redox activă. Aceasta s-a realizat prin aplicarea pe electrodul de lucru modificat cu aptamer a 10 μ l dintr-o soluție 0,1 mM de albastru de metilen și incubarea timp de 15 minute.

Analizele DPV au fost utilizate pentru înregistrarea picurilor de reducere a albastrului de metilen, înainte și după capturarea ampicilinei. Analizele DPV în PBS au fost efectuate în intervalul potențial de la 0 V până la -0,45 V, cu înălțimea impulsului de 100 mV, lățimea impulsului de 25 ms și rata de scanare de 10 mV s⁻¹. DPV la electrodul modificat numai cu AuNPs și aptamerul nu a prezentat niciun pic de reducere, dovedind că nici o altă specie nu este redusă în această fereastră potențială. DPV la

electrodul modificat cu AuNPs, aptamer și marcat cu albastru de metilen a arătat un pic de reducere mare, dovedind că albastrul de metilen a fost legat la aptamer la suprafață electrodului. Albastrul de metilen, ca și alte etichete electrochimice, necesită o apropiere de suprafață electrodului pentru a produce semnalul electrochimic. În absența ampicilinei, analitul țintă, conformația aptamerului permite apropierea între albastrul de metilen și electrod, deci răspunsul voltametric mare. Totuși, după legarea ampicilinei, aptamerul adoptă o altă conformație, distanțând albastrul de metilen și împiedicând transferul de electroni între albastrul de metilen și electrod, cu o scădere a vârfului de reducere.

Depunerea electrochimică a filmului de MIP

Componența amestecului de polimerizare a fost aleasă în funcție de natura moleculei șablon, respectiv în funcție de strategia de imprimare moleculară aleasă. Astfel, s-a testat eficiența imprimării moleculare necovalente pentru cefalexină în mediu apos (Figura 2.34), folosind monomeri funcționali și de reticulare indolici (ex. acidul indol 3-acetic), respectiv oportunitatea imprimării covalente a claritromicinei în mediu neapos (acetonitril, metanol) (Figurile 2.35-2.36) folosind ca monomeri funcționali acizi boronici (ex. acid 3-tienil-boronic). Electrodepunerea polimerilor la suprafața electrozilor a avut loc printr-un proces potențiodinamic folosind electroliți potriviți mediului de lucru ales. Baleiajul de potential (100 mV/s), numărul de cicluri, natura electrolitului, respectiv al sistemului tampon au fost optimizate în cazul fiecărui polimer în parte.

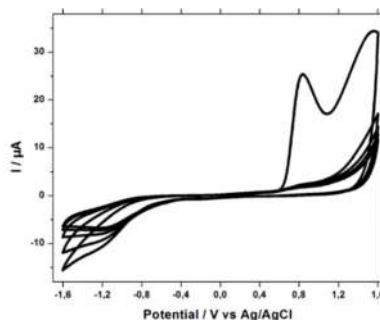


Figura 2.34. Electropolimerizarea filmului de MIP pentru cefalexină în tampon fosfat 0.1M pH=7
Interval: -1.6 - +1.6 V vs. Ag/AgCl, 100 mV/s, 5 cicluri

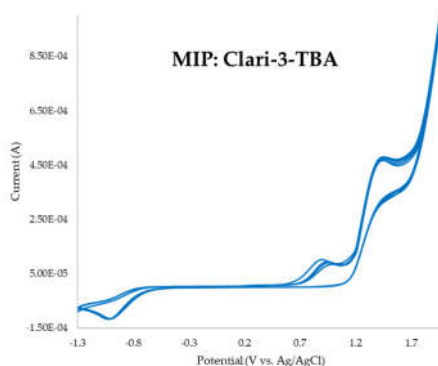


Figura 2.35. Electropolimerizarea filmului de MIP pentru claritromicină în ACN
Interval: -1.3 - +1.7 V vs. Ag/AgCl, 100 mV/s, 5 cicluri

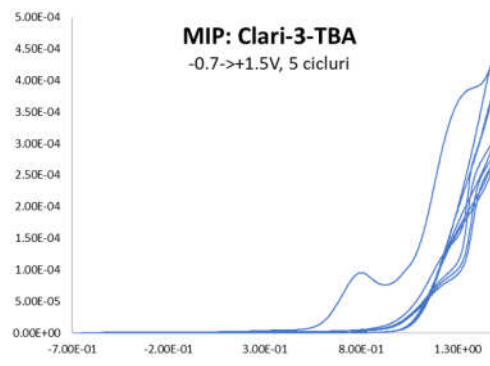


Figura 2.36. Electropolimerizarea filmului de MIP pentru claritromicină în MeOH
Interval: -0.7 - +1.5 V vs. Ag/AgCl, 100 mV/s, 5 cicluri

În urma obținerii filmului polimeric, molecula șablon a fost eliminată prin difuzie în mediu convectiv folosind diverse sisteme de solvenți și componente tampon optimizate în funcție de principiul imprimării moleculare testate.

Principiul de detecție electrochimică al moleculelor model

Datorită potențialelor de oxido-reducere extreme ale macrolidelor și penicinelor pe electrozi solizi convenționali [Tuerk25] s-a decis utilizarea unei sonde redox (sistemul hexacianoferat (II) și (III) de potasiu, respectiv ferocen dimetanol (FcDM)) în vederea monitorizării gradului de preconcentrare al moleculelor țintă. S-au realizat studii comparative pe electrozi nemodificați, respectiv modificați cu polimeri imprimați (MIP) și neimprimați (NIP) molecular (Figurile 2.37-2.39).

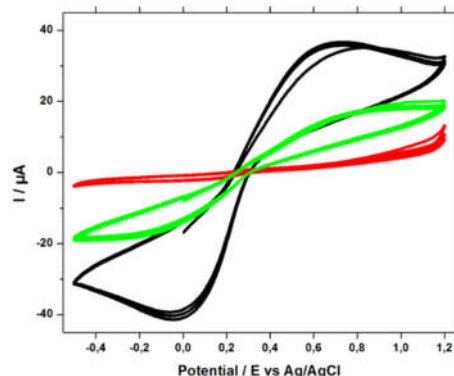


Figura 2.37. Voltamogramele ciclice (100 mV/s) ale 5mM hexacianoferat(II/III) de potasiu pe electrodul modificat cu MIP pentru cefalexină după îndepărtarea moleculei-șablon (negru), după expunerea senzorului în apă (blank, 30 minute, verde) și după preconcentrare în 10 μ M cefalexină în apă (roșu)

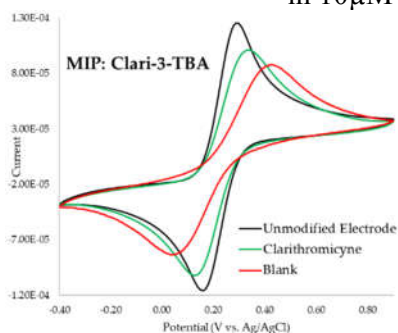


Figura 2.38. Voltamogramele ciclice (100 mV/s) ale 5mM hexacianoferat(II/III) de potasiu pe electrodul nemodificat (negru) și după preconcentrare (10 minute) în soluții de claritromicină (verde), blank (ACN, roșu) în ACN pe electrodul modificat cu MIP

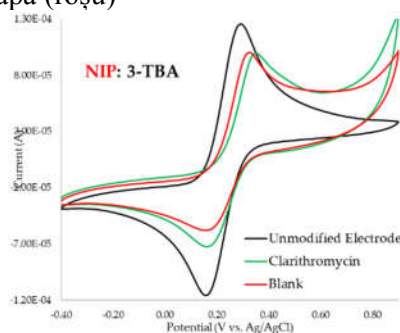


Figura 2.39. Voltamogramele ciclice (100 mV/s) ale 5mM hexacianoferat(II/III) de potasiu pe electrodul nemodificat (negru) și după preconcentrare (10 minute) în soluții de claritromicină (verde), blank (ACN, roșu) în ACN pe electrodul modificat cu NIP

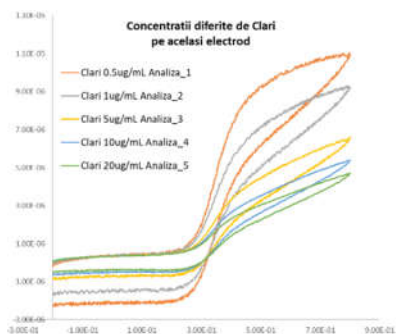


Figura 2.40. Voltamogramele ciclice (100 mV/s) ale 5mM FcDM după preconcentrare (10 minute) în soluții de concentrații crescânde de claritromicină în tampon fosfat 0,1M (pH=7)

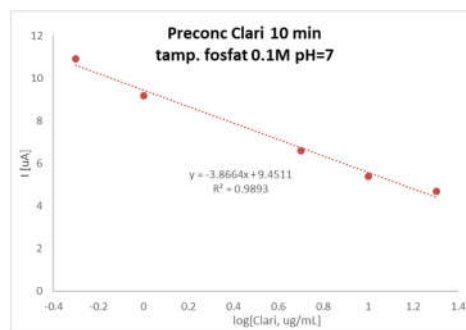


Figura 2.41. Regresie liniarizată al curentului de oxidare pentru 5mM FcDM în funcție de concentrația de claritromicină (0,5 – 20 µg/mL) Preconcentrare 10 minute în tampon fosfat 0,1M (pH=7)

S-au urmărit corelațiile între curenții de oxidare ai sondelor redox și concentrația moleculelor țintă din soluțiile de testare după diverși timpi de preconcentrare (0-30 minute). Astfel, în Figura 2.41 se prezintă regresia liniarizată obținută în cazul claritromicinei obținută după 10 minute de preconcentrare sub agitare blândă în concentrații crescânde de claritromicină (0,5 – 20 µg/mL) în tampon fosfat 0,1M (pH=7). Performanțele analitice ale senzorilor obținuți vor fi îmbunătățite suplimentar, urmând să se realizeze în paralel și un studiu de selectivitate extins.

Aplicatia Client-server de management a datelor de la senzori

Aplicația face posibilă stocarea datelor primite de la senzori și prezentarea acestora sub formă de tabele/grafice prin intermediul interfeței utilizator. Pentru implementare s-a ales următoarea arhitectura hardware optimală, bazată pe spectrometrul ultra-compact integrat în sistemul biosenzor, de la OceanOptics (<https://oceanoptics.com/>), conectat la o tableta Android trei componente:

a. Componenta centrală - aplicația de management a datelor

Constă într-o aplicație Java realizată cu ajutorul framework-ului Spring Boot (<https://spring.io>). Are rolul de a stoca datele primite și permite accesarea lor prin intermediul unui API. Datele sunt stocate într-o bază de date relațională MySQL, fiecare senzor având corespondentă o tabelă din această bază de date.

Comunicarea cu baza de date este realizată cu ajutorul Spring Data, prin intermediul unor „Repositories”. API-ul ce permite accesul la date este un Rest Controller și poate fi vizualizat cu ajutorul Swagger (proiect open-source pentru design interfețe API în browser).

b. Componenta de interfață utilizator - aplicație care accesează datele și le afișează

Aceasta reprezintă un site web ce permite vizualizarea datelor. Acesta are un „design responsive” (RWD) pentru a putea fi afișat corect atât pe un ecran de calculator cât și pe un telefon mobil.

Pentru realizarea sa se va folosi HTML, CSS și JavaScript, dar și framework-ul React (biblioteca JavaScript pentru design interfețe) pentru a putea realiza grafice și a accesa ușor datele de la backend.

c. Componentele adaptoare pentru senzori

Au rolul de a citi datele de la senzori și de a le trimite componentei centrale pentru stocare, lucru care este realizat prin intermediul unui sistem de cozi. Este tot o aplicație java realizată cu ajutorul Spring Boot care pune mesajele pe o coadă de așteptare. Pentru transmiterea datelor către componenta centrală se folosește RabbitMQ. Această comunicare este una asincronă, datele putând fi procesate de componenta centrală chiar și dacă nu este pornită în momentul transmiterii datelor, lucru care asigură faptul că datele nu sunt pierdute în cazul unei probleme a componentei centrale.

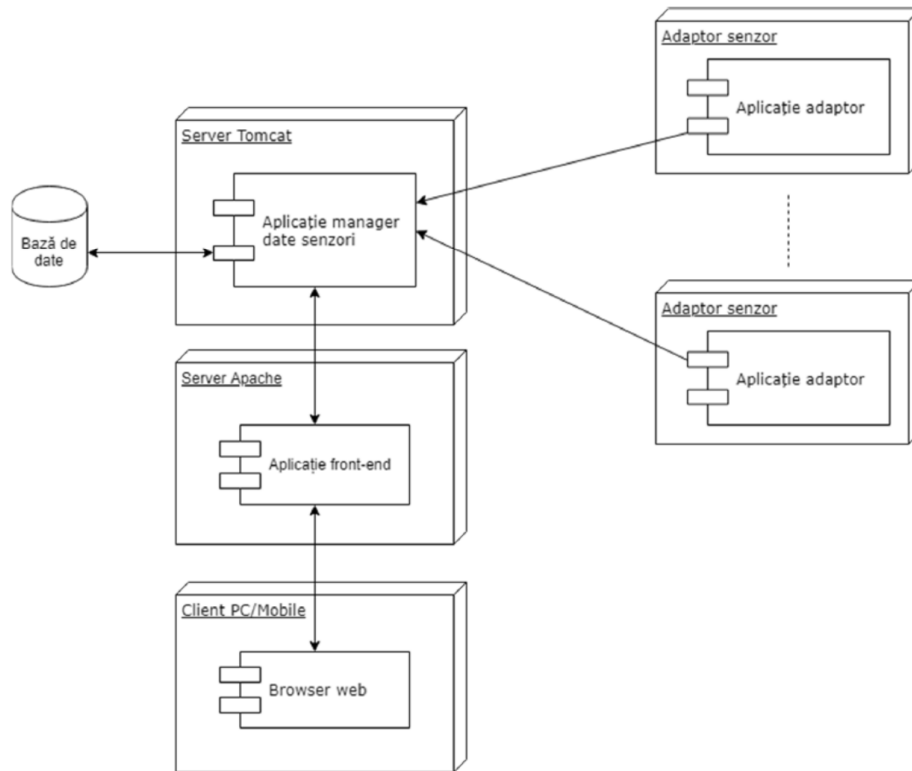


Figura 2.42. Arhitectură conceptuală - aplicație de management a datelor de senzori

Funcționalizare cu nanoparticule magnetice

Biosenzorii optici prezintă performanțe bune folosind structuri bazate pe siraguri de nanoparticule magnetice (magnetic nanoparticles- MNP) pe baza de Au, Ag, QD (quantum dot-uri) și molecule fluorescente având proprietăți LSPR (localized SPR), SERS (Raman scattering) și de fluorescență foarte bună [PhotonicGalatus55][PhotonicGalatus80]. Aceste nanoparticule magnetice contribuie la îmbunătățirea proprietăților de suprafață ale câmpului electromagnetic (SERS) și la îmbunătățirea sensibilității de detecție spectrală (SPR). Clasificarea acestor senzori este dată în diagrama din figura 2.43.

In concluzie, tehnicile optice, SPR oferă o sensibilitate bună la un preț accesibil. Repetabilitatea măsurătorilor și detecția rapidă a analitelor, o face să fie utilă în multe aplicații biomedicale unde este necesar ca volumul probelor să fie mic. Instrumentația folosită este simplă, ceea ce facilitează dezvoltarea unor dispozitive portabile, sensibile și selective. De asemenea, se pot utiliza tehnici de multiplexare a semnalelor și detecția simultană a mai multor analiti în configurații multicanelor (multichannel array sensors). Pentru sistemele low-cost, folosirea fibrelor optice și mai ales a fibrelor

optice de plastic reprezintă un avantaj datorită flexibilitatii și ușurintei de utilizare, a aperturii numerice mari, a diametrului mare pentru cuplajul instrumentatiei și a razei mici de indoire în comparative cu fibrele de sticla. Se pastreaza de asemenea compatibilitatea cu sistemele de comunicare moderne. Fabricarea senzorilor pe baza de fibra optica de plastic este mai usoara. Obținerea suprafeței optice prin polizare laterala este un procedeu care permite fabricarea suprafețelor plane necesare pentru atasarea dispozitivelor microfluidice care ghideaza analitul de analizat, pe suprafață stratului de aur.

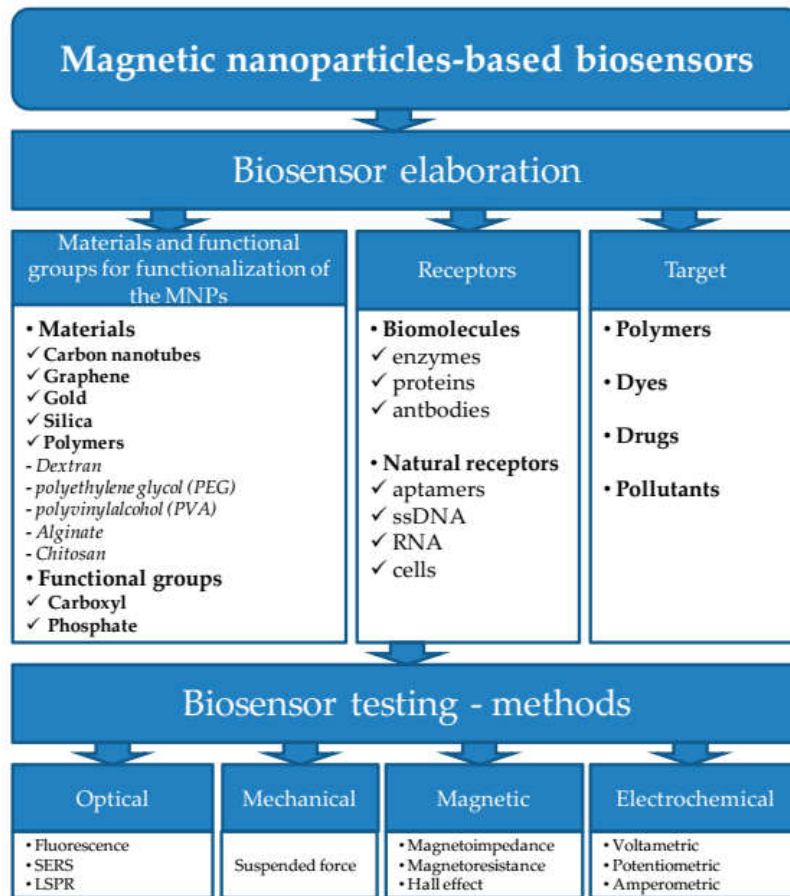


Figura 2.43. Sinteza metodelor de elaborare și testare a biosenzorilor cu nanoparticule magnetice

2.1.3. Fibre optice speciale ca senzori

Fibrele optice beneficiaza de o atentie deosebita la ora actuala, deoarece se constituie ca mediile de transmisie cu cele mai mici pierderi (sub 0.2dB/km), în rețelele de comunicații moderne WDM – wavelength division and multiplexing, de tip long-haul. În acest context obisnuim sa ne gandim la fibrele optice standard care ghideaza semnalul optic [thorlabs28]: monomod (SM), multimod (MM), de sticla (silica) cu profile de indice treapta și miez solid sau profile de indice gradat sau W, compensatoare de dispersie. Pe langa fibrele optice standard, în rețelele de comunicații se utilizeaza fibrele dopate, în special EDFA (fibre optice dopate cu erbium) ca amplificatoare ale semnalului optic transmis în fereastra de comunicatie în jurul lungimii de undă de transmisie la 1550nm. Pe langa aceste fibre standard, la ora actuala exista și fibre LEAF [corning29] (cu mentinerea polarizarii și compensarea dispersiei) și fibre optice care induc o curba plata a atenuarii (aceeasi atenuare la lungimi de undă diferite, într-un interval dat) [RpPhotonics30]. Acestea au venit în intampinarea nevoilor de a elimina unele fenomene nedorite, care pot sa apara la transmisia semnalului optic – un exemplu fiind fenomenele neliniare (legate de susceptibilitatea campului magnetic, $\chi^{(2)}$ și $\chi^{(3)}$ – [Agrawal31]) dintre care amintim efectul Kerr, Birllouin, Raman, FWM (four-wave mixing), SPM (self-phase modulation), CPM (cross-phase modulation) . Aceste fibre non-standard sunt incluse în categoria care poarta numele generic de „fibre optice speciale” (ex. cristale fotonice/photonic crystal, dublu invelis/double clad și dopate cu pământuri rare/rare-earth doped).

Pe langa domeniul telecomunicațiilor, au aparut aplicatii comerciale și în alte domenii cum ar fi în industria senzorilor, sisteme bio-medicale cu laseri, senzori de tip giroscopae militare, senzorii de presiune la scurgere prin conducte pipeline, lasere de putere care pot tăia și suda oțel, precum și iluminatul și controlul automobilelor - pentru a numi doar câteva aplicatii. "Fibre speciale" au proprietăți materiale și structurale modificate pentru a face fata noilor caracteristici aplicative [Mendez32]. O clasificare selectiva a acestor tipuri de fibre sunt: Fluoride Fiber, Tellurite Fiber, Bismuth-Doped Fiber, Polarizing Fiber, Photonic Crystal Fiber—Holey Fibers, Dispersion-Compensating Fiber, High-Index Fiber, Polarization-Maintaining Fiber, Photosensitive Fiber (ex. fluorescent fibers), Erbium-Doped Fiber (EDFA), dar nu numai.

În cursul experimentelor realizate la laborator, m-am orientat spre fibre optice PCF (photonic crystal fiber) de tip LMA (large mode are fibers) cu provenienta XLIM, unde avem acord erasmus în desfasurare și fibre optice fluorescente cu provenienta Industrial Fiber Optics sau Bialstock University, Poland, unde avem acord erasmus în desfasurare.

Fibrele optice microstructurate sau PCF (photonic crystal fiber), spre deosebire de fibrele convenționale, își obțin proprietățile datorită microstructurilor (umplute cu aer sau alt material), ce sunt plasate în jurul miezului. Dacă în fibrele convenționale, ghidarea luminii se face prin modelarea profilului de indice de refracție, în cazul PCFurilor transmiterea luminii de-a lungul ghidului optic se face prin manipularea microstructurilor. Diametrul microstructurilor, precum și distanță dintre centrele a două microstructuri succesive influențează modul de propagare al luminii. Aceste structuri pot fi aranjate fie într-o formă periodică, fie într-una aperiodică. Astfel putem afirma că există două tipuri de PCF: fibra numită “photonic bandgap fiber” și ”high – index guided fiber”. Prima categorie ghidează lumina într-un interval îngust cu o lățime de 100 – 200 nm. Învelișul format din microstructuri înconjoară porțiunea cu indice de refracție mic (miezul gol). Semnalul optic se propagă de-a lungul acestui miez datorită fenomenului denumit “photonic bandgap phenomenon”. A două categorie reprezintă cele mai utilizate tipuri de fibra fonică, și anume cele cu miez solid și cu un indice de refracție mare. Deși există o flexibilitate mare în ceea ce privește designul acestor fibre, dezavantajul

major îl reprezintă atenuarea (mai mare decât în fibrele standard). Astfel, avem de-a face cu pierderi și neliniarități, prezente în ambele tipuri de fibră, dar care pot fi diminuate prin îmbunătățirea procesului de fabricație. Prin urmare se poate obține o fibră ce permite doar propagarea modului fundamental de tip LMA.

În funcție de tipul de dopant introdus în miez, fibrele optice pot fi active sau pasive. De asemenea acești dopanți influențează și profilul de indice al fibrei, pământurile rare producând cea mai mare creștere a valorii indicelui de refracție cu influența asupra amplificării semnalului optic ghidat. Fibrele pasive sunt folosite pentru senzori optici sau iluminare, pe când cele active sunt folosite cu precădere în surse cu emisie spontană amplificată (ASE) sau ca și amplificatori optici. Cel mai folosit material pentru fabricarea fibrelor optice este silica, în care se înregistrează cea mai mare creștere a profilului de indice când este dopată cu pământuri rare. Fibra de silica dopată cu *ytterbium* duce la obținerea celor mai mari puteri obținute la ieșirea unei fibre laser utilă în procese industriale, pe când *erbiumul* este folosit pentru realizarea amplificatoarelor optice din sistemele de comunicații (EDFA). Indexul miezului crește semnificativ față de înveliș, când se folosesc concentrații mari de dopanți. Totuși, în acest caz proprietățile de ghidare se modifică. Pentru aceste fibre laser, compoziția chimică a sticlei influențează performanța ghidului optic, precum și banda de absorbție și emisie și concentrația maximă de dopanți ce poate fi încorporată fără a se produce fenomenul de grupare, “clustering”. Alături de dopanți activi, se pot adăuga și co-dopanți care influențează rata de energie transferată sau îmbunătățesc solubilitatea elementelor rare (de ex aluminiul). Dintr-o perspectivă vastă de aranjare a micro-structurilor din interiorul fibrei, există un control mai mare asupra indicelui de refracție. Cel mai utilizat material în ceea ce privește fabricarea preformeii acestor fibre este SiO₂. Fibrele active folosite pentru lasere și amplificatoare sunt obținute prin doparea miezului cu pământuri rare, precum Ytterbium (Yb³⁺), Erbium (Er³⁺), Neodymium (Nd³⁺) sau Thulium (Tm³⁺). Aceste elemente cresc indicele de refracție al indicelui de profil al miezului și amplifică semnalul de intrare. Pentru aceste amplificatoare și fibre de înaltă putere, învelișul dublu (double cladding) este des întâlnit. Asemenea structuri ale PCF-urilor pot să ghideze un singur mod (modul fundamental) sau câteva moduri, astfel se obține o calitate excelentă a fasciculului de ieșire, iar supraîncălzirea stratului de protecție (de obicei se folosește polimer) este evitată. Modulurile superioare se vor pierde în dublu învelișul din jurul miezului. În funcție de aranjamentul micro-structurilor umplute cu aer sau SiO₂, proprietățile acestei fibre PCF se schimbă. De exemplu, așa numita “photonic bandgap fiber” (PBG) poate fi obținută prin aranjarea acestor micro-structuri în așa fel încât să se formeze un miez gol (hollow core). Lumina se va propaga de-a lungul acestei regiuni centrale, astfel că profilul indicelui de refracție nu mai constituie un factor ce influențează ghidarea semnalului luminos. La capătul opus se situează fibrele PCF cu un miez solid, unde ghidarea luminii de-a lungul ghidului de undă depinde de indicele de refracție (propagarea se face prin reflecție totală internă).

În aplicațiile cu senzori se exploatează în special fenomenele de bending (macro și micro) ale fibrei optice, care prezintă avantajul ca se constituie ca mediu de sensing distribuit [Jay33][Ademgila34]. În aplicațiile de laborator am utilizat fibrele PCF de tip LMA, codopate pentru a studia fenomenul de macro-bending.

Fibre active ca senzori de indoire (bending)

S-a proiectat un sensor de bending cu sensibilitate ridicată, folosind profiluri de indice în W pentru fibre optice codopate Yt-Er comerciale. Aceste fibre au fost testate experimental (ansamblul experimental de lucru este prezentat în figura 2.44).

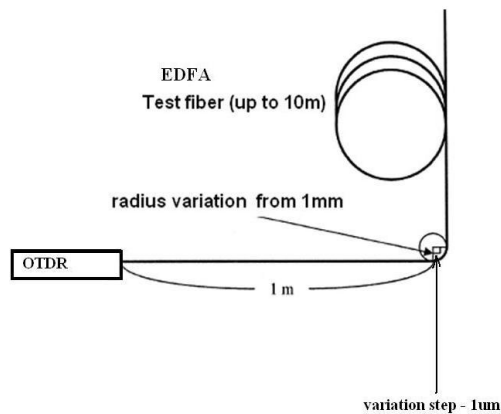


Fig 2.44 Setup experimental pentru testarea rezultatelor pentru traductorul de pozitie EDFA corespunde unei scheme de pompaj ca cea din desenul urmator (figura 2.45):

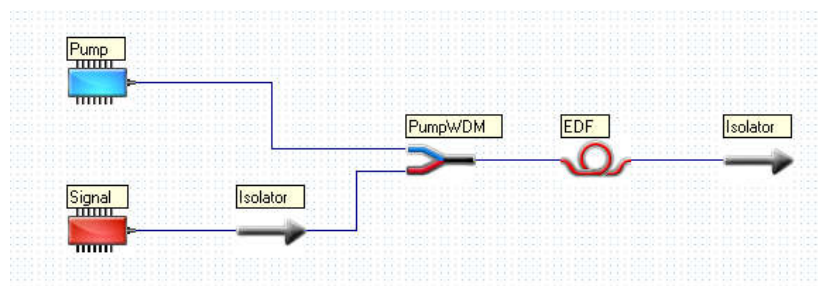


Fig 2.45 Schema de pompaj codirecțional al amplificatorului dopat cu Er

Profilul de indice în W pentru LMA (Large Mode Area Fiber) este cel din figura 2.46:

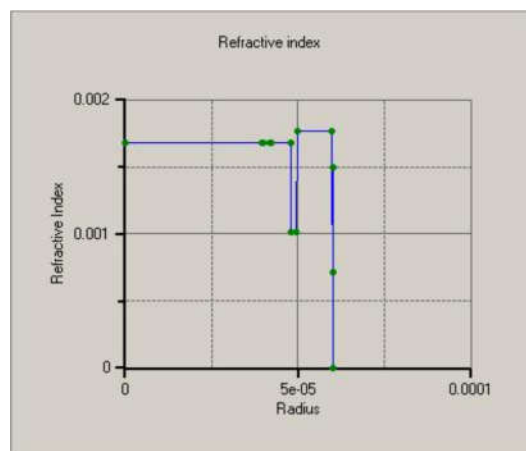
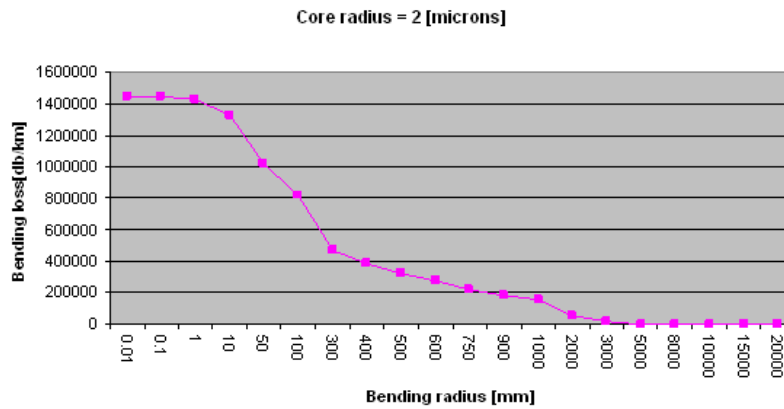


Fig 2.46. Profil de indice al variației indicelui de refracție, Δ

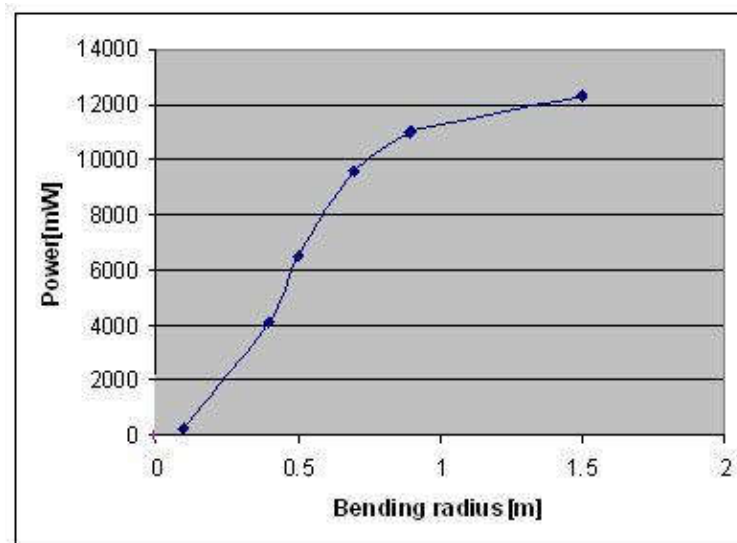
Pe langa acest profil de indice, au fost studiate și alte comportamente ale unor tipuri de fibre cu indice custom profile, acesta asigurand rezultatele cele mai bune la efectul de indoire, în ce priveste

rezolutia obținuta. Rezultatele au fost verificate prin simulări realizate în Optiwave și Liekki LAD 4.0 și coincid într-o proporție de 90%. Rezultatele au fost incluse în două articole:

1. Fiber Optic Sensor, for Bending Measurement, Buletin Tomul, Iasi, 2011, revista categoria B+
2. Distributed Active Optical Fiber Sensor, for Bending Measurement, Conferinta KES 2011 – proceeding indexat BDI, editat de Springer Verlag



(a)



(b)

Fig 2.47. Graficele reprezintă rezultatele comparative **a.** obținute prin simulare, pentru un profil de indice treapta pasiv **b.** obținute prin simulare pentru un profil double clad, fibra LMA, pasiva și **b.** rezultatele pentru puterea măsurata la iesirea EDFA, double-clad, supuse fenomenului de indoire



Fig 2.48. Echipamentul de lucru, din ansamblul experimental (analizor de putere și OTDR – optical time domain reflectometer) pentru calibrarea senzorului



Figura 2.49. Setup masurare – OTDR, PowerMetru, Con de indoire fibra cu raza variabila, fibra de lansare, micrometru digital (pentru raza de indoire)



Figura 2.50. Rezultatele de proiectare a senzorului distribuit de indoire au fost disseminate în cadrul proiectului 4D-PostDOC, desfasurat în UTCN.

Aplicatii cu fibre fluorescente (scintillating fiber)

O fibră optică fluorescentă este o fibră specială (scintillating fiber) care emite lumină ca răspuns la un fenomen de incident, de ex. fibre sensibile la oxigen molecular (AT & T Bell în 1989), particule de mare energie, UV sau lumină vizibilă, etc. [Egalon35][fiberoptics36][Scintillating37]. Moleculile coloranților organici pot fi în mod eficient excitate datorită benzii lor largi de absorbție. Fluorescența ca intensitate și durată depind puternic de condițiile de mediu (de ex. legături moleculare locale, aciditate, temperatură și dezactivarea stării excitatoare non-radiative în prezența unor inhibitori. Au fost dezvoltate o varietate largă de senzori bazati pe modulatia stării de excitare. Proprietățile de ghidare ale fibrelor optice pot fi utilizate și pentru transferul modulației semnalului, ca forma spectrală și ca intensitate. Activitatea de cercetare pe care am desfasurat-o s-au luat în considerare proprietățile de modulare a semnalului de răspuns al fibrelor fluorescente la cuplarea laterală a luminii din spectrul vizibil sau UV. Una dintre principalele avantaje ale fibrelor optice fluorescente este flexibilitatea sporită de modulație a semnalului optic, datorită cuplajului lateral al luminii incidente de la o sursă ieftină (de ex LED sau LASER), față de iluminarea axială tradițională [Egalon38] care necesită optică de cuplare complicată și costisitoare.

Fibrele fluorescente reprezintă un mediu atractiv pentru dezvoltarea de senzori optici. Într-adevăr, sensibilitatea față de un fenomen optic incident face din fibra fluorescentă un element sensibil (senzor proximitate [PhotonicsGalatus77][PhotonicsGalatus78], senzor detectie arc electric [I2MTC20181], transmiterea semnalului optic [PhotonicsGalatus72]. Un exemplu larg întâlnit este senzorul de poziție propus de M. F. Laguesse în [Laguesse39], unde iluminarea laterală este utilizată pentru a induce fluorescența în fibră, iar poziția punctului de iluminare este determinată prin măsurarea puterii de iluminare la cele două capete de fibre. Aplicația concretă a acestui dispozitiv este potențiometrul optic. O abordare similară a fost raportată de către J. D. Weiss în [Weiss40] pentru punerea în aplicare a unui senzor de poziție destinat aplicațiilor industriale. Principiul potențiometrului optic cu fibre optice fluorescente a fost aplicat și de Aiestaran et al. în [Aiestaran41]. O altă aplicație a fibrelor fluorescente este detectorul de particule nucleare propus de A. D. Bross în [Bross42]. În această aplicație, radiațiile de scintilație produse în interiorul fibrei fluorescente se produc ca urmare a expunerii la particulele nucleare. Alte exemple de senzori optici cu fibre fluorescente sunt: detectarea particulelor pentru oxigenul molecular în [Lieberman43], detectarea Radiației UV în [Fitzpatrick44], detectarea fasciculului de raze X [Laguesse45], detectarea ionilor de clor [Egalon46] sau în detectarea speciilor chimice în [Prince47]. Fiecare dintre acești senzori utilizează sensibilitatea fluorescenței colorantului din materialul fibrei la particulele de interes.

Pentru monitorizarea mediului, C. O. Egalon sa dezvoltat un senzor de umiditate relativă în [Egalon38]. Unde intensitatea fluorescenței depinde de umiditatea din jur. O altă aplicație pentru monitorizarea mediului este senzorul de temperatură propus de Wu [Wu48], o soluție care oferă o rezoluție foarte bună și precizie ridicată pentru monitorizarea temperaturii.

O altă abordare pentru utilizarea fibrei fluorescente este ca sursa de lumină. Astfel grupul de cercetare din care a făcut parte și autoarea a utilizat fibrele polimerice de scintigrafie ca surse pentru sistemul cu senzori plasmonici POF [PhotonicsGalatus56]. S-a propus de asemenea un senzor de proximitate cu cost redus destinat opțiunii de securitate pentru sistemul SPR raportat anterior de către co-autori în [20]. Senzorul de proximitate propus (figura 2.52) presupune componente ieftine și este dezvoltat cu o fibră fluorescentă roșie [PhotonicsGalatus78] și respectiv albastră [SIITMEGalatus20171] și galben [PhotonicsGalatus72][PhotonicsGalatus77] de la Industrial Fiber Optics, o fotodiodă Avago SFH250 [Avago59] și componenta care asigură logica de procesare a semnalului. Funcționarea senzorilor propusi se bazează pe variația intensității la iluminarea incidentă, datorită prezenței sau absenței unui obstacol în vecinătatea elementului de detectie, care va influența în consecință fluorescența radială, respectiv o analiză spectrală. Intensitatea, va genera o variație a căderii de tensiune a fotodiodei, care este apoi monitorizată și analizată pentru a determina starea de proximitate, respective analiza

spectrului se realizează cu un spectrometru și o logică de analiză a spectrului de emisie. Ca principiu de funcționare, un colorant este ales ca dopant și este distribuit uniform în miezul fibrei optice care produce fluorescența. Lungimea de undă λ_1 a sursei este absorbită (considerate spectrul de excitație, în figura 2.51), producându-se spectrul de emisie al fibrei λ_2 , fenomen de “up-conversion” ($\lambda_1 < \lambda_2$).

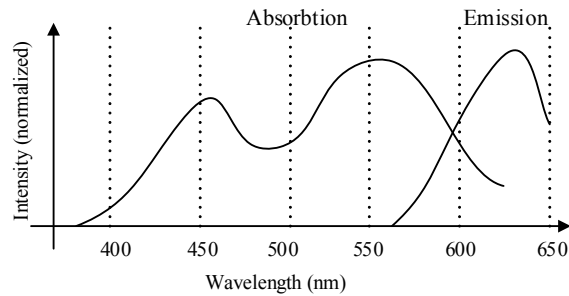
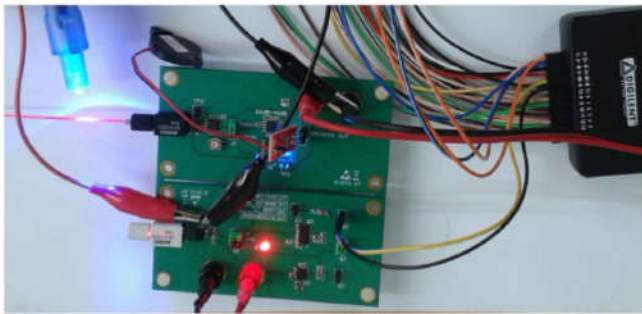
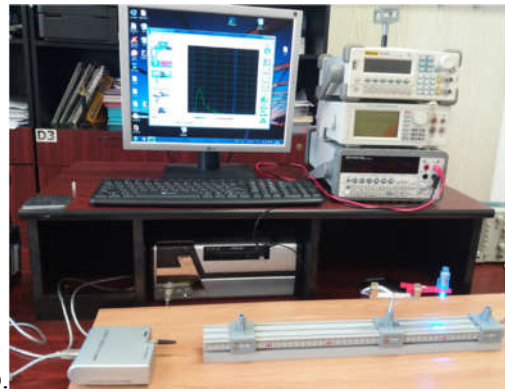


Figura 2.51 Spectrul de emisie și absorbție măsurat al unei fibre optice fluorescente



a.



b.

Figura 2.52. Setup experimental pentru senzorul de proximitate a. fotodioda b. spectrometru

În [PhotonicsGalatus79] s-a analizat posibilitatea de utilizare a două fibre speciale, una de emisie laterală și cea de recepție fiind fibra fluorescentă, pentru a implementa un senzor de îndoire (macro-bending) cu posibilă aplicație de implementare a unui senzor de îndoire a cotului unui robot (figura 2.53).

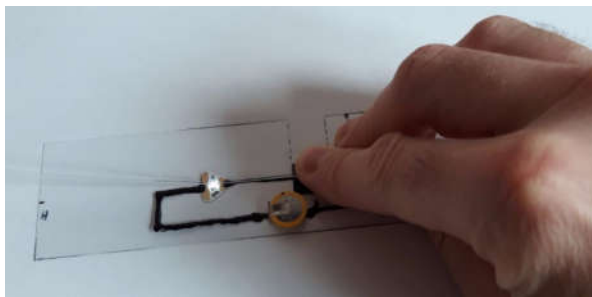


Figura 2.53. Implementare principală a senzorului de îndoire implementat cu fibra optică fluorescentă.

Concentratorul solar (Luminescent Solar Concentrators (LSC's)) reprezintă o soluție eficientă având un cost mic, care asigură conversia optimă a luminii incidente, în cazul celulelor fotovoltaice. Utilizând fibre optice fluorescente, crește considerabil eficiența și timpul de viață a celulelor solare. Aceste fibre pot fi organizate în mănunchi și pot să cupleze lateral lumina solară, atât cea directă cât și cea difuză,

fără a fi nevoie de un dispozitiv de urmărire a poziției soarelui (sun-tracking system). A fost realizată o implementare cu fibră optică galbenă, a unui concentrator, util în încărcarea bateriei unui sistem cu senzori, care prelungeste timpul de viață a celulei solare și timpul de utilizare a bateriei. [I2MTC20182].

Fibre optice cu rețele de difracție încorporat, ca senzori de temperatura [AstrGalatus2016]

Aceste tipuri de senzori au fost experimentati în cadrul proiectului „Managementul și evaluarea metodelor de hipertermie locală și regională folosind sisteme avansate de măsurare și control a temperaturii”, în cadrul caruia am fost responsabilă de proiect, partenerul coordonator fiind Universitatea de Medicina Țuliu Hatieganu”, Cluj-Napoca.

În prezent, hipertermia este inclusă în protocoale de tratament multimodal, care asociază chirurgiei, chimioterapia și/sau radioterapia, existând trei mari modalități: hipertermia locală, regională și a întregului corp. În funcție de aceste modalități de inducere a hipertermiei, indicațiile tratamentului, problemele tehnice, rezultatele așteptate și riscurile diferă semnificativ.

Am analizat următoarele soluții: 1: Folosirea POF simple [López61] sau cu rețele de difracție (FBG) pentru proiectare senzor cu modulație spectrală [Cusano62]; 2: Fibre optice și traductor de temperatură la capăt, având o rezoluție de 0.1°C până la 0.01°C [OpSensSolution63], care însă nu pot fi de unică folosință, datorită prețului ridicat al echipamentelor dedicate; 3: Senzori distribuiți pe fibră optică cu măsurarea împrăștiilor Rayleigh, folosind tehnica Optical Frequency Domain Reflectometer OFDR [Kreger 64][Song65]; 4: Senzor simplu, low-cost POF cu macro-îndoire [Moraleda66]; 5: Fibră optică cu material fotoluminescent, sensibil la temperatura[Krohn67]; 6: Senzori interferometrici cu cavități Fabry-Perot (FP) [Islam68].

Soluția propusă se bazează pe traductorul LPG (long period grating) (figura 2.54) pe o fibră optică. LPG-ul este produs prin metoda „electric arc discharges method” propusă prima dată de Narayan, metoda care asigură repetabilitate în procesul de fabricație [Palai69], a fost produsă la institutul XLIM, Franța.

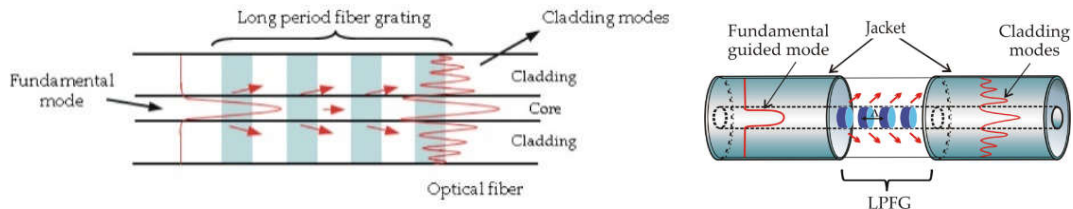


Figura 2.54. Forma distribuției periodice a LPG în fibra optică a. modurile de propagare b. pasul LPG

În figura 2.55 este descris bancul de lucru cu echipamentele utilizate în laborator pentru realizarea LPG-ului pe fibră optică: un calculator pentru comanda motorului pentru deplasarea fibrei în procesul de fabricație a senzorului (figura 2.56), adică a pasilor rețelei de difracție (Λ) de-a lungul zonei de sensing (L), splicer-ul pentru generarea arcului electric și modificarea indicelui de refracție periodică (Λ), fibră optică ce va fi utilizată ca senzor și monitorizarea semnalului optic ce se propaga pe fibra de sensing provenit de la o sursă broadband, pe un analizor spectral (OSA) conectat la calculatorul 2.

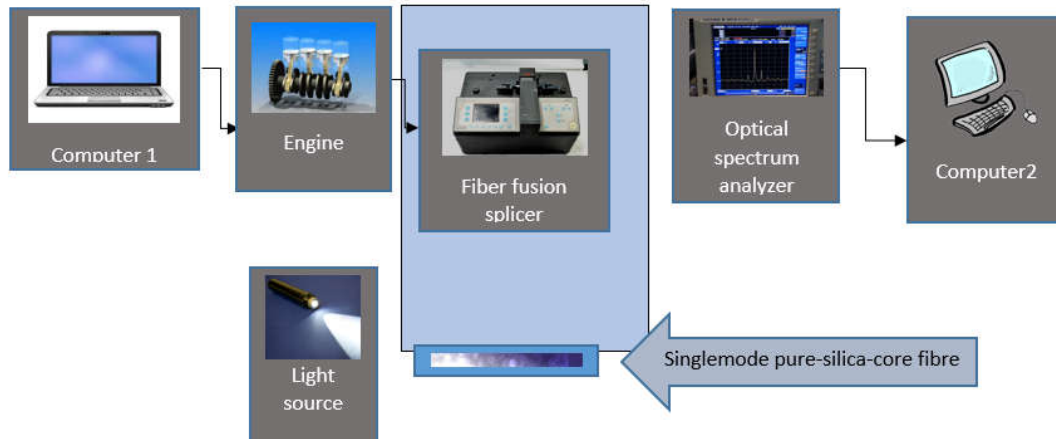


Figura 2.55. Setup de fabricare a senzorului (zonei de sensing cu LPG) printr-un proces low-cost

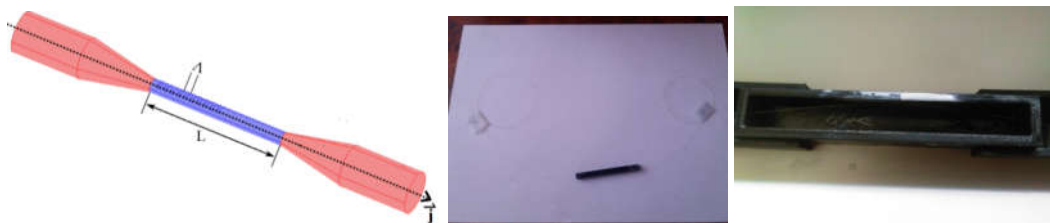


Figura 2.56. A. schema senzorului (L- lungimea de distributie a pasilor rețelei LPG) b. senzorul realizat c. zona de sensing

Pentru alegerea fibrei cu distributia cea mai adecvata a pasilor rețelei de difracție s-au monitorizat semnalele rezultate dupa modificarea numarului de pasi în procesul de fabricare (figura 2.57).

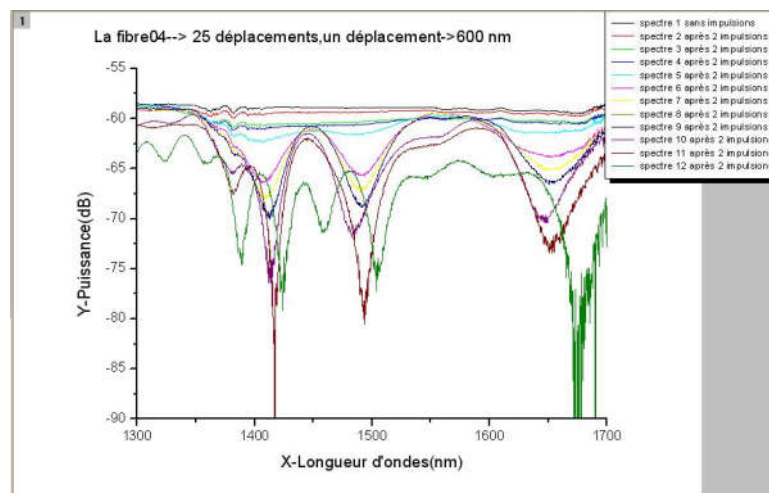


Figura 2.57. Modificarea spectrului de distributie în functie de numarul de pasi Λ și lungimea L a LPG

Pentru evitarea introducerii atenuarilor suplimentare, la conectorizare s-a realizat jonctarea senzorului la un pigtail care permite conectorizarea usoara la aparatele de masura și control. Conectorii au fost curatati de impuritati (figura 2.58).



Figura 2.58. Conectorizarea senzorului și monitorizarea gradului de puritate a conectorilor, pentru eliminarea atenuarilor suplimentare

Organigrama pasilor de realizare este descrisa în figura 2.59:

Cleaning and Fabrication Process step by step

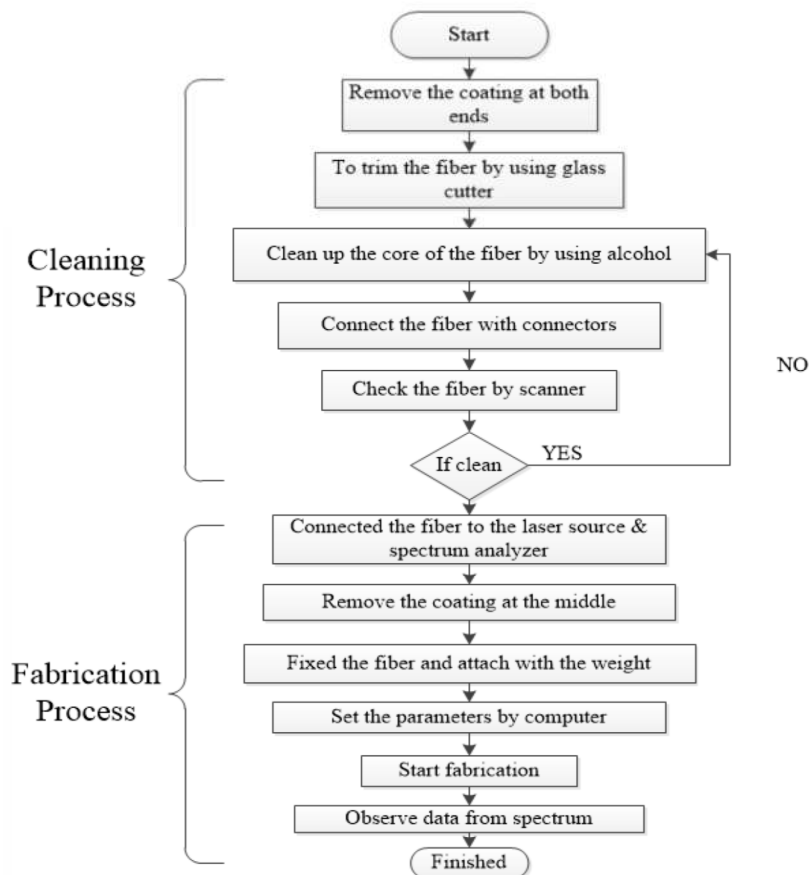


Figura 2.59. Descrierea modului de functionare a senzorului

S-a ales fibra cu zona de sensing de 36mm și pasul LPG de 600um. Raspunsul senzorial la o variatie de 0.5 grade C este dat în figura 2.60. Deplasarea observata cu OSA este de 1.4nm.

Rezolutia de masurare a senzorialui depinde de capabilitatile/caracteristicile aparatului de masurare OSA (optical spectrum analyzer) utilizat.

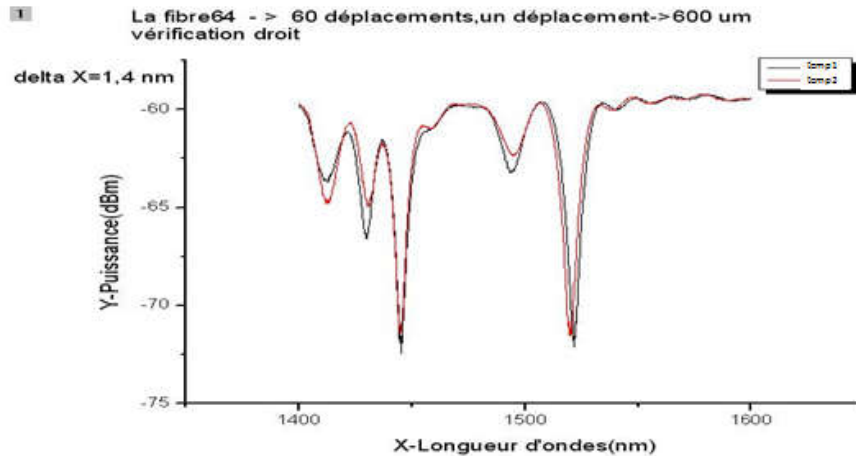


Figura 2.60. Monitorizarea variatiei de temperatura de 0.5 grade în zona de sensing, în lichid (apa), LPG dreapta

În acest caz rețeaua de difracție este menținută întinsă. Dacă însă se realizează o îndoire (bend) a rețelei de difracție, se poate observa o creștere a rezoluției de măsurare, folosind același echipament OSA. Această îndoire se poate menține prin fixare pe un suport fix, de dimensiune redusă ca în figura 2.56. b și c.

În figura 2.61 se prezintă măsurătoarea realizată pentru un bending de 60mm și variație a temperaturii de măsurare de 0.5 grade în zona de sensing:

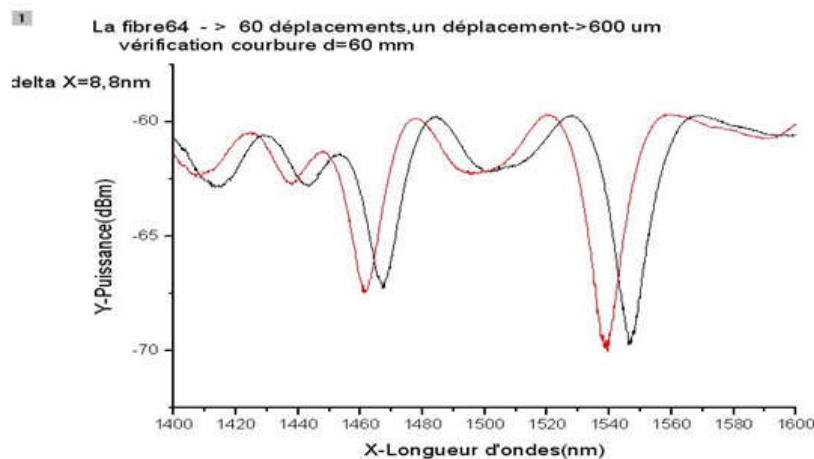


Fig 2.61. Monitorizarea variatiei de temperatura de 0.5 grade în zona de sensing, în lichid (apa), LPG bending 60mm

S-au realizat și alte măsuratori – selecția LPG cu lungimea rețelei de difracție de 28,2 mm și indoita (bending) cu 58 mm este ilustrată în figura 2.62.

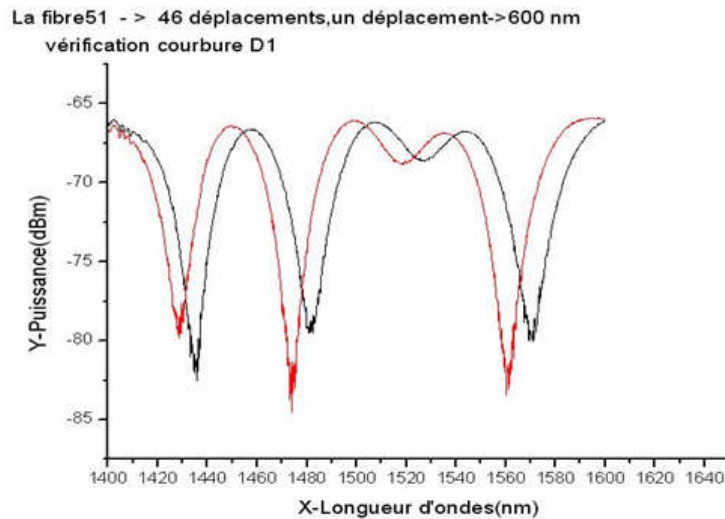


Fig 2.62. Monitorizarea variației de temperatură de 0.5 grade în zona de sensing, în lichid (apa), LPG bending 58mm și L=28.2mm.

Astfel, se obține o arhitectură care permite măsurarea temperaturii în puncte multiple, folosind traductoare din materiale biocompatibile, care îndeplinesc următoarele cerințe:

- să nu fie toxice și să nu conțină produși filtrați
- să nu provoace efecte alergice, cancerigene, teratogene (generate de anomalii morfologice)
- să nu provoace fenomene de respingere de către organism
- să nu modifice compoziția sângelui și să nu perturbe mecanismul coagulării (să fie hemocompatibil)
- să nu modifice pH-ul biologic
- să nu provoace sedimentări în țesuturi și biodegradări
- să nu conțină site hidrofile sau hidrofobe care să favorizeze pătrunderea și aderența celulară.

2.1.4 Ghiduri optice

La modul general, ghidurile optice pot fi analizate cu ajutorul ecuatiilor lui Maxwell. Pentru a simplifica insa modul de abordare, din punctul de vedere al proiectarii și modelarii, exista patru categorii de structuri:

- Prima clasă** – ghiduri optice invariante de-a lungul axei de propagare, optice, a semnalului. Solutia pentru o singura lungime de undă de propagare implica calculul vectorilor și valorilor proprii sau a modurilor. Solutia modala poate fi gasita analitic.
- A doua clasă** – structuri neuniforme pe directia de propagare (ex. Retele de difractie, splittere (structuri în Y), structuri de indoire (S-band). Metodele numerice de analiza constau în metode numerice.
- A treia clasă** - consta în studiul propagarii impulsului optic prin ghiduri neliniare. Propagarea de tip liniar poate fi rezolvata relativ simplu în domeniul frecventa, insa cea de tip neliniar include abordari mai complexe. Efectele neliniare majore sunt datorate polarizarii, birefringentei, temperaturii, radiatiilor (gamma, bombardament protoni etc.). Efecte neliniare includ SPM (self phase modulation), XPM (cross-phase modulation), FWM (four wave mixing), SRS (stimulated Raman scattering), SBS (stimulated Brillouin scattering).
- A patra clasă** – ghiduri optice compozite (includ ,metamateriale' – ex quantum dots-transmisia se face pe baza comportamentului de corpuscul al luminii, nu de undă electromagnetica). în acest caz, în conditiile de granita dintre aceste materiale compozite, trebuie tinut cont de proprietățile magnetice specifice, dependenta frecventei de parametrii de material (permitivitate, permeabilitate magnetica, index de material).

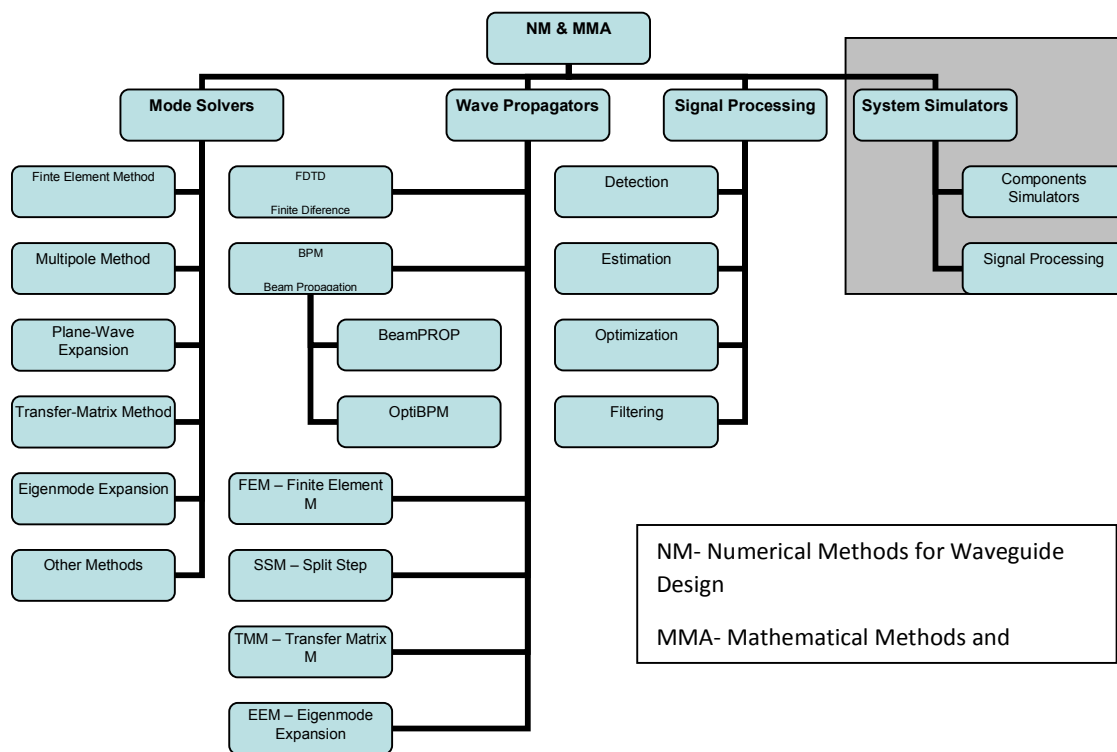


Figura 2.63. Gruparea claselor de metode pentru studiul ghidurilor optice

Pe langa aceasta abordare generala, ghidurile optice mai pot fi clasificate în functie de:

- a. **Geometrie** – plane, subțiri (slab waveguide) și de tip banda (strip waveguide – ex. channel, rib, ridge), fibre standard sau având microstructuri și respectiv ghiduri de tip cristale fotonice
- b. **Mecanismul de ghidare:** reflexie internă totală, benzi fotonice (photonic bandgap)
- c. Structuri modale: monomod și multimod.
- d. **Materiale:** sticlă, polimeri, semiconductor, metal, materiale artificial create (ex. quantum dot)

În anul I au fost abordate structurile din prima clasă și a doua clasă (din clasa a treia, a fost studiat fenomenul birefringentei), geometriile de tip 2D și 3D, ghidarea prin reflexie internă totală, structurile de tip monomod și multimod și diverse tipuri de materiale, omogene, cu indici de refracție caracteristici.

Clasele de metode pot fi grupate ca și în Organigrama din figura 2.63.

Descrierea și utilitatea acestor metode a fost cuprinsă în studiul ghidurilor optice [SPIEGalatus2007][TaylorGalatus2009][SPIEGalatus2009] și a componentelor de tip microinel [PhotonicsGalatus66]- [PhotonicsGalatus71].

Ghiduri optice LiNbO₃

În cooperare cu Universitatea Politehnică București s-a raportat o lucrare [SPIEGalatus2007] continuând câteva rezultate experimentale și teoretice privind caracterizarea cuplajului între fibrele optice și ghidurile de undă optice folosind metode nedistructive. S-a folosit metoda de transmisie optică pentru măsurarea atenuării optice în fibra optică cu profil gradat ($\lambda=0.63\mu\text{m}$) și un ghid optic Ti:LiNbO₃ ($\lambda=1.55\mu\text{m}$). Pe baza metodei de transmisie optică s-a realizat măsurarea atenuării puterii optice care corespunde unui semnal optic emis de o diodă laser având lungimea de undă $\lambda=0.63\mu\text{m}$ cu o lățime de bandă $\lambda=0.03\mu\text{m}$ lansat într-o fibră optică. S-a evaluat profilul indicelui de refracție al fibrelor optice caracterizat printr-un profil de index gradat prin măsurarea intensității câmpului apropiat “near-field”, utilizând o fibră optică standard ca receptor. Datele măsurate au fost modelate numeric printr-o funcție de convoluție Gaussiană care aproximează profilul câmpului EM din fibra optică. Profilul câmpului EM apropiat obținut a fost utilizat pentru a aproxima distribuția indicelui de refracție și alți parametri, i. e. diferența dintre indicii de refracție și adâncimea de patrundere în înveliș (efect Goos-Hanken) care caracterizează fibra optică și ghidul de undă. Rezultatele obținute pot fi utilizate pentru proiectarea **senzorilor de fibră optică** și a circuitelor optoelectronice integrate.

Câteva rezultate teoretice au fost diseminate în lucrarea [SPIEGalatus2009] privind modelarea rețelelor de difracție Bragg fabricate în ghiduri optice de tip Ti: LiNbO₃ dopate cu Er³⁺, ghiduri de undă care funcționează la 1531 nm, 1300 nm și 980 nm (cele trei ferestre de comunicație standard). A fost evaluat prin simulare, coeficientul de cuplare și reflexia pentru dispozitivul de mai sus luând în calcul câțiva parametri de modulație: ordinal de difracție, modularea periodică a diferențelor dintre indicii de refracție și lungimea rețelei de difracție. Aceste rezultate pot fi utilizate pentru **îmbunătățirea proceselor de fabricare a dispozitivelor bazate pe rețele de difracție Bragg** în Ti: LiNbO₃ dopat și alte circuite integrate optice.

S-a raportat [TaylorGalatus2009] de asemenea un studiu teoretic referitor la parametrii statistici care caracterizează ghidurile active, amplificatoare Ti:LiNbO₃ dopate cu Er³⁺ multimod, drepte. Rezultatele simulării descriu evoluția acestor parametri în cadrul diferitelor regimuri de pompare în corelația cu lungimea ghidului optic ca mediu active de amplificare a semnalului. Rezultatele obținute pot fi utilizate pentru proiectarea completă a circuitelor integrate cu pământuri rare.

Senzorii microinel [PhotonicsGalatus66]- [PhotonicsGalatus71]

Microrezonatorii optice sunt componente integrate cu rolul de a confina lumina în volume mici pe baza unei condiții de rezonanță. O cavitate rezonanță ideală asigură confinarea fără pierderi a luminii, iar rezonanța se realizează la o valoare exactă a lungimii de undă. Orice abatere de la această condiție de funcționare ideală este descrisă de factorul de calitate Q (proporțional cu timpul de confinare în unități de perioade de propagare pe calea optică a micro-rezonatorului). Datorită dimensiunilor mici, aceste componente pot fi dens integrate în substrat (*wafer*). Principalii factori determinanți în dimensiunea micro-rezonatorilor sunt condiția de rezonanță și metodele de fabricație utilizate pentru obținerea geometriei proiectate (de exemplu raza de curbură, distanță între micro-inel (*microring*) și ghiduri, dimensiunea ghidurilor, materialele folosite și proprietățile acestora). Dispozitivele bazate pe micro-cavități sunt indispensabile pentru a largă arie de aplicații ca de exemplu filtre cu selectivitate mare și demultiplexoare de tip adaugă-și-elimină (*add/drop*) utile în sistemele de comunicații optice, moderne de tip WDM (*wavelength division and multiplexing*), biosenzori de tip ‘*label free detection*’ care pot să funcționeze la nivel de moleculă [Vollmer2010], [Vollmer2008] [Yoshie2011], senzori [Orghici2010], surse laser, *switch*-uri, *router*e, porți logice. Geometria utilizată este simplă, adaptată aplicației curente: micro-discuri, micro-sfere, micro-inele care pot fi cuplate cu ghiduri 3D, fibre optice, prisme și integrate ușor cu alte componente optice pe același cip. Acest ultim avantaj le conferă avantajul obținerii unor cip-uri cu senzori (*‘lab-on-a-chip’*) pentru analize înafara laboratoarelor (*‘out-of-lab’*) [Benson 2006].

În fig. 2.64. sunt descrise trei structuri de micro-rezonatori planari, cu cuplaj lateral paralel (ghiduri paralele) și cuplaj lateral intersectat (ghiduri intersectate) de tip ‘*cross-reference*’.

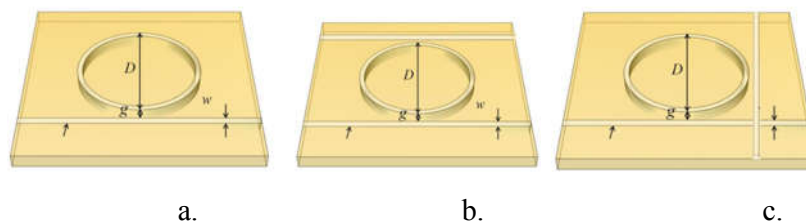


Figura 2.64. Structuri de micro-rezonatori planari, cu cuplaj lateral cu una sau două ghiduri paralele și respective cuplaj lateral intersectat

Principiul de funcționare al structurilor cu micro-rezonatori planari sunt asemănătoare cu al rezonatoarelor Fabry-Perot. Pentru analiza cuplajului dintre micro-ring și ghiduri se utilizează cel mai adesea formalismul matricii de cuplaj sau ‘*scattering matrix*’ [Heebner2008]:

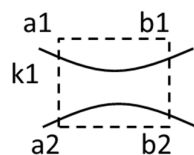


Figura 2.65. Cuplor direcțional.

Considerând două ghiduri cuplate ca în fig. 2.65, unde $b = \{b1, b2\}$ sunt ieșirile iar $a = \{a1, a2\}$ sunt intrările:

$$b = Sa \quad (16)$$

cu S matricea de transfer, care are următoarea formă:

$$S = \begin{vmatrix} t_1 & -jk_1 \\ -jk_1 & t_1 \end{vmatrix} \quad (17)$$

Unde t_1 și k_1 sunt coeficienții de transmisie respectiv cuplaj.

Considerând microinelul planar (microring), cuplat lateral cu două ghiduri paralele (**Figura 2.66**), se poate deduce funcția de transfer a componentei (ecuațiile 18):

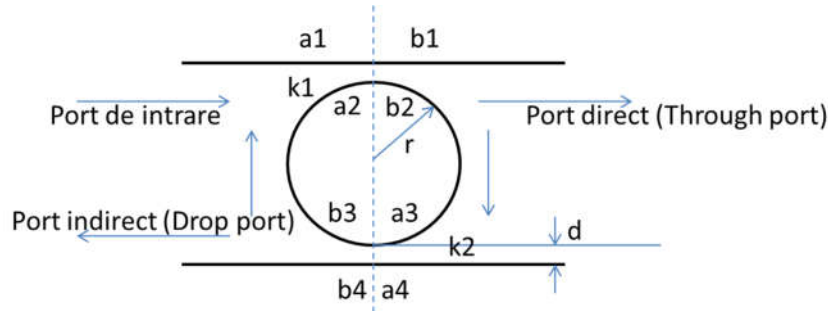


Figura 2.66. Microring cuplat lateral.

$$\text{Cuplor I: } \begin{vmatrix} b_1 \\ b_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} t_1 & -jk_1 \\ -jk_1 & t_1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a_1 \\ a_2 \end{vmatrix} \text{ și Cuplor II: } \begin{vmatrix} b_3 \\ b_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} t_2 & -jk_2 \\ -jk_2 & t_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a_3 \\ a_4 \end{vmatrix} \quad (18)$$

având următoarele condiții $|t_i|^2 + |r_i|^2 = 1$, iar dependența ieșirilor complexe, în funcție de intrări se exprima prin următoarele ecuații (19):

$$\begin{aligned} a_2 &= b_3 \exp(-j\varphi) \\ a_3 &= b_2 \exp(-j\varphi) \end{aligned} \quad (19)$$

Funcția de transfer pentru portul direct se deduce [Valles2012] ca fiind:

$$|T|^2 = \left| \frac{[t_1 - t_2 \exp(-j2\varphi)] \exp(-j2\psi)}{1 - t_1 t_2 \exp(-j2\varphi)} \right|^2 \quad (20)$$

Iar pentru portul indirect este:

$$|D|^2 = \left| \frac{\kappa_1 \kappa_2 \exp[-j(\varphi + 2\psi)]}{1 - t_1 t_2 \exp(-j2\varphi)} \right|^2 \quad (21)$$

Unde:

$$\varphi = \pi R(\beta - j\alpha + jg) \quad \text{și} \quad \psi = L(\beta - j\alpha + jg)$$

- β constanta de propagare

- α coeficientul care însumează pierderile la propagare (pierderi prin absorbție, prin împrăștiere și datorate curbării)
- g amplificarea, în cazul microring-urilor active.

Constanta de propagare se exprima în funcție de lungimea de undă a radiației ghidate și indicele de refracție efectiv [Vahala2004]:

$$\beta = \frac{2\pi n_{eff}}{\lambda} \quad (22)$$

Daca microring-ul este utilizat în aplicații ca senzor, în ecuația constantei de propagare se modifică indicele de refracție efectiv, datorită interacțiunii cu eșantionul analizat (de exemplu fenomenul de absorbție modifica n_{eff}). Coeficientul n_{eff} determina de asemenea și condiția de rezonanță a microinelului (microring-ului) după următoarea relație:

$$m \cdot \lambda = n_{eff} \cdot L \quad (23)$$

Unde m este modul de rezonanță, L este lungimea circumferinței inelului, λ este lungimea de undă de rezonanță.

Un sistem clasic de utilizare a microring-ului **ca senzor** este prezentat în fig. 2.67:

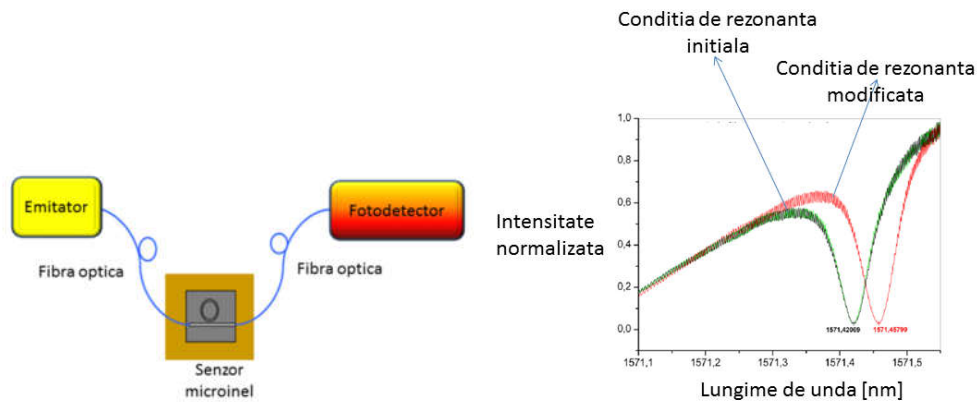


Fig. 2.67. Echipament sistem de monitorizare cu senzor micro-inel (microring)

Micrezonatorii optici (MRR) sunt componente multifuncționale folosite în sistemele de comunicații optice moderne DWDM (dense wavelength division and multiplexing) ca demultiplexoare și filtre de tip add/drop, modulatori, laseri, comutatoare. Datorită ușurinței de integrare cu ghiduri liniare și a posibilității de funcționalizare a suprafeței lor sunt componente candidate multifuncționale, folosite în interogări pentru sisteme cu senzori, utile pentru clasificări de tip label-free în detecția în timp real, cu sensibilitate ridicată, integrate în platformele cu biosenzori care funcționează în particular în spectrul infra-roșu (banda la 1.5 μm). Prin utilizarea castigului în MRR dopate cu pământuri rare, se pot compensa pierderile prin împrăștierea semnalului, îndoierilor și pot fi combinate funcțiile de filtrare și amplificare.

Atunci când materialul gazdă este codopat, $\text{Yt}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ se îmbunătățește eficiența ionilor de Er^{3+} , prin transfer interatomic (upconversie și migrația acestora), rezultând o funcționare optimizată a sistemelor cu castig. Modelele actuale neglijează aceste mecanisme de upconversie și migrație a ionilor în formalismul statistic microscopic (MSF). În activitatea de cercetare am urmărit îmbunătățirea MSF,

prin rezolvarea ecuatiilor ce descriu comportamentul nelinier al transferului de energie între nivelele atomice ale codopantilor. Astfel a fost implementat modelul de proiectare MRR studiind efectele acest mecanism al transferului de energie inter-atomic asupra parametrilor de modelare a MRR și performantele generale ale microrezonatorului. Acest model a fost analizat prin rezolvarea transversala a ecuatiilor ce reprezintă MSF pentru microrezonatorii cuplati lateral (figura 2.66). Modelul a fost prezentat în articolul [PhotonicsGalatus71]. Parametrii din ecuația de amplificare al ghidului sunt prezentati în tabelul 3.

Sistemul codopat Yt^{3+}/Er^{3+} și formalismul matematic asociat

Ecuatiile de amplificare au fost prezentate în capitolul de carte, [MicroringGalatus1] și sunt descrise în cele ce urmeaza.

Nivelele de energie corespunzatoare materialului codopat cu pământuri rare de tip Yt^{3+}/Er^{3+} este descris în Figura 2.68. În acest model evoluția temporală a densitățile populației ale nivelelor, n_i ($i = 1, 5$), este descrisă de ecuațiile statistice pentru ghidul Yb^{3+}/Er^{3+} -codopat:

$$\frac{dn_2}{dt} = W_{12}n_1 + C_{BT}n_1n_5 - [A_2 + W_{21}]n_2 - C_{ET}(n_{Yb})n_2n_3 \quad (24)$$

$$\frac{dn_4}{dt} = W_{34}n_3 - [A_4 + W_{43}]n_4 - 2C_{UP}(n_4)n_4^2 + A_5n_5 \quad (25)$$

$$\frac{dn_5}{dt} = -C_{BT}n_1n_5 + C_{ET}(n_{Yb})n_2n_3 + W_{35}n_3 + C_{UP}(n_4)n_4^2 - [A_5 + W_{53}]n_5 \quad (26)$$

$$n_1 + n_2 = n_{Yb} \quad (27)$$

$$n_3 + n_4 + n_5 = n_{Er} \quad (28)$$

unde densitățile populației pe nivelele de ioni de ytterbium ${}^2F_{7/2}$ and ${}^2F_{5/2}$, și a ionului de erbium de pe nivelurile ${}^4I_{15/2}$, ${}^4I_{13/2}$ și ${}^4I_{11/2}$ sunt $n_1(x, y, z)$, $n_2(x, y, z)$, $n_3(x, y, z)$, $n_4(x, y, z)$ și respectiv $n_5(x, y, z)$. Din motive de simplificare, în ec. (24) - (28), dependența spațială (x, y, z) a densităților populației și densitățile ratelor de tranziție radiată stimulată sunt omise. Se noteaza cu n_{Yb} and n_{Er} ionii omogeni de ytterbium și erbium.

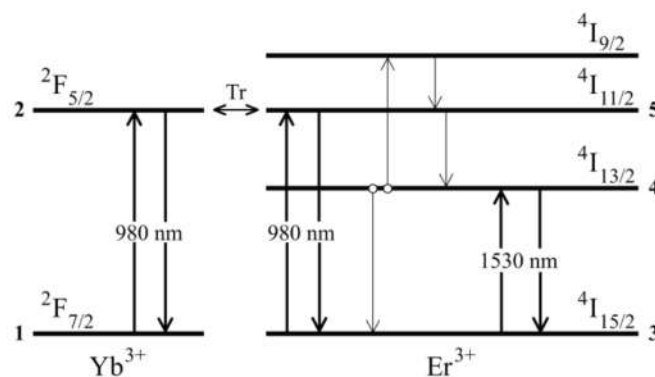


Figura 2.68. Schema nivelelor energetice ale sistemului codopat Yt^{3+}/Er^{3+}

A_i reprezintă rata de relaxare spontană de la nivelul i , iar valorile densităților ratelor de tranziție radiată stimulată, $W_{ij}(x, y, z)$, și poate fi determinată folosind ecuația 29:

$$W_{ij}(x, y, z) = \frac{\sigma_{ij}}{h\nu} \Psi_\gamma(x, y) \times P_\gamma(z) \quad (29)$$

Unde:

- $\Psi(x, y)$ reprezintă înfasuratoarea modurilor normalizate ale pompei, semnalului și respectiv a propagării înainte și înapoi a emisiei spontane, (ASE $^\pm$).
- $P_\gamma(z)$ în ecuațiile (30) descriu puterile optice, z fiind distanță de-a lungul axei ghidului de undă, iar eticheta γ este p pentru pompare și s pentru semnal.

În ceea ce privește mecanismele inter-atomice de transfer de energie, efectul de conversie este descris printr-un termen proporțional cu populația de pe primul nivel de excitație Er $^{3+}$ + la pătrat, prin introducerea unui coeficient HUC care este o funcție a populației de pe primul nivel excitat $C_{UP}(n_4)$ și reprezintă numărul de evenimente de conversie pe unitate de timp.

În ceea ce privește conversia de energie de pe nivelul Yb $^{3+} \Rightarrow$ Er $^{3+}$ și înapoi avem coeficienții C_{ET} și C_{BT} .

- C_{BT} este termenul ce exprimă conversia de energie de pe nivelul Er $^{3+} \Rightarrow$ Yb $^{3+}$
- C_{ET} este termenul ce exprimă conversia de energie de pe nivelul Yb $^{3+} \Rightarrow$ Er $^{3+}$
- C_{UP} este numărul de evenimente de conversie pe unitate de timp.
- σ_{ij} este coeficientul de absorbție/emisie pe secțiune transversală a tranziției de pe nivelul i pe nivelul j

Pompa și semnalul sunt presupuse a fi monocromatice.

Propagarea puterilor optice de-a lungul ghidului activ se realizează conform ecuațiilor 30 și 31:

$$\frac{dP_p(z)}{dz} = [\sigma_{53}N_{5,p}(z) - \sigma_{35}N_{3,p}(z) + \sigma_{21}N_{2,p}(z) - \sigma_{12}N_{1,p}(z) - \alpha_p] P_p(z) \quad (30)$$

$$\frac{dP_s(z)}{dz} = [\sigma_{43}N_{4,s}(z) - \sigma_{34}N_{3,s}(z) - \alpha_s] P_s(z) \quad (31)$$

Unde α_γ sunt pierderile prin împrăștiere, dependente de lungimea de undă λ și corespund ca ordin de mărime ecuației pierderilor de tip Rayleigh λ^{-4} .

Parametrii de cuplaj $N_{i,\gamma}(z)$ reprezintă integrale de suprapunere a distribuției intensității modurilor normalizate și a densității populației peste A , aria activă și sunt definiți conform ecuației 32.

$$N_{i,\gamma}(z) = \iint_A \Psi_\gamma(x, y) n_i(x, y, z) dx dy \quad (32)$$

Pentru a optimiza microinelele amplificatoare / oscilabile (MRR) dopate cu pământuri rare (RE), trebuie să se modeleze evoluția cuplată a semnelor de la pompa și a semnalului rezonant din interiorul structurii integrate și trebuie luate în considerare caracteristicile pasive și active interdependente. Concentrația ionilor RE stabilește coeficientul de câștig a semnalului realizabil. Acest coeficient împreună cu dependențele de intensitate a pompei determină combinația adecvată de parametri pasivi (influențată în mare măsură de pierderile de cuplare adiționale preconizate) pentru a obține o amplificare semnificativă sau o operație de oscilație.

S-au utilizat parametrii din tabelul 5, pentru a se calcula amplificarea.

Tabelul 5. Parametrii de amplificare a MRR activ

Parameter	Symbol	Value
Signal wavelength	λ_s	1534 nm
Pump wavelength	λ_p	976 nm
Decay rate of $\text{Yb}^{3+} {}^2F_{5/2}$	A_2	909 s^{-1}
Decay rate of $\text{Er}^{3+} {}^4I_{13/2}$	A_4	127 s^{-1}
Decay rate of $\text{Er}^{3+} {}^4I_{11/2}$	A_5	$3.6 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$
Absorption cross section $\text{Yb}^{3+} {}^2F_{7/2}$ at \square_p	σ_{12}	$10.9 \times 10^{-25} \text{ m}^2$
Emission cross section $\text{Yb}^{3+} {}^2F_{5/2}$ at \square_p	σ_{21}	$11.6 \times 10^{-25} \text{ m}^2$
Absorption cross section $\text{Er}^{3+} {}^4I_{15/2}$ at \square_p	σ_{35}	$1.5 \times 10^{-25} \text{ m}^2$
Emission cross section $\text{Er}^{3+} {}^4I_{11/2}$ at \square_p	σ_{53}	$9.6 \times 10^{-26} \text{ m}^2$
Absorption cross section $\text{Er}^{3+} {}^4I_{15/2}$ at \square_s	σ_{34}	$5.4 \times 10^{-25} \text{ m}^2$
Emission cross section $\text{Er}^{3+} {}^4I_{13/2}$ at \square_s	σ_{43}	$5.3 \times 10^{-25} \text{ m}^2$
Energy transfer rate $\text{Er}^{3+} \Rightarrow \text{Yb}^{3+}$ (${}^4I_{11/2} + {}^2F_{7/2} \Rightarrow {}^4I_{15/2} + {}^2F_{5/2}$)	C_{BT}	$1.5 \times 10^{-22} \text{ m}^3/\text{s}$
Upconversion critical radius	R_u	9.95 Å
Ratio between critical radii	R_m/R_u	$60^{1/6}$

Acest formalism al amplificării a facilitat obținerea unui model de optimizare a rezonatorului codopat mai aproape de realitate, decat a fost obținut până în acel moment [PhotonicsGalatus71]. Modelarea amplificării pentru porturile de ADD and Drop corespunzătoare componenteii MRR activ, având lungimea de $2L = 24500 \mu\text{m}$ sunt prezentate în figura 2.69.

În [PhotonicsGalatus66] s-a analizat raspunsul microrezonatorului de tip micro-inel cu cuplaj lateral perpendicular simplu –MRR-CG (microresonator cross-grid) (figura 2.70) cat și în arii de microrezonatori (figura 2.73). în cazul MRR-CG s-a obținut modelul simplificat de cuplaj (figura 2.71) și raspunsul componenteii (activa și pasiva), pentru cazul ($a_1 \neq 0, a_4 = 0$) folosind ecuațiile de cuplaj (figura 2.72). Modelul simplificat corespunzător matricii de transfer este prezentat în scenariile urmatoare:

Caz I - ($a_1 \neq 0, a_4 = 0$):

$$T^I = \left| \frac{b_1'}{a_1} \right|^2 = \left| \left(\frac{t_1 - p^4 t_2}{1 - p^4 t_1 t_2} \right) \gamma e^{-j(\varphi_1 + \varphi_2)} \right|^2 = |t^I|^2; \quad D^I = \left| \frac{b_4'}{a_1} \right|^2 = \left| \left(\frac{-\kappa_1 \kappa_2 p}{1 - p^4 t_1 t_2} \right) e^{-j(\varphi_1 + \varphi_3)} \right|^2 = |d^I|^2 \quad (33)$$

Caz II - ($a_1 = 0, a_4 \neq 0$):

$$T^{II} = \left| \frac{b_1'}{a_4'} \right|^2 = \left| \left(\frac{-\kappa_1 \kappa_2 p^3}{1 - p^4 t_1 t_2} \right) \gamma^2 e^{-j2\varphi_2} \right|^2 = |t^{II}|^2, \quad D^{II} = \left| \frac{b_4'}{a_4'} \right|^2 = \left| \left(\frac{t_2 - p^4 t_1}{1 - p^4 t_1 t_2} \right) \gamma e^{-j(\varphi_2 + \varphi_3)} \right|^2 = |d^{II}|^2 \quad (34)$$

Caz III - ($a_1 \neq 0$, $a_4 = U a_1 \exp(-j\varphi_4)$):

$$T^{III} = \left| \frac{b_1'}{a_1'} \right|^2 = |t^I + U t^{II} e^{-j(\varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_4)}|^2, \quad D^{III} = \left| \frac{b_4'}{a_1'} \right|^2 = |d^I + U d^{II} e^{-j(\varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_4)}|^2 \quad (35)$$

Si $p = \exp(-j\beta_c L_a)$ iar $\varphi_i = \beta_c L_i$.

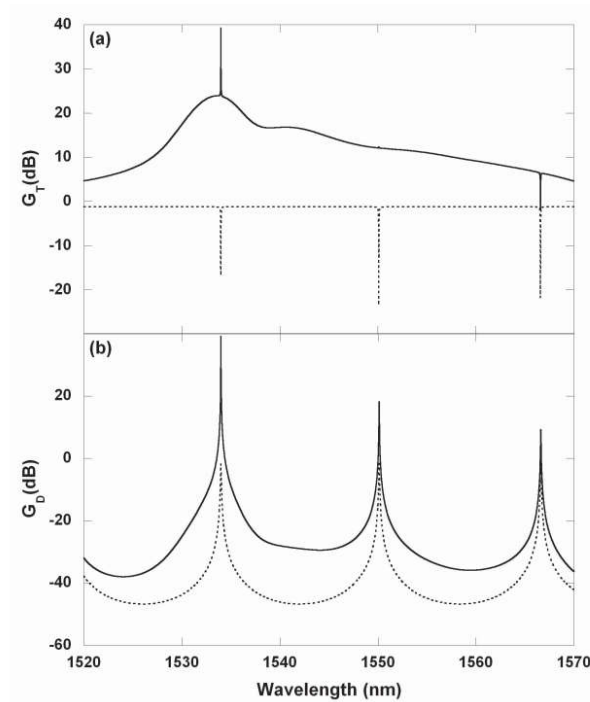


Figura 2.69. Spectrul pasiv (punctat) respectiv activ (linie continua) corespunzatoare porturilor de transfer (T-through) și de demultiplexare (D-drop), în banda de comunicație la 1.53 μm

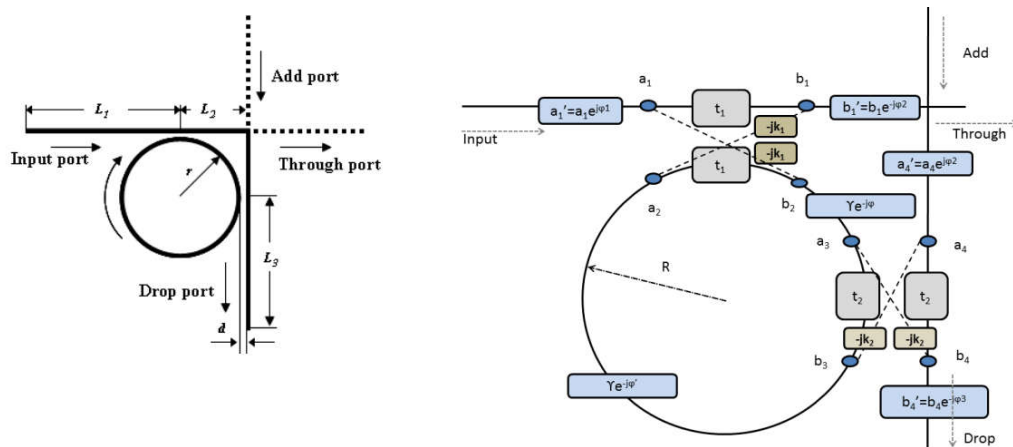


Figura 2.70. Structura microrezonatorului de tip micro-inel cu cuplaj lateral perpendicular

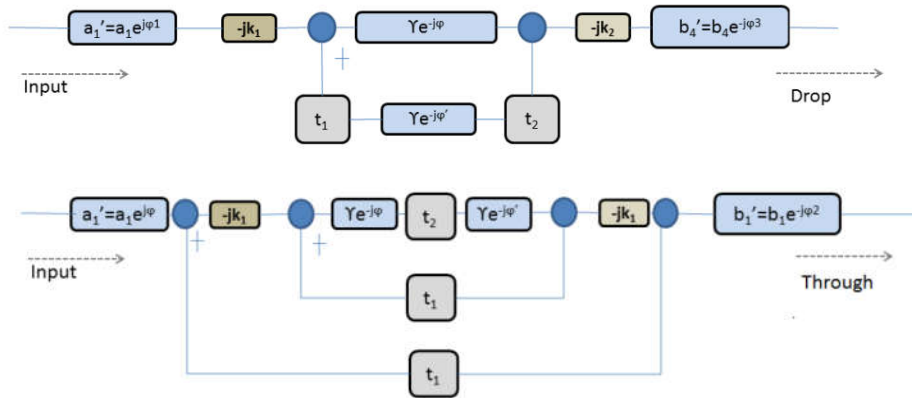


Figura 2.71. Modelul simplificat pentru porturile a) Drop b) Through

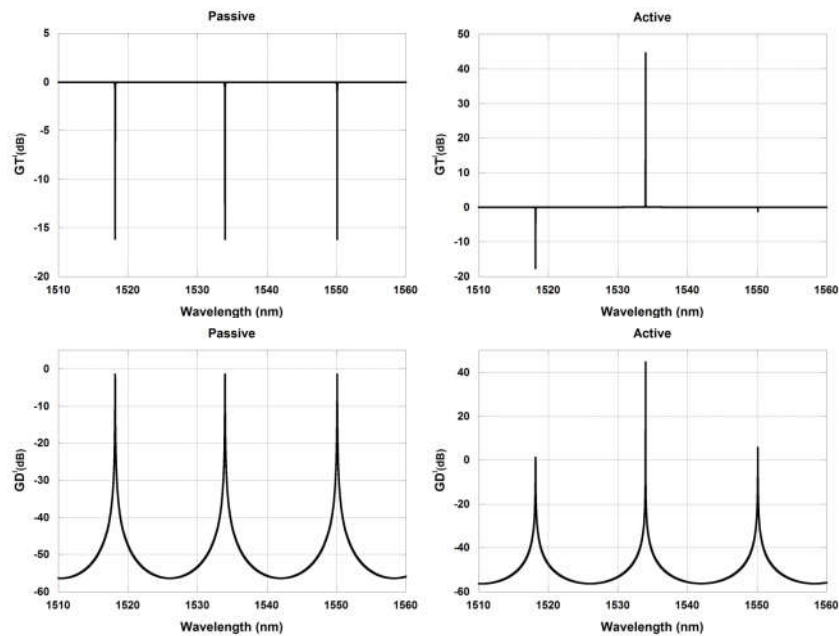


Figura 2.72. Raspunsul la porturile de iesire a micrerezonatorului de tip micro-inel cu cuplaj lateral perpendicular, în forma pasiva și respectiv activa, ilustrare caz I ($a_1 \neq 0$, $a_4 = 0$)

În cazul matricelor de microring-uri (Figura 2.73.) funcția de transfer se poate exprima recursiv (cu notațiile din figura).

$$M = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \quad (36)$$

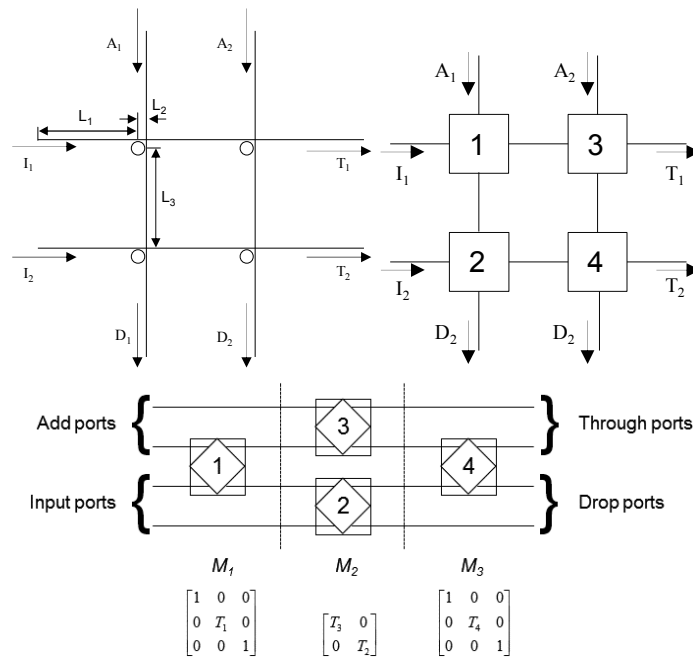
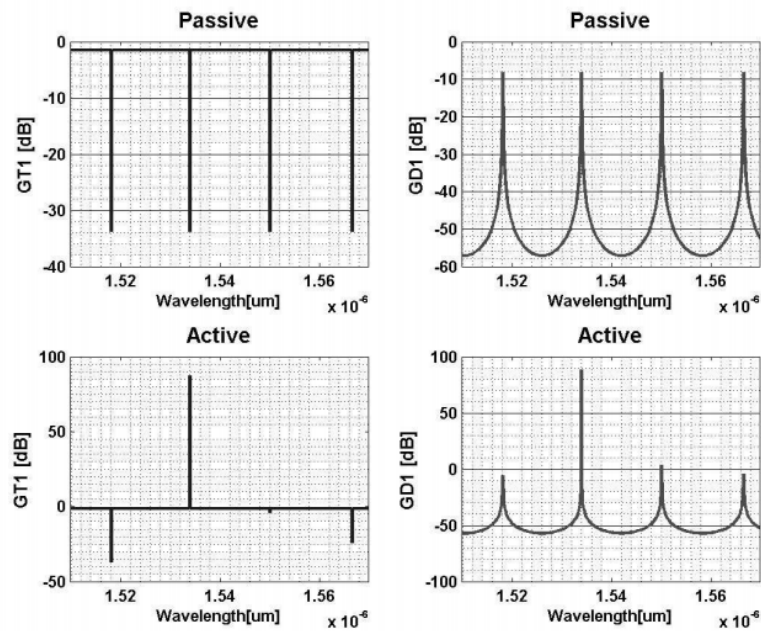


Figura 2.73. Matrice 2x2 de microring-uri cuplate intersectat.

S-a obținut modelul matematic al raspunsului micro-rezonzatorului pentru $M \times N = 2 \times 2$ (fig 2.74)



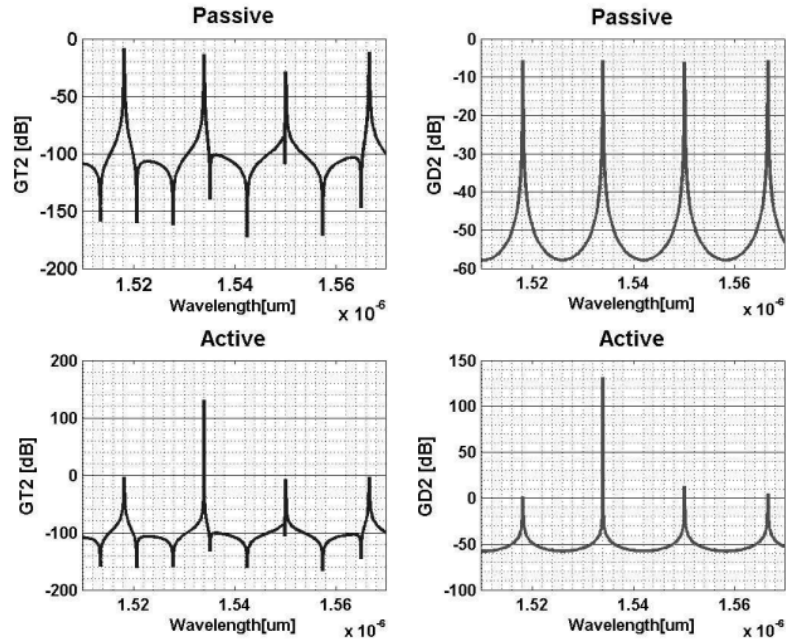


Figura 2.74. Raspunsul la porturile de iesire a ariei 2x2 de microrezonatori de tip micro-inel cu cuplaj lateral perpendicular, în forma pasiva și respectiv activa

In [PhotonicsGalatus69] s-a tratat cazul unor microrezonatori cuplati în serie, obtinandu-se modelul generalizat al acestora.

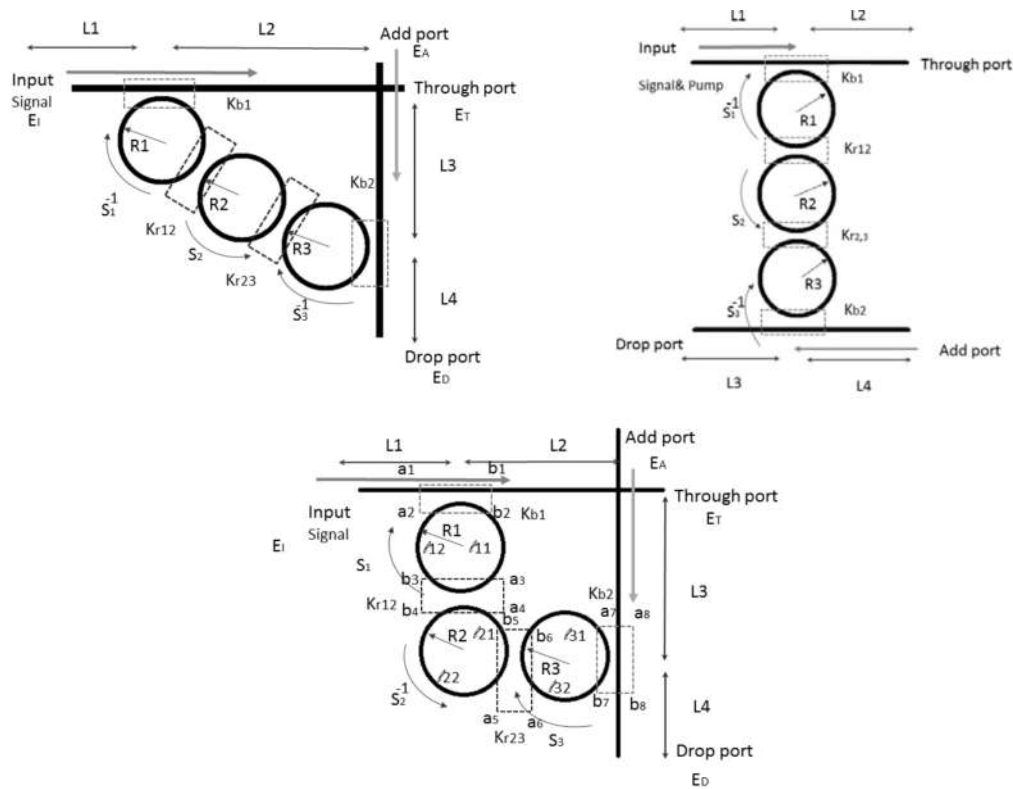


Figura 2.75. a. Cuplaj lateral perpendicular, cuplaj serie a inelelor, **b.** Cuplaj lateral de tip bus-line, **c.** Cuplaj lateral perpendicular (Cross grid) – având cuplaj optimizat serie, inele

A fost obținuta funcția de transfer generalizată în ecuația 37 și exemplificată pentru cuplaj optimizat serie, 3 inele (figura 2.75), geometrie propusă de autori.

Ecuația generalizată de cuplaj al seriei de rezonatori activi este:

$$\begin{bmatrix} a_8 \\ b_8 \end{bmatrix} = S_{b1} R_1 S_{r2} R_2^{-1} S_{r3} R_3 S_{b4} \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \end{bmatrix} \quad (37)$$

Unde S este matricea de cuplaj iar R este o matrice de transfer co-direcțional R^+ respectiv invers R^- cu semnalul transmis prin ghid și este de forma generalizată:

$$R_i = \begin{bmatrix} 0 & r_{1i} e^{j\beta l_{1i}} \\ (r_{2i})^{-1} e^{j\beta l_{2i}} & 0 \end{bmatrix} \quad (38)$$

A fost analizat răspunsul componentei integrate și reprezentat în figura **Figura 2.76**.

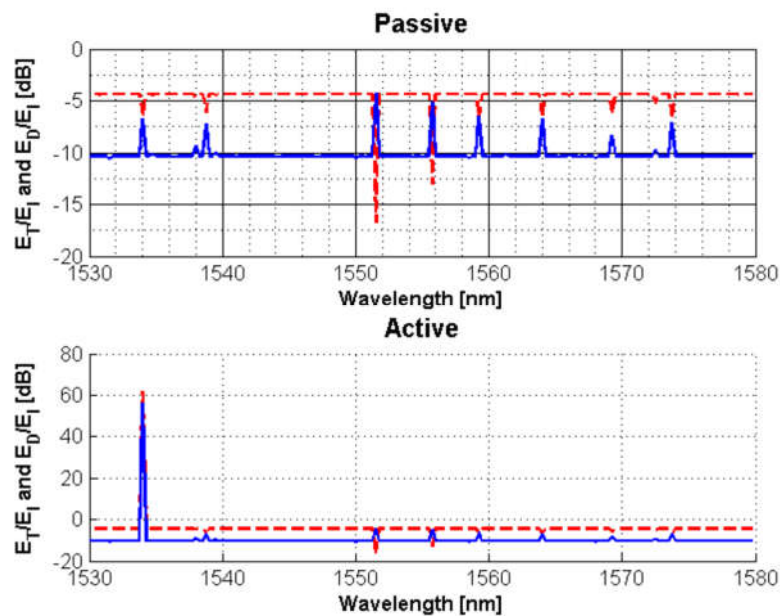


Figura 2.76. Semnalul la porturile de ieșire a componentei de tip microrezonator cu cuplaj lateral perpendicular (Cross grid) – având cuplaj optimizat serie, inele

In concluzie, s-au propus diverse geometrii de microring-uri active, obținându-se funcția de transfer generalizată conform scenariilor de pompare analizate. Aceste topologii pot fi utilizate în cazul proiectării unor componente integrate complexe de amplificare.

2.2. Prelucrări de imagini

În teza de doctorat s-a propus un **sistem automat de screening pentru detectarea cancerului cervical în diagnosticul de laborator, în domeniul citologic (nivelul micro) (figura 2.73)**. Sistemul conține un pachet software cu algoritmi îmbunătățiți, pentru prelucrarea imaginilor digitale ale lamelor, detectarea și clasificarea fazei de evoluție a cancerului cervical (gradul CIN asociat), utilizându-se un modul hardware pentru achiziționarea și stocarea imaginilor medicale și două aplicații de telemedicină care permit memorarea și consultarea structurată (standardul SNOMED) a rezultatelor de laborator și educarea (training) personalului specializat.

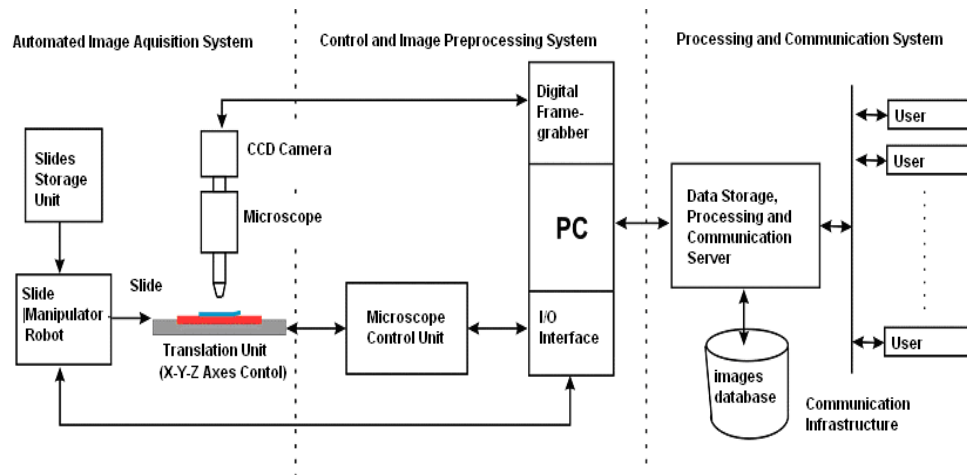


Figura 2.73. Schema sistemului automat de screening pentru detectarea cancerului cervical în diagnosticul de laborator, în domeniul citologic (nivelul micro)

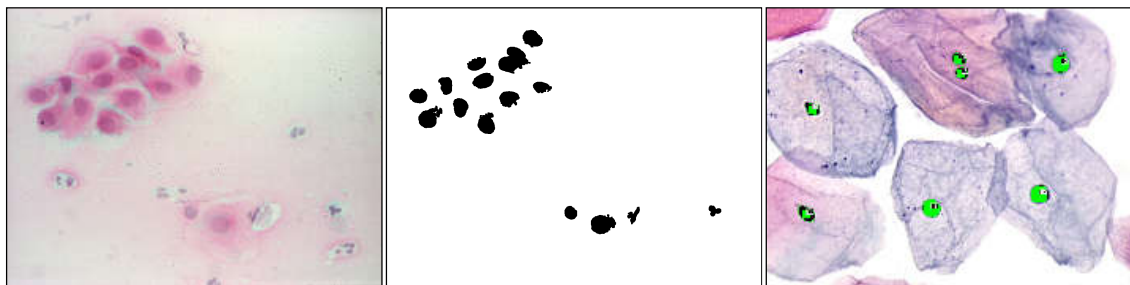


Figura 2.73. Ilustrarea eficienței procedurii de segmentare și etichetare a imaginilor microscopice

Una din bolile cu un risc mare de îmbolnăvire înregistrate la data realizării tezei de doctorat (2008) și cu o mortalitate ridicată în România este **cancerul cervical** cu diversele sale grade de evoluție cunoscute în literatura de specialitate sub denumirea de **Neoplazie Cervicală Intraepitelială (Cervical Intraepithelial Neoplasia - CIN)**.

Există câteva caracteristici fundamentale care influențează procesul de investigare: metoda de recoltare, fixare și preparare a lamelor, condițiile de achiziție a imaginilor digitale a lamelor, numărul enorm de mare de lame cu conținut normal analizate, numărul mare de celule examinate, pe fiecare lamă, numărul mare de imagini (regiuni ale lamei) care trebuie explorate, având în vedere nivelul de detaliere la care se lucrează (obiective ce măresc de 40 de ori sau de 100 de ori în cazul microscopului optic sau până la 5000 de ori în cazul microscopului electronic) etc. S-a estimat că peste 90% din

lamele examinate de un medic anatomo-patolog sunt normale, iar fiecare lamă conține până la 100.000 celule. Lamele cu conținut anormal, a căror frecvență de apariție este redusă, conțin fiecare până la aproximativ 100-200 celule suspecte pe întreaga suprafață a lamei, ceea ce reprezintă un procent extrem de mic. Astfel se dovedește dificilă, aproape imposibilă detectarea prin inspecție vizuală a tuturor cazurilor de cancer primar, cu o rată de eroare mică (număr redus de cazuri fals-negative). **Astfel este necesară dezvoltarea unui sistem automat de screening, care să ghideze medicul specialist în procesul de diagnosticare.**

Programele de screening în masă ale populației pentru identificarea indivizilor aparent sănătoși au reprezentat o tendință crescătoare de peste 30 de ani pentru a preveni incidența anumitor boli care reprezintă un factor de risc crescut pentru sănătatea publică. Un program de screening este capabil să asiste decizia specialiștilor pentru a verifica dacă au fost detectate celule anormale. Neoplazia intraepitelială cervicală (cancer de col uterin, denumită CIN) este una dintre cele mai frecvente forme de cancer în rândul femeilor din întreaga lume, dar dacă se descoperă devreme, șansele de vindecare sunt de 90%. Testul tradițional de screening este numit Pap smear și constă în examinarea celulelor colectate din colul uterin într-un laborator de citologie sub microscop. Chiar și cele mai bune laboratoare pot pierde de la 10 până la 30% cazuri canceroase (fals negative) sau au făcut unele greșeli (fals pozitive) din următoarele motive: numărul mare de lame normale analizate, fiecare conținând un număr mare de celule; un număr mare de zone care trebuie explorate sub microscop și timpul scurt alocat fiecărei (10-15 minute). În acest caz "costul" cazurilor fals negative este mult mai important decât rata cazurilor fals pozitive. Pentru ochiul uman este dificil de detectat toate cazurile de cancer (fără eroare); ca rezultat, acest inconvenient conduce la necesitatea unor metode automatizate de detectare a cancerului pentru a ajuta diagnosticul.

Teza a fost structurată pe șase capitole, care descriu etapele de asistare a diagnosticului CIN. *Capitolul 1* se referă la aspectele tehnologice și medicale legate de **procedurile de screening automatizat al CIN**. S-au prezentat informații preliminare pentru a asigura un cadru pentru compararea sistemelor de screening computerizate propuse cu sistemele oficiale aprobate de FDA (food and drug administration). Arhitectura propusă este adaptată pentru costuri minime și prezintă versatilitate ridicată. Se constituie ca un mediu integrat iar algoritmi funcționează ținând cont de condiția ca imaginile să fie obținute în aceleași condiții de achiziție. Funcționalitatea este comparabilă cu sistemele scumpe aprobate de FDA. Ea a fost adaptată pentru a lucra în stadiul de lame cu coloratura clasice de tip "Pap stain".

În *Capitolul 2* se prezintă arhitectura de ansamblu a sistemului de screening automat, propus. Acesta se compune din patru module implementate - modul de stocare a imaginilor medicale, modul de preprocesare (descriș în capitolul 3), modul de analiză (capitolul 4) și modulul de comunicare (capitolul 5).

În *Capitolul 3* sunt abordate metode de segmentare a imaginilor medicale dezvoltate. Prima etapă a sistemului de screening automat pentru gradul CIN detectat este segmentarea celulelor din imaginea digitală. Algoritmul de segmentare multi-spațială și hibridă este propus pentru segmentarea robustă a nucleelor care să compenseze calitatea proastă a lamelor preparate. S-a dezvoltat o metodă originală pentru detectarea anormală a nucleelor, pe baza metodei optimizate „hit&miss method”, care asigură procesarea de mare viteză și detectarea robustă. De asemenea, s-a propus o metodă originală de segmentare a citoplasmei bazată pe tehnici „posterized and cluster cells divided techniques”. Toate tehnicile au fost integrate într-un instrument (tool) de procesare a imaginilor cu structură modulară bazată pe paradigma orientată pe obiecte, care permit evaluarea comparativă a rezultatelor acestor algoritmi.

Capitolul 4, prezintă arhitectura sistemului de clasificare pentru categoriile CIN, ca parte integrantă a modulului de analiză (procesare). În acest capitol este prezentat un clasificator original cu performanțe îmbunătățite bazate pe clasificarea statistică a modelelor („Statistică pattern classification”).

În *Capitolul 5*, ca parte integrantă a modulului de comunicație, sunt prezentate două aplicații de telemedicină. Au fost dezvoltate două aplicații securizate WEB (WEBLab și WEBAtlas) bazate pe codificarea SNOMED CT (<https://www.snomed.org>). Aceste aplicații au fost integrate într-un laborator virtual de screening citologic și permit: învățarea la distanță - pentru cazurile speciale în patologie, formarea specialistilor prin prezentarea unor cazuri rare stocate în baza de date, precum și testarea cunoștințelor viitorilor specialiști în acest domeniu, sau efectuare de consultanță la distanță - pentru analiza citologică a rezultatelor pacientului, oferite specialiștilor care sunt clienți ai aceluși laborator.

În *Capitolul 6* au fost expuse în sinteză concluziile generale, contribuțiile autoarei și posibile dezvoltări ulterioare în cazul obținerii unei noi finanțări, propuse pentru sistemul de screening automat, de asistare a diagnosticului CIN.

Rezultatele au fost diseminate în articolele: [AMI2008][PathologyGalatus] [AMIGalatus99] [AMIGalatus2000] [HTGalatus2000] [AMIGalatus2001] [MediTechGalatus2007] [ICCPGalatus2006] [ICCCGalatus2005] [AMIGalatus2004] [ActaGalatus2004]. Au fost aduse contribuții în capitole dedicate Prelucrării de imagini medicale din cartile a caror coautoare sunt: [SRIMA2000] [AlmaMater2002] [SRIMA2003] [SRIMA2004]. De asemenea, în urma experienței obținute prin dezvoltarea activităților din cadrul tezei de doctorat, am avut contribuții în proiectele [ProiectMaster RO-4096] și proiectul “*Cercetări privind dezvoltarea tehnicilor computerizate de screening citologic și asistare a diagnosticului histopatologic*”, contract CNCSIS de tip A (director contract prof V. Trifa, coordonatorul tezei de doctorat), contract care a finanțat dezvoltarea tezei de doctorat, asigurând infrastructura necesară.

2.3. Energie regenerabilă: celule solare organice

Sistemele de electricitate din întreaga lume sunt în continuă schimbare deoarece cererea globală și dependența de electricitate sunt în creștere. În același timp însă preocupările legate de poluarea mediului devin tot mai presante. Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră [EnergyWorld2015] [WorldEnergyResources2016] este unul din elementele spre care se îndreaptă atenția cercetătorilor la ora actuală. Acest lucru conduce la o orientare spre un sistem de electricitate fără emisii de carbon CO₂, bazat pe un volum mare de surse regenerabile, predominant furnizate de energia fotovoltaică (PV) și eoliană. Tehnologia fotovoltaică este una dintre tehnologiile regenerabile cu potențialul de a forma o soluție “curată” și accesibilă pentru viitor. Luând în considerare acest lucru guvernele lumii încurajează dezvoltarea tehnologiei PV. La ora actuală sunt disponibile o multitudine de materiale utilizate în tehnologia PV. Există o multitudine de companii producătoare de componente PV, fiecare cu limitările și caracteristicile de eficiență proprie, precum și costuri de instalare variabile în funcție de tipul de proiect implicat.

La ora actuală cele mai des utilizate celule PV comercializate sunt:

- panouri fotovoltaice monocristaline cu siliciu – formate dintr-un singur cristal. Ele sunt foarte eficiente și pot avea o eficiență de conversie energie solară în energie electrică de până la 15%. Totuși costurile de fabricare sunt mari.
- panouri PV de siliciu policristalin (denumite și multicristaline). Acestea sunt, în general, mai ieftine decât celulele monocristaline datorită procesului de fabricare mai simplu, dar au tendința de a fi ușor mai puțin eficiente, cu o eficiență medie de aproximativ 12%.

O clasificare a generațiilor de tipuri de celule solare este schitată în figura 2.74 [PV_Krebs2013]. Într-un raport din 2015 NREL (figura 2.75) se constată faptul că la ora actuală eficiența maximă raportată este atinsă de celule multi-joncțiune, la Institutul Fraunhofer ISE, Germania în

Photovoltaics Report 2018 (<https://www.ise.fraunhofer.de>) [Wolfe2018]. Celulele solare organice (OSC) fac parte din a patra generatie. Chiar daca actualmente eficienta lor este scazuta (8%, 2011), ele sunt caracterizate de metode de procesare simple, rapide, ieftine și posibilitatea de a produce un volum mare de componente, datorită faptului ca materialele organice sunt accesibile.

Prima generatie

- Monocristaline (Mono c-Si) / Monocrystalline
- Policristaline (Poly c-Si) / Polycrystalline (max 21%)
- Celule amorfе de și / Amorphous Silicon Cells

A doua generatie

- Thin-Film Solar Cells (TFSC):
- Celule amorfе (a-Si și a-Si/uc-Si) / Amorphous Silicon Cells (max 11.8%)
- Cd-Te / Cadmium Tellurite (21.4%)
- CIS (Copper-Indium-Selenide) so CIGS (Copper-Indium-Gallium-DiSelenide – 21.6%)

A treia generatie

- DSSC (Dye sensitized) sau Gratzell cell
- Perovskite (Inorganice, hibride, nanostructure)
- Celule solare Organice (ex. material organice sau polimeri)
- QD (Quantum dot solar cell)

Urmatorele
(pana > 30% eficienta)

- Nanostructuri cu graphene, Nanostructuri cu nanotuburi carbon
- Utilizeaza si energia termica
- Sunt sensibile și in domeniul IR (produc electricitate și noaptea)
- Silicon nanostructures, tandem/multi-junction cells, photon upconversion and downconversion technologies, Utilizare de concentratoare solare

Figura 2.74. Generatiile de celule fotovoltaice.

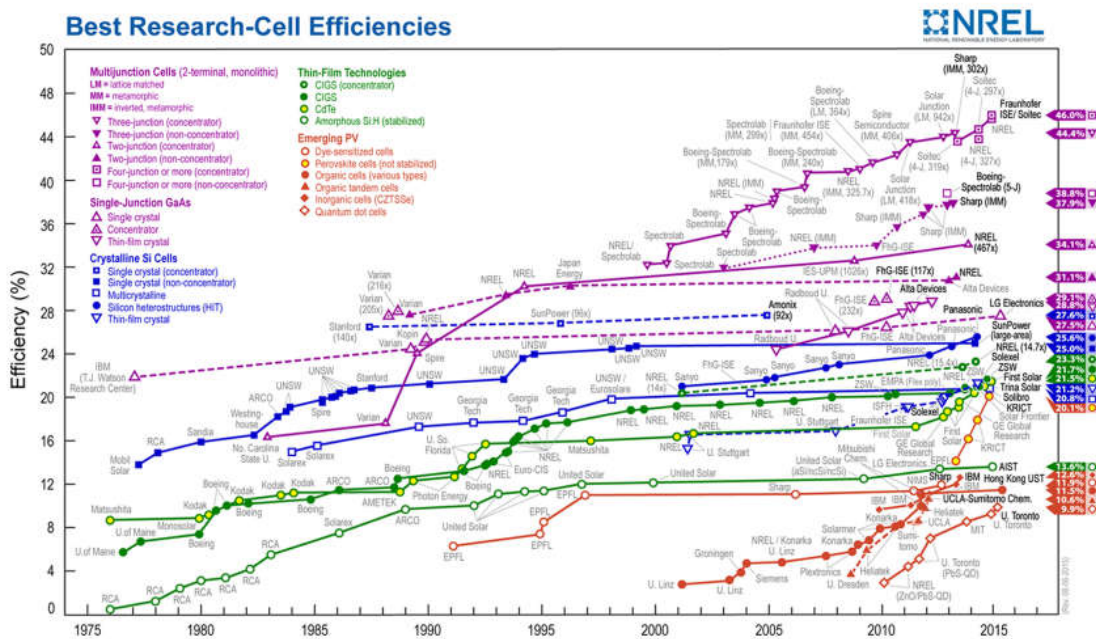


Figura 2.75. Clasificarea eficientei celulelor fotovoltaice (Sursa: NREL, <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/pv-efficiencies-07-17-2018.pdf>)

În primele etape ale dezvoltării OPV (anii 1950 - 1980), stratul activ consta în mod tipic dintr-o singura componenta de material organic, care producea o eficienta de conversie mica. în anii 1980, primele

OPV cu două straturi (biller) a fost raportată [Tang1986] ele conținând elemente organice de tip donator de electroni (D) și electron acceptor (A). Fotocurentul a fost semnificativ îmbunătățit și de asemenea și eficiența. În anul 1990 s-a introdus conceptul de BHJ (bulk heterojunction) în sisteme de tip polimer-fulerena și polimer-polimer. În aceste sisteme există două canale de generare a fotocurentului – excitonii pot fi generați atât de donori cât și de acceptori. Principiul de funcționare constă în următoarele: **1.** Absorbția de fotoni și crearea excitonilor **2.** Difuzia excitonilor la interfața D/A **3.** Disocierea excitonilor în purtători de sarcină liberi (goluri și electroni) la interfața D/A **4.** Transportul purtătorilor de sarcină spre electrozi și **5.** Extragerea purtătorilor de sarcină la nivelul electrozilor. [Cheng2018].

În acest context, orientările spre noi direcții de cercetare în domeniul Fotonicii ale autoarei au condus-o spre implicarea în proiectul ORGLIGHT [SMOSCs2017], alături de grupul de cercetare coordonat de prof. Ioan Grosu din cadrul Facultății de Chimie, Catedra de Chimie Organică, Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca. Datorită specificității grupului de cercetare, orientat spre cercetări în domeniul chimiei organice, ideea centrală a proiectului de cercetare prevede incorporarea de unități donoare (D) și acceptoare (A) (separate de o unitate de legare L, Figura 2.76), decorate cu diferite grupări cu proprietăți de auto-asamblare, într-un singur schelet molecular. Organizarea specifică a acestor molecule, cu separarea unităților donoare și acceptoare, condiție cerută de principiul de funcționare al celulelor solare, este asigurată de grupările cu proprietăți de auto-asamblare SA1 și SA2 care determină segregarea donoare și acceptoare. Celulele solare organice clasice (OSCs), cu minim două componente, se bazează pe hetero-juncțiunea creată prin contactul materialelor D și A. Arhitecturile supramoleculare inovative propuse în acest proiect reprezintă un pas important înspre obținerea de celule solare organice uni-componente (single-material organic solar cells (SMOSCs)) care le-ar putea înlocui pe cele multi-componente existente în prezent.



Figura 2.76. Reprezentare generală a conceptului de celule solare organice unicomponente (SMOSC-uri) – sursa proiect ORGLIGHT WEB Page [SMOSCs2017].

Acest proiect își propune să asigure o soluție eficientă ca răspuns la limitările intrinseci ale celulelor bi-componente, care constă în obținerea unui material unic și ambivalent, ce conține atât unitățile donoare D cât și acceptoare A și este capabil să asigure absorbția luminii, disocierea excitonului și transportul sarcinilor negative și pozitive, funcții îndeplinite în general de două materiale diferite în celulele D/A. Dezvoltarea SMOSC-urilor va conduce la o simplificare considerabilă a procesului de fabricare a dispozitivelor și la o stabilizare a morfologiei stratului activ. De asemenea, deoarece absorbția luminii și separarea de sarcină se realizează în principiu în aceeași moleculă, problemele legate de durata scurtă de excitare și cele legate de difuzie vor fi considerabil reduse. Chiar dacă modelul conceptual pare simplu la prima vedere, design-ul materialelor active pentru SMOSC-uri eficiente reprezintă o provocare importantă. Pe lângă cerințele obișnuite de absorbție a luminii și nivel energetic al orbitalilor de frontieră adecvat, design-ul materialelor active trebuie să aibă în vedere aspectele referitoare la disocierea excitonului/recombinarea sarcinii și transportul sarcinilor negative și pozitive generate prin iradiere. În principiu, un material activ pentru SMOSC-uri ar putea fi obținut

din blocuri de D și A conectate prin unități de legare L cu structură optimizată și care să fie capabile de auto-organizare prin intermediul grupărilor terminale cu proprietăți de auto-asamblare (SA).

Procesul de fabricare a celulelor solare organice, în acest moment, se bazează pe următorii pași [Ossila2018]: 1. curățarea substratului lamelelor pe care se va realiza procedeul de depunere (strat sticlă+ITO) 2. caracterizarea stratului de ITO 3. aplicarea substanței PEDOT:PSS ((poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate)) care este un polimer conductiv transparent 4. Aplicarea stratului activ 5. Evaporarea catodului 6. Măsurarea eficienței celulei solare realizate

Iar grupul de la Universitatea tehnică este responsabil cu pașii 1,2,4,5,6 folosind echipamentele Mantis deposition QUBE [Mantis2018], Sistem de caracterizări fotovoltaice LCS-100, Simulator solar ORIEL LCS-100, Profilometru AlphaStep D-500 Stylus cu masă optică KLA-Tencor D-500 și Spin-coater VTC-50A [OrglightEchipamente].



Figura 2.77. Echipamente utilizate în fabricarea și testarea SMOSC-urilor: spin coater, aparat depunere filme subțiri Mantis, profilometru și monocromator, simulator solar ORIEL LCS-100

Rezultatele obținute sunt ilustrate în figura 2.78

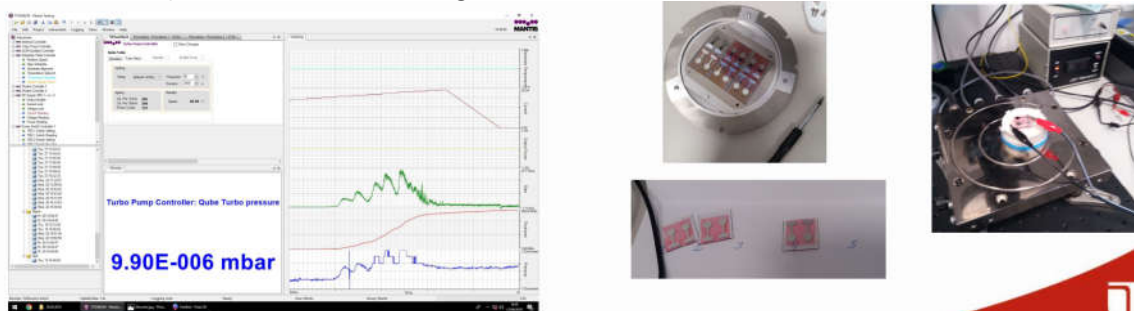


Figura 2.78. Interfața procedurii software de depunere cu Mantis, masca și celulele rezultate și sistemul de caracterizare celule

S-a proiectat un concentrator solar [I2MTC20182]. Activitățile de realizare a celulelor solare eficiente sunt în progress (figura 2.79).

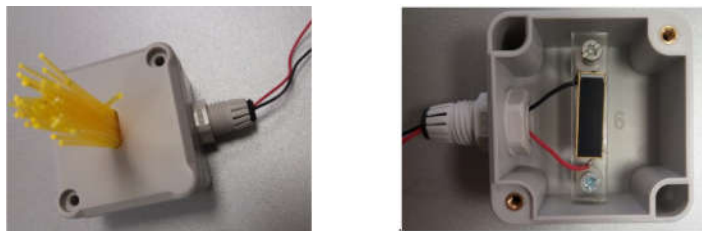


Figura 2.79. Implementare concentrator solar pentru celule PV, implementat cu fibre optice fluorescente

2.4. Sinteza contribuțiilor științifice și a rezultatelor de cercetare

2.4.1. Proiecte

În activitatea de **dupa** susținerea doctoratului:

2 Am coordonat **2 proiecte de cercetare naționale**:

- Director proiect “*Nano-biosenzor optic cu interfața smartphone pentru detectia rapida și selectiva a antibioticelor din apa*”, PN-III-P2-2.1-PED-2016-0172 (2017-2018), UEFISCDI, valoare 600.000 RON (128.755 EUR), în cooperare cu partenerii de la University of Medicine and Pharmacy “Iuliu Hatieganu” Cluj-Napoca, în cadrul caruia s-a dezvoltat un sistem integrat prezentat în figura 1.9, pentru un dispozitiv portabil de analiza a calitatii apei și detectie a antibioticelor din apa. Rezultatele din acest proiect vor fi continuate fiind membru în proiectul internațional ERANET- SALIVAGES 2018-2021-„Abordări tehnologice inovative pentru validarea AGEs salivare (Producătorii Finali de Glicozilare Avansată) ca noi biomarkeri în evaluarea factorilor de risc în bolile relaționate cu dieta” (2018-2021), coordonator UMF – Conf dr Aranka Ilea
- Responsabil științific în 2017, proiectul “*Management and evaluation of the local and regional hipertermia models using advanced methods for temperature measurement and control*”, Romanian Academy ASTR-CA1-2016, coordonator Universitatea de Medicina și Farmacie “Iuliu Hatieganu” Cluj-Napoca și partener Tedelco SRL, valoare 65.400 RON (14.034 EUR), în cadrul caruia s-a dezvoltat un sistem integrat bazat pe fibra optica cu rețele de difracție pentru măsurarea cu precizie a temperaturii (figura 2.56)

3 Am fost responsabil de proiect obținând o bursa postdoc în cadrul proiectului POSDRU-4D-POSTDOC “*Metode de prelucrare a semnalului optic*”

4 Am fost invited researcher și invited profesor la Universitatea UNINA2, Italia, unde am obținut o bursa finanțată de această universitate.

5 Vizibilitatea internațională a fost atrasă și prin participarea în **5 proiecte de cercetare internaționale** de tip HORIZON2020- COST:

- HORIZON2020- COST “MP 1401 – AFLASER, Advanced Fibre Laser and Coherent Source as tools for Society, Manufacturing and Lifescience”, (10 Dec 2014- 9 Dec 2018) http://www.cost.eu/domains_actions/mpns/Actions/MP1401?management, www.aflaser.eu
- HORIZON2020-COST-TD1205-Innovative methods în radiotherapy and radiosurgery using synchrotron radiation (21 May 2013-20 May 2017),
 - http://www.cost.eu/domains_actions/bmbs/Actions/TD1205?management,
- HORIZON2020-COST-CA16220-European Network for High Performance Integrated Microwave Photonics (4 Oct 2017-3 Oct 2021), http://www.cost.eu/COST_Actions/ca/CA16220,
- FP7-COST TD1001-Novel and Reliable Optical Fibre Sensor Systems for Future Security and Safety Applications (**OFSeSa**) (2010-2013)
 - link: http://www.cost.eu/COST_Actions/ict/Actions/TD1001?management,
- FP7-COST MP1307-Stable Next-Generation Photovoltaics: Unraveling degradation mechanisms of Organic Solar Cells by complementary characterization techniques (**StableNextSol**)(2014-2018),
link: http://www.cost.eu/COST_Actions/mpns/Actions/MP1307?management

- 6 experienta din acest proiect StableNextSol este fructificata prin participare ca membru în în proiectul de cercetare international, prin fonduri structural: **POC-ORGLIGHT**[54]-„MATERIALE ACTIVE UNICOMPONENTE PENTRU CELULE SOLARE ORGANICE BAZATE PE COMPUȘI PI-CONJUGATI AUTOASAMBLAȚI”, ID: P_37_220, Nr. contract: 21/1.09.2016, cod MySMIS: 103509, coordonat de cercetatorul francez Jean Roncalli, CNRS Moltech Anjou, *University of Angers, France* link: <http://orglight.granturi.ubbcluj.ro/echipa-de-implementare/>
- 7 De asemenea am facut parte din echipa a două proiecte internationale:
 - Femtosecond-laser Assisted Self-Organization Processes for Photonics: Design of Photonic Devices and Experimental Characterization, Principal Investigator: Juan Antonio Valles Brau, Universitatea de Stiinte din Zaragoza (2015-2018), Spania - proiect **castigat prin competitie în Spania, responsabil UTCN: R. Galatus**
 - Seed network, Fibre Sensing în Harsh Environment (2016), finantat de French Embassy în UK, având acronimul FINDERS, **castigat prin competitive în Franta** de catre Institutul XLIM, Limoges, Franta link: <https://uk.ambafrance.org/Seed-Meeting-Fibre-Sensing-in-Harsh-Environment-FINDERS> , **responsabil UTCN: R. Galatus** unde am participat la intalnirea de proiect la Londra, UK decembrie 2016.
- 8 Am participat ca membru de proiect în alte 10 proiecte nationale, mentionate în capitolul 1.3.

2.4.2 Principalele contribuții științifice pe domeniul fotonicii

Plasmonica

- 9 S-au proiectat și dezvoltat componente ca biosenzori bazati pe **fenomenul plasmonic** (Cap 2.1.2). S-au dezvoltat senzori SPR bazati pe cuplaj cu prisma, configuratie Kreitchmann [Patent2018] și senzori pe fibra optica, **16 articole** științifice [SensorsGalatus2013] [SPIEGalatus2013] [ActuatorsGalatus2013] [SPIEGalatus2017] [SASGalatus2016] și [PhotonicsGalatus55]-[PhotonicsGalatus65] precum și **un capitol de carte internationala**, CRC Press [PhotonicsGalatus80]. Contribuțiile științifice sunt sintetizate astfel:
 - S-au evaluat performantele senzorilor din punct de vedere al geometriei fibrei optice (fibre de plastic de diverse dimensiuni, respectiv fibre optice cu emisie pe suprafață și fibre optice fluorescente), a elementului de adaptare (tapering), al suportului senzorilor, al straturilor buffer de la suprafață sensorului, al structurilor multistrat și al utilizarii grafenei. S-a analizat posibilitatea de a dezvolta siruri de nano-antene plasmonice la suprafață de sensing pentru a mari sensibilitatea sensorului. S-a proiectat un sistem cu arii de senzori SPR care funcționează cu raspuns de tip „time domain multiplexing”.
 - S-a dezvoltat un mediu integrat de analiza a raspunsului sensorului folosind placa de dezvoltare Raspberry Pi și respectiv Android
 - S-a analizat posibilitatea de utilizare a sensorului SPR intr-un sistem fuzzy pentru analiza unor componente din apa (clor)
 - S-a functionalizat suprafață sensorului SPR prin activarea cu strat MIP (molecularly imprinted polymer) pentru detectia trinitrotoluene și nanoparticule magnetice și respectiv aptameri pentru detectia unor antibiotice de tip beta-lactam în apa.
 - S-a implementat o structura hibrida de tip electro-optic care funcționează ca platforma integrata de tip SPR

Componente microinel și ghiduri optice

10 S-au proiectat componente active codopate, de tip microinel (**microring**) (Cap 2.1.4)- figura 1.10, integrate pe substrat de tip sticla-fosfat (photospate glass) și respectiv ghiduri optice amplificatoare Er pe substrat Ti: LiNiO₃. Aceste componente sunt co-dopate cu pământuri rare Er³⁺ și Yt³⁺. S-au publicat **12 articole științifice** din care 9 articole [PhotonicsGalatus66]- PhotonicsGalatus71] și **un capitol de carte internațională** InTech [MicroringGalatus1]) pe domeniul microinelle și 3 articole științifice prin analiza ghidurilor optice amplificatoare dopate cu Er³⁺ pe substrat Ti: LiNiO₃ [SPIEGalatus2001], [TaylorGalatus2009], [SPIEGalatus2009]. Aceste componente simple sau integrate ca structuri de tip arii de componente microinel funcționează ca demultiplexoare în rețelele de comunicații moderne cu multiplexare de mai multe lungimi de undă, tip DWDM (dense wavelength division and multiplexing), filtre optoelectronice sau senzori optici. Contribuțiile științifice sunt sintetizate astfel:

- Proiectarea componentei optimizate având inel cu cuplaj lateral paralel
- Proiectarea componentei optimizate având inel cu cuplaj lateral perpendicular
- S-a utilizat pentru prima dată formalismul matematic de amplificare folosind fenomenul de „upconversion”
- Analiza scenariilor de amplificare al ariilor de componente microinel sau al componentelor de ordin superior (inele cuplate în cadrul componentei integrate)

Senzori optici distribuiți

11 Senzorii optici pe fibra optică, cu rețele de difracție, au fost utilizați în cadrul proiectului „Management and evaluation of the local and regional hipertermia models using advanced methods for temperature measurement and control” , Romanian Academy ASTR-CA1-2016 [AstrGalatus2016], ca senzori de monitorizare a temperaturii cu o mare rezoluție, de 0.1° C. în cadrul acestui proiect s-a dezvoltat un model experimental de laborator.

12 S-au proiectat și implementat aplicații cu senzori optici distribuiți (Cap 2.1.3), de tip microindoire sau bazate pe analiza spectrală implementate cu fibre optice speciale, codopate sau prezentând fenomenul de fluorescență, articolele [PhotonicsGalatus72]-[PhotonicsGalatus79]), respectiv [SIITMEGalatus20173], [I2MTC20181] și [SIITMEGalatus20171] în cadrul proiectelor de cercetare [DAMFU] și [HydroSens]. Aceste tipuri de soluții sunt utile în aplicații industriale, automotive sau sisteme cu senzori portabili.

Energii regenerabile

13 Prin participarea în proiectul [SMOSCs2017] pe domeniul energiei regenerabile (Cap 2.3): se începe o nouă direcție de cercetare.

- S-a participat la fabricarea și caracterizarea unor celulele solare organice.
- S-a proiectat un concentrator solar [I2MTC20182] (figura 2.79)

Prelucrări de imagini medicale

14 Subiectul tezei de doctorat a fost orientat pe procesarea imaginilor medicale (Cap 2.2):

- S-a realizat un sistem automat pentru prelucrarea lamelor Pap smear, care să asiste medicul în luarea deciziilor cu privire la clasificările CIN,
- s-au adus contribuții în elaborarea unor algoritmi de segmentare bazate pe „hit&miss method” și „posterized and cluster cells divided techniques” și respectiv
- clasificarea statistică acestor lame prin elaborarea unui set de trasaturi original.

- Elaborarea a două aplicații de telemedicină, pentru un laborator virtual de citopatologie, bazat pe o bază de date având codificarea SNOMED

Algoritmii sunt adecvați caracteristicilor prezentate de metoda de coloratură utilizată în tehnica Papanicolau (coloratură, suprapunere nucleu și mușchi). Acesta a constituit și materialul cuprins în teza de doctorat cu titlul "Metode de extragere și de interpretare a informațiilor în imagistica medicală" finanțată prin proiectul "Cercetări privind dezvoltarea tehnicilor computerizate de screening citologic și asistare a diagnosticului histopatologic", proiect național tip A, Code-CNCSIS 885, 2004-2006 (director proiect prof V Trifa, coordonatorul tezei de doctorat). Rezultatele au fost diseminate în articolele: [AMI2008][PathologyGalatus] [AMIGalatus99] [AMIGalatus2000] [HTGalatus2000] [AMIGalatus2001] [MediTechGalatus2007] [ICCPGalatus2006] [ICCCGalatus2005] [AMIGalatus2004] [ActaGalatus2004]. Au fost aduse contribuții în capitole dedicate Prelucrării de imagini medicale din cărțile a căror coautoare sunt: [SRIMA2000] [AlmaMater2002] [SRIMA2003] [SRIMA2004].

Cap 3. Directii viitoare de dezvoltare profesionala și de cercetare

3.1 Obiective didactice

În viitorul apropiat, principalele **obiective didactice** se referă la:

1. Revizuirea și actualizarea continuă a conținutului cursurilor de la disciplinele la care sunt titular: „Sisteme optoelectronice în telecomunicații” (SOT), anul 4, Telecomunicații, precum și „Management Logistic” (ML) la studii de licență, an 4 Inginerie economica și respectiv „Senzori optoelectronici cu aplicatii industriale” (SOAI) la nivel de studii Master, an I, Circuite și sisteme integrate. În acest proces de îmbunătățire continua a conținutului se va realiza o analiză comparativă cu discipline similare oferite de diferite universitati de top din intreaga lume și prin participarea în cadrul schimburilor academice de tip Erasmus, prin participarea la scoli de vara pe domeniile fotonicii integrate, a energiilor regenerabile și a senzorilor optici.
2. Extinderea aplicațiilor de e-learning, cu materiale noi, simulare și filme video, găzduite pe site-ul web și platforma Moodle a facultății noastre - în acest fel, am scopul de a pune în aplicare conceptul paradigmei de antrenament oricând și oriunde, oferind studenților posibilitățile să învețe de la distanță.
3. Bazat pe colaborarea excelentă cu institutul XLIM din Franta și universitatea UNILIM, se va dezvolta un program de Master de tip Erasmus Mundus, în limba engleza, care tocmai a fost acceptat și în care grupul de Optoelectronica din cadrul Facultatii ETTI-UTCN este parte integranta, subsemnata detinand un curs de procesare de semnal optic.
4. Se vor efectua impreuna cu grupuri de studenți, vizite de studiu la companii care dezvolta activitati conexe cu fotonica (de exemplu Prysbian Group, Slatina) sau cu Managementul logistic (Bosch și Emerson, Cluj-Napoca).
5. Se vor mentine legaturile de colaborare în cadrul schimburilor studentesti de tip Erasmus mundus, prin sprijinirea studenților pentru a realiza activitati practice de cercetare pentru elaborarea tezelor de licenta și de dizertatie, prin integrarea în colective de cercetare de la universitatile partenere cu care exista acorduri Erasmus. Se va avea în vedere dezvoltarea unor noi acorduri Erasmus în cadrul mobilitatilor sustinute de proiectele COST.
6. Se vor organiza programe de doctorat de tip co-tutela impreuna cu universitatile partenere din cadrul proiectelor de cercetare din care fac parte, astfel incat se va sprijini caracterul interdisciplinar al tezelor de doctorat. Se vor sprijini tinerii cercetatori sa obtina burse de studiu la aceste universitati partenere (de tip Erasmus sau mobilitati STMS de tip COST sau alte tipuri de burse – de ex. Marie Curie) sau la scolile de vara realizate pe diverse tematici, de grupuri de cercetatori având prestigiu international.
7. Imbunatatirea continua a infrastructurii laboratoarelor sustinute de grupul de Optoelectronica și Fotonica din cadrul ETTI-UTCN
8. Actualizarea paginii WEB cu informatii despre cursurile și laboratoarele grupului de Optoelectronica și Fotonica din cadrul ETTI-UTCN
9. Se vor realiza schimburi academice cu profesori invitati de la Universitati prestigioase din strainatate, care sa sustina cursuri de specialitate pe domeniul Fotonicii, ca modele de predare comparative.
10. Continuarea activitatilor de promovare a kiturilor Eyst, pentru care grupul de Optoelectronica a devenit partener autorizat (LAP – local area partner), în scoli și la cursuri de vara organizate de UTCN.

Aceasta este o lista orientativa care va putea fi extinsa cu alte activitati, pe termen lung, pentru a asigura adaptabilitatea activitatilor la cerintele pietii cu privire la cunoștințele absolvenților Facultatii

de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca (ETTI-UTCN), din România.

3.2 Obiective de cercetare

În viitorul apropiat, principalele **obiective de cercetare** se referă la:

1. Realizarea atribuțiilor din cadrul activităților științifice specifice proiectelor de cercetare în care sunt implicata
2. Participarea activă la conferințe științifice internaționale cu largă vizibilitate (cel puțin 2/an)
3. Atragerea fondurilor prin aplicarea pe proiecte de cercetare, infrastructura sau transfer tehnologic cu companii sau întreprinderi, pentru finanțarea activității tinerilor cercetători
4. Publicarea în reviste cu largă vizibilitate internațională, de tip ISI
5. Coordonare de doctoranzi
6. Participarea la formarea tinerilor cercetători prin organizare de workshop-uri sau conferințe științifice de profil

Câteva tematici pentru viitoare teze de doctorat pot fi clasificate pe direcțiile:

3.2.1 Biosenzori

Se vor implica studenți doctoranzi în cadrul activităților proiectului SALIVAGES, pentru a realiza un biosenzor de detecție a unor markeri salivari specifici. Acesta trebuie să respecte condițiile de detecție: să fie incorporat într-o gutieră, flexibilă, în diverse locații specifice provenienței salivei de analizat (figura 3.1) și fără a aduce daune structurii morfologice a gurii pacientului. Aceste dispozitive integrate trebuie să aibă capacitatea de transmitere la distanță a rezultatelor.



Figura 3.1. Inserții de cip-uri cu electrozi flexibili

Schema circuitului realizat cu fibra optică este prezentată în figura 3.2 iar schema finală a sistemului propus este prezentată în figura 3.3.



Figura 3.2. Circuitul hibrid cu senzor electronic și fibra optică incorporat în gutiera

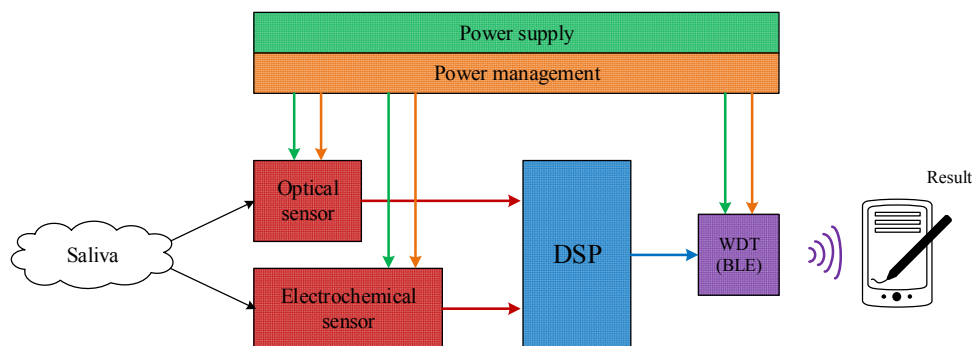


Figura 3.3. Schema bloc a sistemului propus pentru analiza salivei

3.2.2 Fotonica integrată și respectiv „Integrated Microwave Photonics”

Fotonica cu microunde (MWP) a evoluat în ultimii 30 de ani până la punctul în care actualmente este considerată ca detinând un potențial puternic tehnologic bazat pe domenii precum comunicațiile și senzorii pe fibra optică și comunicații wireless, inginerie auto și aerospațială și bio-medicină. Aplicații cum ar fi 5G stimulează evoluția continuă a MWP, în încercarea de a face față creșterii cerințelor în ceea ce privește capacitatea și performanța în termenii de lățime de bandă, temporizarea jitter-ului și în plus făcând față cerințelor de reducerea a consumului de energie (SWaP) și a costurilor reduse necesar aplicațiilor industriale. Sistemele actuale MWP sunt totuși limitate de componentele pe bază discrete. Aceste componente actuale limitează eficiența energetică, flexibilitatea și scalabilitatea. Integrarea fonică apare ca o soluție promițătoare pentru furnizarea de soluții compacte și scalabile bazate pe sisteme fotonice cu potențial de implementare la lățimii de bandă ridicată, având funcționalități rapide și complexe, la un pret accesibil. Această abordare creează o nouă paradigmă pentru MWP: implementare largă (conexiuni multiple) combinată cu lățime de bandă de neegalat. Până în prezent rezultatele în domeniul MWP s-au constituit ca un efort al grupurilor de cercetare individuale, care de multe ori nu pot acoperi întregul spectru de competență de la nivel de proiectare sistem până la radiofrecvență (RF) bazate pe circuite integrate precum și capacitatea de proiectare și fabricare (infrastructura) a PIC. Prin urmare în cadrul proiectului COST Action CA16220 (European Network for High Performance Integrated Microwave Photonics) (2018-2021) s-a realizat o rețea la care s-au afiliat cercetători având competențe complementare, pentru prima dată și la scară globală (experti pe domeniul PIC și microunde) proiectanți de aplicații pentru sisteme cu microunde și utilizatori finali (industrie) care să contribuie la dezvoltarea deplină a sinergiile cerute de această nouă paradigmă.

În cadrul acestui proiect UTCN este afiliat la grupul de lucru pe domeniul Automotive, industrie sprijinită din plin de către companiile producătoare multinationale de pe teritoriul României, și în special la nivel de oraș Cluj-Napoca. Prin participarea studenților doctoranzi la burse de tip STMS în cadrul acestui proiect, vor putea avea acces la infrastructura de cercetare a laboratoarelor de la instituțiile afiliate proiectului.

3.2.3 Energie regenerabila

Implicarea în proiectul ORGLIGHT [SMOSCs2017], alături de grupul de cercetare coordonat de prof Ioan Grosu din cadrul Facultății de Chimie, Catedra de Chimie Organică, Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca a deschis o nouă direcție de cercetare pe domeniul fotonicii, cu posibilitatea de dezvoltare de doctorate în co-tutela. În capitolul 2.3 a fost menționată contribuția la activitățile din cadrul proiectului a autoarei. Se are în vedere implicarea doctoranzilor în activitățile de realizare a etapelor practice de producere a celulelor solare, folosind infrastructura din figurile 2.77 și 2.78. În funcție de compoziții care urmează să fie depuse, etapele de setare a procedurilor de depunere și de analiză, folosind echipamentele menționate, trebuie optimizate pentru a obține parametrii de performanță doriti.

În **concluzie**, această enumerare de activități în cadrul proiectelor de cercetare aflate în derulare poate fi extrapolată prin direcții de cercetare pe domeniul fotonicii propuse de oportunități de finanțare viitoare: proiecte Horizon2020, Eranet sau alte tipuri de proiecte de cercetare internațional, precum și de transfer tehnologic cu industria.

Bibliografie

[4D-POSTDOC] POSDRU-4D-POSTDOC: “Metode de prelucrare a semnalului optic”, din cadrul Programului postdoctoral “4D-POSTDOC, POSDRU/89/1.5/S/62557, coordonat de UTCN-Rector prof dr ing. Aurel Vlaicu, (<http://ctmtc.utcluj.ro:8080/sites/fordoc/default.aspx>)

[AcorduriErasmus] Lista acorduri Erasmus: http://bri.utcluj.ro/lp_erasmus_acorduri_2.php

[ActaGalatus2004] Ramona GALATUS, Sorina PERSA, Daniel MOGA, Viorel TRIFA, Liliana NEAGA, Tiberiu MARITA, Radu MUNTEANU jr, Toward Abnormal Nuclei Detection Using an Integrated Automatic System, în Acta Electrotehnica, vol. 45, no. 5, pp. 553-560, 2004.

[ActuatorsGalatus2013] S N. Cennamo, G. D'Agostino, R. Galatus, L. Bibbo, M. Pesavento, L. Zeni Sensors based on surface plasmon resonance în a plastic optical fiber for the detection of trinitrotoluene, în SENSORS AND ACTUATORS B-CHEMICAL, vol. 188, pp. 221-226, 2013.

[Ademgila34] H.Ademgila, S.Haxha, Bending insensitive large mode area photonic crystal fiber, Optik - International Journal for Light and Electron Optics Volume 122, Issue 21, November 2011, PP 1950-1956, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2010.09.048>

[AECEGalatus2008] Dorin Petreus, Daniel Moga, Ramona Galatus, Radu Munteanu, Modeling and Sizing of Supercapacitors, în ADVANCES în ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING, vol. 8, no. 2, pp. 15-22, 2008, doi:10.4316/AECE.2008.02003

[Agrawal31] G. P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, 4th edn., Academic Press, New York (2007)

[Aiestaran41] P. Aiestaran, V. Dominguez, J. Arrue, J. Zubia, A fluorescent linear optical fiber position sensor, Opt.Mater. 31 (2009) 1101–1104.

[AlmaMater2002] “Aplicații practice de informatică și statistică medicală, ISBN 973-85354-5-X., Ed AlmaMater, 2002”,

[AMI2008]a A. ACHIMAS-CADARIU, A. SAMPEDRO, T. CALINICI, R. GALATUS, H. COLOSI, D. GUI, Medical Distance Learning în Pathology Using Structured Reporting, în Journal of Applied Medical Informatics, vol. 8, no. 1-2, pp. 34-47, 2008.

[AMIGalatus2000] A. Achimas, R. Galatus, Healthcare Data Standards, în Teletransmission for Medical Imaging, pp. 77-88, 2000.

[AMIGalatus2001] GUI Dorina, T. MARITA, Ramona GALATUS, Area Computation of Agnor (Nucleolar Organizer Regions) as a Prognostic Marker în Tumoral Pathology, în Applied Medical Informatics, vol. 8, no. 1, pp. 48-54, 2001.

[AMIGalatus2004] Ramona GALATUS, Sorina PERSA, Liliana NEAGA, Tiberiu MARITA, MOGA Daniel, Mihai R DUMITREAN, Viorel TRIFA Method for Automated Screening of Cytological Slides, în Applied Medical Informatics, vol. 15, no. 3, 4, pp. 73-79, 2004.

[AMIGalatus99] Ramona GALATUS, Stefan TIGAN, Patriciu ACHIMAS CADARIU, Tudor DRUGAN, Virtual Reality Meets Medical Education, în Applied Medical Informatics, vol. 6, no. 1, pp. 23-30, 1999.

[Antreprenoriat2018] Dezvoltarea antreprenoriatului și înființarea de întreprinderi sustenabile în mediul urban din regiunea Nord-Vest, Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Capital Uman 2014-2020, POCU/82/3.7/104067, <http://www.România-startup.ro/nordvest/contact/>

[AQTRGalatus98] V. Trifa, R. Marschalko, R. Galatus, A. Szekely, Investigations concerning the modelling of switched reluctance motor drives, in AQTR-Proceedings of A&Q International Conference on Automation and Quality Control, Cluj-Napoca, 1998.

[AstrGalatus2016] ASTR-CA1, 2016 , MANAGEMENTUL și EVALUAREA METODELOR DE HIPERTERMIE LOCALA și REGIONALA FOLOSIND SISTEME AVANSATE DE MASURARE și CONTROL A TEMPERATURII, Romanian Academy ASTR-CA1-2016, responsabil proiect partener Galatus Ramona, <https://astr.ro/competitia-nationala-de-proiecte-de-cercetare-aplicativa-astr-ca1-2016/>

[ATNGalatus2014] Lorant Szolga, Bianca Vlaicu, Ramona Galatus, Emil Voiculescu, Colorimeter for fruit sorting system, in Acta Technica Napocensis, vol. 55, no. 4, pp. 33, 2014.

[ATNGalatus2017] Alexandru SCROB, Jean-Louis AUGUSTE, Ramona GĂLĂTUS, Lorant SZOLGA, Nicoleta TOSA,” Design For Sensor Based On Suspended Core Microstructured Optical Fiber”, Acta Tehnica Napocensis, Volume 58, Number 3/2017pp.7-10

[Avago59] Avago SFH250 datasheet, http://web.mit.edu/6.101/www/reference/AV02_fiber_receiver.pdf, Accessed date: 11 January 2017.

[Benson2006] T. M. Benson, et al. Micro-optical resonators for microlasers and integrated optoelectronics, in Frontiers in planar lightwave circuit technology, Springer Netherlands, p. 39-70, (2006).

[Bross42] A.D. Bross, Scintillating plastic optical fiber radiation detectors in high-energy particle physics, Proc. SPIE 1592 (1991) 122–132.

[CademecGalatus99] V. Trifa, R. Marschalko, R. Galtus, A. Szekely, Determination of Electromagnetic Torque of an 8/6 Switched Reluctance Motor, in Proceedings of the 2nd CADEMEC'99 Workshop, Cluj-Napoca, pp. 19-22, 1999.

[Cheng2018] Cheng, P., Li, G., Zhan, X., & Yang, Y. (2018). Next-generation organic photovoltaics based on non-fullerene acceptors. Nature Photonics, 12(3), 131–142. doi:10.1038/s41566-018-0104-9

[corning29] Specialty Fibers, link <https://www.corning.com/worldwide/en/products/advanced-optics/product-materials/specialty-fiber.html>

[Cusano62] A. Cusano, et al. *Fiber Bragg Grating Sensors: Recent Advancements, Industrial Applications*, Bentham Books, chapter 15 – Polymer fiber Bragg gratings, D Webb, 2011.

[Da Silva14]. Da Silva H, Pacheco J.G, Magalhaes J, Viswanathan S, Delerue-Matos C. MIP-graphene-modified glassy carbon electrode for the determination of trimethoprim. Biosensors and Bioelectronics. 2014;52(15):56-61

[DAMFU] DAM-FU, “Sistem inteligent de urmărire a comportării barajelor prin fuziunea informațiilor”,PN-III-P2-2.1-PTE-2016-0134(2017-2018), - <http://www.automation.ro/damfu/rezultate-publice.html> (director contract prof dr ing.Gabriel Oltean)

[DelphiGalatus98] Sabin Goron, Berar Sanda, Ramona. Gălătuș, Curs de Delphi, ISBN 973-. 9298-77-X, CIP: 681.3.06. DELPHI. Ed. RISOPRINT, Cluj-. Napoca,308 pages. 1998.

[Egalon35] C.O. Egalon, Ocean Optics, Axial Versus Side Illumination of a Fluorescent Cladding, Optical FiberLink <https://oceanoptics.com/wp-content/uploads/Claudio-Egalon-Axial-VS-Side-Illumination-of-a-Fluorescent-Cladding-Optical-Fiber.pdf>, Accessed date: 11 January 2017.

[Egalon38] C.O. Egalon, Multipoint side illuminated absorption based optical fiber sensor for relative humidity, Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 8847 (2013)<https://doi.org/10.1117/12.2024875>.

[Egalon46] C.O. Egalon, Optical Fiber Chloride Sensor for Concrete Structures, Project Number 0109504, SBIR Phase I grant, National Science Foundation, 07/2001 to 12/2001.

[ElectroGalatus99] V. Trifa, R. Galatus, A. Szekely, Cs Szasz Aspects concerning the commutation of 8/6 switched reluctance motors, in Proceedings of ELECTROMOTION'99, Patras, Greece, pp. 125-130, 1999.

[Ellington24]. Ellington, A.D.; Szostak, J.W. in vitro selection of RNA molecules that bind specific ligands. Nature, 1990, 346, 6287, 818-822.

[EnergyWorld2015] International Energy Agency, Energy And Climate Changes, Report 2015, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf>

[EPFL2018] Winterschool Fiber Lasers & Optical Fiber Technology cost1401-flws18, Februarie 2018, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL) in Lausanne, Switzerland. <https://jahia-prod.epfl.ch/site/cost1401-flws18/page-150450-en.html>

[Fang6] Zujie Fang, Ken K. Chin and Ronghui Qu, Fundamentals of optical fiber sensors, Ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. , 2012

[Feier26]. Bogdan Feier, Ioana Ionel, Robert Săndulescu, Cecilia Cristea, Electrochemical behaviour of oxacillin and other penicillins at boron-doped diamond electrode, New Journal of Chemistry 41(2017), 12947 - 12955

[fiberoptics36] Fluorescent Fibers <http://i-fiberoptics.com/fluorescent-fiber.php>, Accessed date: 11 January 2017.

[Fitzpatrick44] C. Fitzpatrick, C. O'Donoghue, E. Lewis, A novel multi-point ultraviolet optical fibre sensor based on cladding luminescence, Meas. Sci. Technol. 14 (2003) 1477.

[Gopinath19]. Gopinath, S.C.B.; Tang, T.H.; Citartan, M.; Chen Y. Lakshmi priya, T. Current aspects in immunosensors. Biosens. Bioelectron., 2014, 57, 292-302.

[Gordon2] Gordon K. P. Lei* and Michel E. Marhic, Amplification of DWDM channels at 1.28 Tb/s in a bidirectional fiber optical parametric amplifier, Vol. 22, No. 7, OPTICS EXPRESS, 7 April 2014, DOI:10.1364/OE.22.008726

[Gupta5] Banshi Dhar Gupta, Sachin Kumar Srivastava and Roli Verma, Fiber Optic Sensors Based On Plasmonics, Ed. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015

[Haupt12]. Haupt K, Mosbach K. Molecularly imprinted polymers and their use in biomimetic sensors. Chemical Reviews. 2000;100:2495-2504

[Heebner2008] J. Heebner, R. Grover, T. Ibrahim, T.A. Ibrahim, Optical microresonators: theory, fabrication, and applications. Springer Science & Business Media (2008).

[HIPER-CPS] HIPER-CPS, Cyber-Physical System, "Echipament de chimiohipertermie intraperitoneala dezvoltat prin paradigma Cyber-Physical System/ PN-II-RU-TE-2014-4-2859 (2014-2018)- <http://hiper-cps.hpm.ro> (director contract prof dr ing. Daniel Moga/UTCN)

[Hock18]. Hock, B. Antibodies for immunosensors. Anal. Chim. Acta, 1997, 347, 177-186.

[Homola4] J. Homola (Ed.), Surface plasmon resonance based sensors, Vol. 4, Springer Science & Business Media, (2006).

[HTGalatus2000] R. Galatus, A. Achimas, Healthcare Telematics, in Teletransmission for Medical Imaging, pp. 70-76, 2000.

[HydroSens] HydroSens, “Sistem integrat de senzori inteligenti pentru monitorizarea constructiilor hidrotehnice de importanta strategica”, PN-II-PT-PCCA-71/2012 (2014-2017), www.hydrosens.hpm.ro/ro/goal1.html (director contract prof dr ing. Daniel Moga/UTCN)

[I2MTC20181] Lorant Szolga, Ramona Galatus, Gabriel Olteanu, Fluorescent Optical Fiber Sensor for Arcing and Flame Monitoring in Electrical Distribution Boards, 2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) - Sensors and Transducers, 13-17 May 2018, Houston, USA

[I2MTC20182] Ramona Galatus ; Dorin Petreus ; Daniel Moga ; Tiberiu Marita ; Nicoleta Stroia , Extending battery life time in the wireless sensor applications with fluorescent optical fiber concentrator, 2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Houston, USA, 2018, pages 1-6, DOI: 10.1109/I2MTC.2018.8409560

[IasiGalatus99] V. Trifa, Galatus R, A. Szekely, Computer Analysis of an 8/6 Switched Reluctance Motor Drive, in Buletinul Institutului Politehnic Iasi, vol. 45, no. 5B, pp. 238-241, 1999.

[ICCCGalatus2005] R. Galatus, T. Marita, S. Persa, D. Moga, M. Dumitrescu, V. Trifa, Proposal for a Computerized Cytological Screening System, in 6-th International Carpathian Control Conference (ICCC2005), vol. 2, pp. 443-448, 2005.

[ICCPGalatus2006] R. Galatus, S. Persa, T. Marita, V. Trifa Robust Image Segmentation Method for Cytological Slides, in 2-nd International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP2006), vol. 2, pp. 53-60, 2006.

[Islam68] Md. Rajibul Islam, *Chronology of Fabry-Perot Interferometer Fiber-Optic Sensors and Their Applications: A Review*, Sensors 2014, 14, 7451-7488; doi:10.3390/s140407451

[IsoPhos2018], 12th edition of ISOPHOS® International School on Hybrid and Organic Photovoltaics, <http://www.chose.uniroma2.it/ISOPHOS-2018/>

[Jay33] John Jay, An overview over micro and macro bending, Corning, 2010, https://www.corning.com/media/worldwide/coc/documents/Fiber/RC-%20White%20Papers/WP-General/WP1212_12-10.pdf

[Kreger 64] Stephen T. Kreger, et al. *Distributed strain and temperature sensing in plastic optical fiber using Rayleigh scatter*, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 7316 • May 2009

[Krohn67] D.A. Krohn, *Fiber optic sensors : fundamentals and applications*, Fourth edition, 2014, pp165-191.

[Laguesse39] M.F. Laguesse, Optical potentiometer using fluorescent optical fiber for position measurement, Appl. Opt. 28 (23) (1989) 5144–5154.

[Laguesse45] M.F. Laguesse, M.J. Bourdinaud, Characterization of fluorescent plastic optical fibers for x-ray beam detection, Proc. SPIE 1592 (1991)<https://doi.org/10.1117/12.50997>.

[Ley Ye8] Bo Mattiason and Ley Ye, *Molecularly Imprinted Polymers in Biotechnology*, Ed. Hannover, Germany: Springer, 2015

[Lieberman43] R.A. Lieberman, L.L. Blyler, L.G. Cohen, A distributed fiber optic sensor based on cladding fluorescence, J. Lightwave Technol. 8 (2) (1990).

[Ligler2008] Frances Ligler, Chris Taitt, *Optical Biosensors, Today and Tomorrow*, 2nd Edition, ISBN: 9780080564944, 2008

[Ling23]. Ling, Z.; Wang, M.; Wang, J.; Ye, Z. Application of biosensor surface immobilization methods for aptamer. Chinese J. Anal. Chem., 2011, 39, 3, 432-438.

- [López61] Manuel Silva-López et. Al. *Strain and temperature sensitivity of a SM polymer optical fiber*, OptLett2005
- [Lorenzo9] Carmen Alvarez- Lorenzo and Angel Concheiro, Handbook of Molecularly Imprinted Polymers, Ed. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, UK: Smither Rapra Technology Ltd, 2013
- [LucrariGalatus2013] Lorant Szolga, Ramona Galatus, Emil Voiculescu, Optoelectronică – Îndrumator de laborator, UTPress, 2013, ISBN 978-973-662-858-0 (romana)
- [Mantis2018] https://www.mantisdeposition.com/fileadmin/user_upload/documents/brochures/QUBE.pdf
- [MediTechGalatus2007] Roxana Lucaciu, Lucia Dican, Ramona Galatus, Corina Ionescu, M. Bojita, The evolution of patients with bone metastased prostate adenocarcinoma în the OFF-therapy periods, în 1st International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology, MediTech2007, 2007.
- [Mendez32] Alexis Mendez, T. Morse, Specialty Optical Fibers Handbook, 2009, ISBN 978-0-12-369406-5
- [MicroringGalatus1] J Valles, R. Galatus, Optimized Design of Yb3+/Er3+-Codoped Phosphate Microring Resonator Amplifiers, Chapter 7 în "Some Advanced Functionalities of Optical Amplifiers", Edited by Sisir Kumar Garai, ISBN 978-953-51-2237-1 link open access: <https://www.intechopen.com/books/some-advanced-functionalities-of-optical-amplifiers/optimized-design-of-yb3-er3-codoped-phosphate-microring-resonator-amplifiers>
- [Moraleda66] Alberto Tapetado Moraleda *A Temperature Sensor Based on a POF Macro-Bend*, Sensors 2013, 13
- [Moura3] José M.F. Moura, What Is Signal Processing?, 2008 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5230869> (accesat în August 2018)
- [Nezlin21]. Nezlin, R. Aptamers în immunological research. Immunol. Lett. 2014, 162, 252-255.
- [OpSensSolution63] OpSensSolution, OTG-A Fiber Optic Temperature Sensor, <https://opsensolutions.com/products/fiber-optic-temperature-sensors/otg-a/>
- [OptimGalatus98] Viorel Trifa, Richard Marschalko, Ambrus Szekely, Csaba Szasz, Ramona Galatus, Investigation Of A Four Phase Switched Reluctance Motor Supplied From A Pwm Inverter, OPTIM'98, Proceedings of the 6th International Conference on Optimization of Electric and Electronic Equipments, Brasov, vol. 2, pp. 341-344, 1998.
- [Orghici2010] R. Orghici, et al. A microring resonator sensor for sensitive detection of 1, 3, 5-trinitrotoluene (TNT), Sensors, 10(7), p. 6788-6795, (2010).
- [OrglightEchipamente] <http://orglight.granturi.ubbcluj.ro/rezultate/profilometru/>, <http://orglight.granturi.ubbcluj.ro/rezultate/sistem-caract-fotovoltaice/>, <http://orglight.granturi.ubbcluj.ro/rezultate/simulator-solar/> și <http://orglight.granturi.ubbcluj.ro/rezultate/spin-coater/>
- [Ossila2018] Solar Cells: A Guide to Theory and Measurement <https://www.ossila.com/pages/solar-cells-theory> și <https://www.ossila.com/pages/organic-photovoltaics-introduction#Fabrication>
- [Ossila27] <https://www.ossila.com/pages/organic-photovoltaic-opv-and-organic-light-emitting-diode-oled-fabrication-manual>
- [Palai69] P. Palai, M. Satyanarayan, M. Das, K. Thyagarajan, and B. Pal. Characterization and simulation of long period gratings fabricated using electric discharge. Optics Communications 193(1-6): 181-185, 2001

[Patent2018] Patent invenție „Sistem biosenzor SPR cu scanare unghiulară automată, având o implementare bazată pe cuplajul cu prismă retroreflectoare și microcontroler”, în curs de evaluare. OSIM cod depunere A/00469/27.06.2018 (în evaluare)

[PathologyGalatus] Sampedro Nuño Andrés, Giu Dorina, Galatus Ramona, Calinici Tudor, Colosi Horatiu. Medical Distance Learning în Pathology using structured reporting. XIV Congress of the International Society of Diagnostic Quantitative Pathology, 2001. Editorial Diagnostic Molecular Pathology: from Genomics to Proteomics, 73, Spain,. ISBN: 84-600-9696-3, link <http://www.hca.es/huca/web/contenidos/memorias/2001/cientifica/basicos/index.html>

[PED67Galatus2017] UEFISCDI-PED67 -<http://bel.utcluj.ro/~galatusr/PED67UEFISCDI.html>, director contract Galatus Ramona

[Photonics21] European Technology Platform Photonics21 – Raport „Europe’s age of light!”, 2017, www.photonics21.org, LINK <https://www.photonics21.org/2017/photonic21-vision-paper-%E2%80%9Ceuropa%E2%80%99s-age-of-light%21-how-photonic-will-power-growth-and-innovation%E2%80%9C/>

[PhotonicsGalatus 58] N Cennamo, R Galatus, F Mattiello, R Sweid, L Zeni, Design of surface plasmon resonance sensor în plastic optical fibers based on nano-antenna arrays, *Procedia Engineering* 168, 880-883, 2016

[PhotonicsGalatus 61] Ramona Galatus, Nunzio Cennamo, Emil Voiculescu Optimal Design of D-type Plastic Fibers for best sensitivity of SPR Sensors, în *INTERDISCIPLINARY RESEARCH în ENGINEERING: STEPS TOWARDS BREAKTHROUGH INNOVATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, vol. 8-9, pp. 563-573, 2013.

[PhotonicsGalatus55] C Cristea, M Tertis, R. Galatus Magnetic Nanoparticles for Antibiotics Detection, *Nanomaterials* 2017, 7(6), 119; doi:10.3390/nano7060119

[PhotonicsGalatus56] Cennamo, F. Mattiello, R. Galatus, E. Voiculescu, L. Zeni, Plasmonic sensing în D-shaped POFs with Fluorescent optical fibers as light sources, *IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement*, 2017, Vo 67, Issue 4, DOI: 10.1109/TIM.2017.2745018

[PhotonicsGalatus57] R. Galatus, B. Feier, C. Cristea, N. Cennamo, L. Zeni SPR-based Hybrid Electro-Optic Biosensor for Beta-Lactam Antibiotics Determination în Water, *SPIE Optics+Photonics 2017*, San Diego, USA, 6-10 August 2017

[PhotonicsGalatus59] Galatus, Daniel Moga, Victor Cojocaru, Nunzio Cennamo, Luigi Zeni, Fuzzy control system based on spr-pof fiber sensor for chlorine monitoring în water 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-59-9 / ISSN 1314-2704, June 28 - July 6, 2016, Book2 Vol. 2, 895-900 pp, <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article8402&lang=en>

[PhotonicsGalatus60] N. Cennamo, R. Galatus, L. Zeni Experimental results for characterization of a tapered plastic optical fiber sensor based on SPR, în *SPIE Optics+ Optoelectronics*, pp. 95061V-95061V-6, 2015.

[PhotonicsGalatus62] Nunzio Cennamo, Letizia De Maria², Cristina Chemelli², Maria Pesavento³, Antonella Profumo³, Ramona Galatus⁴, and Luigi Zeni¹ Surface Plasmon Resonance Sensor în Plastic Optical Fibers. Influence of the Mechanical Support Geometry on the Performances, Springer International Publishing AG 2018 B. Andò et al. (eds.), *Sensors, Lecture Notes în Electrical Engineering* 431, pp135, DOI 10.1007/978-3-319-55077-0_18

[PhotonicsGalatus63] C. Cristea, A. Florea, R. Galatus, E. Bodoki, R. Sandulescu, D. Moga, D. Petreus Innovative immunosensors for early stage cancer diagnosis and therapy monitoring, în *IFMBE Proceedings*, vol. 42, pp. 47-50, 2014.

[PhotonicsGalatus64] Ramona GALATUS, Lorant SZOLGA, Emil VOICULESCU Sensitivity enhancement of a D-shape SPR-POF Low-cost sensor using graphene, in International Journal of Education and Research, vol. 1, no. 11, pp. 1-6, 2013.

[PhotonicsGalatus65] Ramona Galatus, Paul Farago, Tiberiu Marita, and Luigi Zeni, Integrated System SPR Array Sensors based on Side Glow MMA Fibers, Advanced Photonics 2018 (BGPP, IPR, NP, NOMA, Sensors, Networks, SPPCom, SOF) OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2018), Optical Sensors 2018, Zurich Switzerland, 2–5 July 2018, ISBN: 978-1-943580-43-9 •<https://doi.org/10.1364/BGPPM.2018.JTu2A.80>

[PhotonicsGalatus66] R. Galatus, J. Valles Optimized design of high-order series coupler Yb³⁺/Er³⁺ codoped phosphate glass microring resonator filters SPIE Photonics Europe, 98891D-98891D-6, 2016

[PhotonicsGalatus67] Juan Valles, Ramona Galatus Modeling of Yb³⁺/Er³⁺-codoped microring resonators, in OPTICAL MATERIALS, vol. 41, pp. 126-130, 2015.

[PhotonicsGalatus68] Juan Valles, R. Galatus Requirements for Gain/Oscillation in Yb³⁺/Er³⁺-Codoped Microring Resonators, in OPTICAL COMPONENTS AND MATERIALS XII, vol. 9359, 2015.

[PhotonicsGalatus69] Ramona Galatus, Juan Valles, Optimized Design of Yb³⁺/Er³⁺-Codoped Cross-Coupled Integrated Microring Resonator Arrays, in PHOTONIC FIBER AND CRYSTAL DEVICES: ADVANCES in MATERIALS AND INNOVATIONS in DEVICE APPLICATIONS VIII, vol. 9200, 2014.

[PhotonicsGalatus70] Juan Valles, R. Galatus Analysis of Yb³⁺/Er³⁺-Codoped Microring Resonator Cross-Grid Matrices, in PHOTONICS NORTH 2014, vol. 9288, 2014.

[PhotonicsGalatus71] Juan Valles, Ramona Galatus Highly Yb³⁺/Er³⁺-Codoped Waveguide Microring Resonator Optimized Performance, in IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol. 25, no. 5, pp. 457-459, 2013.

[PhotonicsGalatus72] R. Galatus, P. Farago, P. Miluski Distributed fluorescent optical fiber proximity sensor, Spectroscopy of luminescence materials, Luminescence materials for light sources, special session COST Action MP1401 (accepted). Poland, XIV the INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOLECULAR SPECTROSCOPY, Bialka Tatrainska 2017, <http://www.icms.agh.edu.pl/download/ICMS2017%20-%20Book%20of%20Abstracts.pdf>

[PhotonicsGalatus73] R. Galatus, E. Voiculescu Distributed active optical fiber sensor, for bending measurement, in Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), vol. 6883 LNAI, no. PART 3, pp. 493-498, 2011.

[PhotonicsGalatus74] Ramona V Galatus, Lorant Szolga, Emil Voiculescu DISTRIBUTED BENDING MEASUREMENT SENSOR, in Acta Technica Napocensis. Electronica-Telecomunicații, vol. 52, no. 3, pp. 10-13, 2011.

[PhotonicsGalatus75] Ramona Galatus, e. Voiculescu, Marina Topa, Fiber optic sensor for bending measurement, in Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, vol. 57, no. 6, pp. 81-86, 2011.

[PhotonicsGalatus76] Ramona Galatus*a, Paul Faragoa, Juan Vallesb Optical Data Transmission with Plastic Scintillating Fibers, SPIE Photonics Europe 2018, 22-27 April 2018, Strasbourg, France (accepted)

[PhotonicsGalatus77] Paul Farago, Ramona Galatus, Sorin Hintea, Juan C. Martin, Juan Valles Fluorescent Fiber Implementation of a High-resolution Distributed Position Sensor, SPIE Photonics Europe 2018, 22-27 April 2018, Strasbourg, France.

[PhotonicsGalatus78] Ramona Gălătuș, PaulFaragó, Piotr Miluski, Juan-Antonio Valles Distributed fluorescent optical fiber proximity sensor: Towards a proof of concept, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and

Biomolecular Spectroscopy, Volume 198, 5 June 2018, Pages 7-18, doi:<https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.02.044>

[PhotonicsGalatus79] P. Faragó, R. Gălătuș, M. Cîrlugea, S. Hintea, Fluorescent fiber implementation of an angle sensor, ICTON2018, Bucurestiu Julie 2018, <https://www.itl.waw.pl/en/conferences/icton/299-icton-2018/1505-icton-2018-preliminary-programme>, <http://icton2018.upb.ro/programme/>

[PhotonicsGalatus80] Cecilia Cristea, Florin Graur, Ramona Galatus, Calin Vaida, Doina Pisla, and Robert Sandulescu, Nanobiomaterials for Cancer Diagnosis and Therapy, Capitol carte în "Nanobiomaterials: Applications în Drug Delivery", editori Anil K. Sharma, Raj K. Keservani, Rajesh K. Kesharwani, ISBN 9781771885911, 2017, link <https://www.crcpress.com/Nanobiomaterials-Applications-in-Drug-Delivery/Sharma-Keservani-Kesharwani/p/book/9781771885911>

[Piletsky11]. Piletsky S, Turner A. Molecular imprinting of polymers. Landes Biosciences. 2006. Chapter 6. A new generation of chemical sensors based on MIPs pp 64-74

[PowerElGalatus99] V. Trifa, Ramona Galatus, A. Szekely, Graphical assessment of 8/6 switched reluctance motor performances, în Proceedings of the 10th Symposium on Power Electronics Ee'99, Novi Sad, Yugoslavia, pp. 421-426, 1999.

[Pradhan17]. Pradhan S, Boopathi M, Kumar O, Baghel A, Pandey P, Mahato T.H, Singh B, Vijayaraghavan R. Molecularly imprinted nanopatterns for the recognition of biological warfare agent ricin. Biosensors and Bioelectronics. 2009;25(3):592-598

[Prince47] B.J. Prince, A.W. Schwabacher, P. Geissinger, A readout scheme providing high spatial resolution for distributed fluorescent sensors on optical fibers, Anal. Chem. 73 (2001) 1007–1015.

[ProiectDidaTec] Școală universitară de formare inițială și continuă a personalului didactic și a trainerilor din domeniul specializărilor tehnice și ingineresti”, cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013, axa prioritară: 1 „Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere” și domeniul major de intervenție: 1.3 „Dezvoltarea resurselor umane din educație și formare”, prezentare - http://ctmtc.utcluj.ro/sites/didatec/_SitePages/Platforma.aspx și <http://www.didatec.ro/Lists/Courses/DispForm.aspx?ID=512&Source=%2FLists%2FCourses>

[ProiectManagement6831] Managementul sistemelor logistice: manualul calificării, în cadrul proiectului "Studii universitare de masterat în domeniul Inginerie și Management", POSDRU/18/1.2/G/6831), membru expert pe termen lung, director contract prof Farcas Doru

[ProiectMaster **RO-4096**] DEZVOLTAREA STUDIILOR LA NIVEL DE MASTER PENTRU INFORMATICA MEDICALA (1998-2002), Programul de Reforma a Invatamantului Superior și Cercetării RO-4096, director contract prof Stefan Tigan, <http://old.uefiscdi.ro/Public/cat/459/RO--4096-1996--2002.html> echipa: http://ro4096.uefiscsu.ro/componenta3/echipa.php?id=188&unitate=componenta3_cnscis (accesat la 13 iulie 2018)

[PV_Krebs2013] Prof. Frederik C. Krebs, Markus Hösel, Michael Corazza, Bérenger Roth, Dr. Morten V. Madsen, Dr. Suren, A. Gevorgyan, Dr. Roar R. Søndergaard, Dr. Dieter Karg, Dr. Mikkel Jørgensen, Freely available OPV—The fast way to progress, First published: 02 July 2013, <https://doi.org/10.1002/ente.201300057>

[RpPhotonics1] <https://www.rp-photonics.com/waveguides.html>

[RpPhotonics30] <https://www.rp-photonics.com/fibers.html>

[Salivages2018] ERANET-SALIVAGES, „Abordări tehnologice inovative pentru validarea AGEs salivare (Prođușilor Finali de Glicozilare Avansată) ca noi biomarkeri în evaluarea factorilor de risc în bolile relaționate

cu dieta” (2018-2021), coordonator UMF – Conf dr Aranka Ilea, <https://salivages.wordpress.com/team/> și respectiv raportul pe primul an de implementare <http://www.meddent.umfcluj.ro/images/fisiere/salivages/2.%20Raport%20tiinific%20%20a1%20Proiectului%20SALIVAGES-2017.pdf>

[SanJoseGalatus99] V. Trifa, R. Galatus, A Simulink model of the 4-phase switched reluctance motor drive, în Proceedings of the 28th Annual Symposium on IMCSD, SanJose, USA,, pp. 13-19, 1999.

[SASGalatus2016] Galatus Ramona Voichita ; Emil Voiculescu ; Nunzio Cennamo ; Luigi Luongo ; Luigi Zeni Augmented workplace for SPR sensor application, Sensors Applications Symposium (SAS), 2016 IEEE, Catania, Italy, IEEEExplore, DOI: 10.1109/SAS.2016.7479824 , <http://ieeexplore.ieee.org/document/7479824/>

[Schasfoort7] Richard B. M. Schasfoort, Handbook of Surface Plasmon Resonance, 2nd ed., Ed. Croydon, United Kingdom: CPI Group (UK) Ltd, 2017

[Schirhagl13]. Schirhagl R. Bioapplications for molecularly imprinted polymers. Analytical Chemistry. 2014;86:250-261

[Scintillating37]Scintillating Optical Fibers, http://www.crystals.saint-gobain.com/sites/imdf.crystals.com/files/documents/sgc-scintillation-fiber_0.pdf, Accessed date: 11 January, 2017.

[SensorsGalatus2013] Nunzio Cennamo, Davide Massarotti, Ramona Galatus, Laura Conte, Luigi Zeni, Performance Comparison of Two Sensors Based on Surface Plasmon Resonance în a Plastic Optical Fiber, în SENSORS, vol. 13, no. 1, pp. 721-735, 2013. (ISI)

[SenzoriGalatus2016] Ramona Galatus, Nicolae Puscas, Tiberiu Marita, Senzori Optici: concepte fundamentale și aplicatii, ISBN 978-606-17-0748-5, Editura Casa Cartii de stiinta, 2016.

[Shen X10]. Shen X, Xu C, Ye L. Molecularly imprinted polymers for clean water:analysis and purification. Industrial and Engeneering Chemistry Research. 2013;52 (39): 13890–13899

[SIITMEGalatus20081] A. Grama, D. Petreus, R. Galatus, I. Ciocan ,Equivalent Model Study of Supercapacitors Behavior, în International Symposium for Design and Technology of Electronic Packaging (SIITME 2008), pp. 50-54, 2008.

[SIITMEGalatus20082] R. Galatus, D. Petreus, I. Ciocan, A. Grama, Supercapacitors study: modeling and sizing,, în International Symposium for Design and Technology of Electronic Packaging (SIITME 2008), pp. 55-59, 2008.

[SIITMEGalatus20171] P. Farago, R. Galatus, N. Tosa, G. Olteanu Low-cost Quasi-distributed Position Sensing Platform based on Blue Fluorescent Optical Fiber, 2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology în Electronic Packaging (SIITME), 26-29 October, Constanta, România, 2017

[SIITMEGalatus20172] E. Galatus,P. Farago,N. Cennamo, C. Cristea SPR Based Hybrid Electro-Optic Biosensor Platform, based on side emitting plastic PMMA optical fiber, 2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology în Electronic Packaging (SIITME), 26-29 October, Constanta, România, 2017

[SIITMEGalatus20173] L.A. Szolga ; R. Galatus ; G. Oltean ; L. Ivanciu, Intrusion detection system based on plastic optical fiber, 2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology în Electronic Packaging (SIITME), 26-29Oct2017, DOI: 10.1109/SIITME.2017.8259935

[SMOSCs2017] ORGLIGHT: SELF-ORGANIZED PI-CONJUGATED SYSTEMS AS ACTIVE CONSTITUENTS FOR SINGLE-MATERIAL ORGANIC SOLAR CELLS (SMOSCs), Director proiect, Dr Jean C. H. Roncali, Group Linear Conjugated Systems, CNRS, Moltech-Anjou, University of Angers, France. link <http://orglight.granturi.ubbcluj.ro/> (<http://orglight.granturi.ubbcluj.ro/echipa-de-implementare/>).

[Smuc22]. Smuc, T.; Ahn, I.Y.; Ulrich, H. Nucleic acid aptamers as high affinity ligands în biotechnology and biosensorics. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 2013, 81-82, 210-217.

[Socrates1] Socrates IP 1998, 1999, 2000 (Director: Prof. Dr. A.Achimaş (UMF Cluj-Napoca): “Telemedicine and distance learning”;

[Socrates2] Socrates CDA 1998, 1999, 2000 (Director: Prof.Dr. Ş.Țigan (UMF Cluj - Napoca): “Master Degree în Medical Informatics.

[Song65] Jia Song, *OFDR: sensing range extension and enhanced temperature sensitivity*, PhD Thesis, Ottawa, 2014

[SPIEGalatus2007] S. Ghinoiu, L. Puscas, E. Rotaru, R. Galatus, N. Puscas, Evaluation of the attenuation and the optical coupling between optical fibers and waveguides, în *Proceedings of SPIE- Advanced Topics în Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies III*, vol. 6635, pp. U334-U340, 2007, DOI: 10.1117/12.742123 .

[SPIEGalatus2009] L. Puscas, E. Rotar, R. Galatus, N. Puscas, Modelling of the Bragg gratings fabricated on Er(3+)-doped Ti:LiNbO(3) optical waveguides, în *ADVANCED TOPICS în OPTOELECTRONICS, MICROELECTRONICS, AND NANOTECHNOLOGIES IV*, vol. 7297, 2009.

[SPIEGalatus2013] N. Cennamo, M. Pesavento, G. D'Agostino, R. Galatus, L. Bibbo, L. Zeni Detection of trinitrotoluene based on SPR în molecularly imprinted polymer on Plastic Optical Fiber, în *SPIE- FIFTH EUROPEAN WORKSHOP ON OPTICAL FIBRE SENSORS*, vol. 8794, 2013. (ISI)

[SPIEGalatus2017] Cennamo, M Pesavento, L De Maria, R Galatus, F Mattiello, L Zeni , Comparison of different photoresist buffer layers în SPR sensors based on D-shaped POF and gold film, *SPIE-25th International Conference on Optical Fiber Sensors*, 24-28 April 2017, Jesu, South Korea, DOI: 10.1117/12.2265603

[SRIMA2000] “Informatică și statistică aplicate în medicină, Ed SRIMA, 2000, ISBN 973-98591-6-X”,

[SRIMA2003] “Informatică Medicală Aplicată, ISBN 973-8296-09-9., Ed SPRIMA, 2003”

[SRIMA2004] “Aplicatii de Informatică Medicală și Biostatistică, ISBN 973-85285-3-4, Ed SPRIMA 2004”.

[Tang1986] Tang, C. W. Two-layer organic photovoltaic cell. *Appl. Phys. Lett.* 48, pp183–185, 1986.

[TaylorGalatus2009]. Liliana Puscas, Ramona Galatus, Nicolae Puscas, Theoretical Study of the Statistică Properties of Single- and Double-Pass M-Mode Er3+-Ti:LiNbO3 Straight Waveguide Amplifiers, în *FIBER AND INTEGRATED OPTICS*, vol. 28, no. 2, pp. 170-178, 2009.

[TCF50] TCF 50 - forced air Oven, <https://www.argo-lab.com/ovens/41100202/tcf-50-forced-air-oven-capacity-50lt-with-digital-control.htm>

[thorlabs28] <https://www.thorlabs.com/search/thorsearch.cfm?search=optical%20fibers>

[Thorlabs60] Fiber Polishing Supplies, https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1350
Accessed date: 11 January 2017

[Tombelli20]. Tombelli, S.; Minunni, M.; Mascini, M. Analytical applications of aptamers. *Biosens. Bioelectron.*, 2005, 20, 2424-2434.

[TRANS-SUPERCAP 2008] “Sisteme electrice optimizate energetic pentru transportul terestru utilizind baterii și super-condensatori (TRANS-SUPERCAP), code 21018, 2008-2009, beneficiar CNMP, <http://www.afer.ro/cercetare%20-%20dezvoltare/nouaabordare.html>”, având ca director pe Conf. Nicolae

Palaghita de la Departamentul de Electronica aplicata, Facultatea ETTI-UTCN, în care am fost membru de proiect în anul 2008

[Tuerk25]. Tuerk, C.; Gold, L. Systematic evolution of ligands by exponential enrichment: RNA ligands to bacteriophage T4 DNA polymerase. *Science*, 1990, 249, 4968, 505-510.

[Vahala2004] K. Vahala, *Optical microcavities*, World Scientific, (2004).

[VIASAN] VIASAN, "Medical Algorithms - Diagnosis and Treatment" (2003-2004) contract sustinut de Romanian Academy of Medical Sciences, http://www.med-online.ro/eng/contact/umf_informatica.php (director contract prof dr Nicolae Miu/UMF)

[Vollmer2008] F. Vollmer, S. Arnold, Whispering-gallery-mode biosensing: label-free detection down to single molecules, *Nature methods*, 5(7), 591-596, (2008).

[Vollmer2010] F. Vollmer, *Optical microresonators: label-free detection down to single viral pathogens*, SN DOI 10.2.1201002 (2010).

[Wang15]. Wang S, Ge L, Li L, Yan M, Ge S, Yu J. Molecularly imprinted polymer grafted paper-based multi-disk micro-disk plate for chemiluminescence detection of pesticide. *Biosensors and Bioelectronics*. 2013;50(15):262-268

[Weiss40] J.D. Weiss, A Fluorescent Long-Line Fiber-Optic Position Sensor, *Sensors Online*, <http://www.sensormag.com/iot-wireless/a-fluorescent-long-line-fiber-optic-position-sensor> 2005, Accessed date: 29 August 2017.

[Wolfe2018] Philip R. Wolfe, *The Solar Generation: Childhood and Adolescence of Terrestrial Photovoltaics*, Wiley, IEEE Press, 2018

[WorldEnergyResources2016] World Energy Resources, *World-Energy-Resources-Full-report, 2016* <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>

[Wu48] J.L. Wu, Y.T. Wang, A fluorescence optic-fiber temperature sensor using phase locked detection with pulse modulation single reference, *J. Phys. Conf. Ser.* 48 (2006) 101–105.

[Yoshie2011] T. Yoshie, L. Tang, S. Y. Su, Optical microcavity: Sensing down to single molecules and atoms, *Sensors*, 11(2), p. 1972-1991, (2011).

[Yu J16]. Yu J.C.C, Lai E.P.C. Interaction of ochratoxin A with molecularly imprinted polypyrrole film on surface plasmon resonance sensor. *Reactive and Functional Polymers*. 2005;63(3):171-176

[ML] Fisa disciplinei Management Logistic este: <https://etti.utcluj.ro/files/FiseDisciplina/IEcon/46.pdf>