



Universitatea
Transilvania
din Braşov

TEZĂ DE ABILITARE

ASPECTE GENERALE ŞI PARTICULARE ÎN MĂSURĂTORILE ELECTRONICE

DIN DOMENIUL NANOMATERIALELOR

Domeniu: Inginerie electronică, telecomunicații și tehnologii informaționale

Autor: Conf. Dr. FLOROIAN LAURA

Universitatea Transilvania din Braşov

BRAŞOV, 2025

CUPRINS

A. Rezumat	4
Summary	9
B. Realizările științifice, profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	14
B.1. Realizări profesionale	14
B.2. Realizări științifice	20
Capitolul I.	
Straturi subțiri cu aplicații în electronică și medicină – obținerea și caracterizarea lor	20
I.1. Nanotehnologii avansate de obținere de straturi subțiri cu ajutorul laserului în pulsuri	22
I.1.1. Depunerea cu ajutorul laserului pulsat	22
I.1.2. Evaporarea ajutorul laserului pulsat asistată de o matrice	26
I.1.3. Metoda de depunere combinatorială cu ajutorul laserului pulsat	28
I.2. Obținerea și caracterizarea de filme subțiri	29
I.2.1. Obținerea și caracterizarea de straturi subțiri de TiN, ZrC, ZrN cu aplicații în electronică	29
I.2.2. Obținerea și caracterizarea de filme subțiri nanostructurate de biosticlă, polimer și agent antimicrobian, pentru acoperirea dispozitivelor electronice biocompatibile	37
Capitolul II.	
Sisteme de energie verde - dezvoltarea și caracterizarea lor	47
II.1. Studiul celulelor solare de generația a treia produse în laborator. Trasarea caracteristicii curent - tensiune	50
II.2. Sistem automatizat de determinare a parametrilor celulelor solare	55
II.2.1. Dezvoltarea unui braț robotic pentru măsurarea caracteristicii curent - tensiune a unei celule solare	55
II.2.2. Sistemul de achiziție de date și dispozitivul pentru ridicarea caracteristicii I-V	56
II.3. Studiul îmbătrânirii celulelor fotovoltaice utilizând lumină solară concentrată	62
Capitolul III.	
Sisteme de detecție și control – cu aplicații în medicină	71
III.1. Sistem dinamic cu ordine fracțională de tip insulină – glucoză	71
III.2. Sisteme inovative de detecție în științele vieții cu senzori și biosenzori	79
III.2.1. Metode de detecție și analiză a micotoxinelor	79
III.2.1.1. Analize optice	79
III.2.1.2. Metode bazate pe biosenzori	80
III.2.2. Metode de analiză a metalelor grele	83
III.2.2.1. Senzori electrochimici	83
III.2.2.2. Biosenzori pentru detectarea metalelor grele	83
III.3. Sisteme pentru Telemedicină – Telemonitorizare	86
Capitolul IV.	
Inteligența Artificială aplicată în conducerea autonomă a vehiculelor	87

B.3. Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	95
B.3.1. Dezvoltarea de sisteme inteligente reconfigurabile - suport modern pentru abordarea analizelor electrochimice și spectrale aplicate în științele vieții	97
B.3.2. Dezvoltarea unui demonstrator de celulă fotovoltaică p-i-n și/sau tandem bazat pe materiale avansate	98
B.3.3. Studiul unui tandem nanostructurat absorber / emiter pentru îmbunătățire a eficienței sistemelor termo-fotovoltaice solare	99
Referințe	102

A. Rezumat

Această teză de abilitare reprezintă o sinteză a activităților de cercetare desfășurate de mine de la susținerea tezei de doctorat (2010) până în prezent, și a modului în care dezvoltarea științifică personală a influențat componenta didactică. Sunt sintetizate activitățile bazate pe idei inovatoare lansate încă de la începutul stagiului meu doctoral în cadrul Facultății de Electronică și Telecomunicații, Universitatea "Politehnica" din București și dezvoltate ulterior în cadrul evoluției mele științifice.

În toți acești ani am avut colaborări importante cu cercetători de prestigiu din laboratoare de cercetare din țară și din străinătate, fără de care cu siguranță nu aș fi ajuns la rezultatele obținute.

Pot menționa aici:

- I.N. Mihailescu, C. Ristoscu, și colegii, pe tema metodelor avansate de depunere a straturilor subțiri, Laboratorul de Interacțiuni Laser-Suprafață-Plasmă, Institutul Național pentru Fizica Laserelor, Plasmei și Radiațiilor, București, România,
- G. Stanciu, B. Savu, R. Hristu, pe tema metodelor optice de înaltă rezoluție pentru caracterizarea suprafețelor, Centrul de Microscopie, Microanaliză și Prelucrare a Informațiilor, Universitatea "Politehnica" din București, România,
- V. Lazăr, pe tema biofilmelor microbiene, Departamentul de Botanică - Fizică Microbiologică, Universitatea din București, România,
- M. Badea, M. Moga, pe tema biosenzori, biochimie și medicină, Departamentul de Discipline Fundamentale și Prevenție Clinică, Facultatea de Medicină, Universitatea Transilvania din Brașov, România,
- D. Cotfas, P. Cotfas, pe tema studiilor asupra celulelor solare în lumina concentrată, Departamentul de Electronică, Universitatea Transilvania din Brașov, România
- C. Samoilă, D. Ursuțiu, pe tema funcționalizării suprafețelor pentru aplicații în electronică și medicină, Departamentul de Electronică, Universitatea Transilvania din Brașov, România,
- M. Galca, L. Găman, Facultatea de Medicină Generală, Universitatea de Medicină și Farmaceutică "Carol Davila", București, România,

- C. Wieckert, Y. Baeuerle, D. Wuillemin Laboratorul de Tehnologie Solară al Institutului Paul Scherrer, Villigen, Elveția,
- D. Lieberman, R. Rubin, pe tema energiei solare concentrate, Unitatea de Cercetare Solară, Institutul de Științe Weizmann, Rehovot, Israel,
- R. Chiesa, G. Candiani, N. Pastori, M. Moscatelli, Departamentul de Chimie, Materiale și Inginerie Chimică „Giulio Natta”, Politehnica din Milano, Via Mancinelli 7, 20131, Milano, Italia.

În ultimii ani, necesitatea realizării unor dispozitive electronice performante, în pas cu cerințele din ce în ce mai mari ale societății, a impus un ritm alert în dezvoltarea de noi materiale simple din punct de vedere chimic, sau complexe, nanostructurate, având proprietăți multifuncționale. În multe domenii ale științei și tehnologiei există o tendință spre scara nanometrică sau chiar către nivelul atomic, iar în electronică se înregistrează déjà o tranziție de la microelectronică la nanoelectronică. Această tendință continuă de reducere de scală se manifestă în prezent prin obținerea pe scară largă a unor materiale sub formă de **filme subțiri** cu grosimi de ordinul nanometrilor, cu multiple aplicații în electronică, medicină, telecomunicații, transporturi, etc.

Urmând această tendință, cercetarea desfășurată de mine a fost în parte în domeniul măsurărilor electronice pe straturi subțiri destinate aplicațiilor în electronică și medicină, ocupându-mă simultan atât de nanotehnologii avansate de obținere a straturilor subțiri, cât și de metode de înaltă rezoluție pentru caracterizarea lor.

Aceste filme subțiri nanostructurate de acoperire pot fi necesare de exemplu pentru protecția dispozitivelor biocompatibile cum sunt senzorii, pacemaker-ul, electrozii, conductorii, sondele, stenturile, implanturile osoase sau dentare, etc. Ele sunt importante deoarece pot stopa eliberarea de metal și oxizi de metal în fluidele biologice și deplasarea lor către organele interne și pot proteja împotriva coroziunii, pot accelera biointegrarea (prin utilizarea de materiale bioactive), pot exercita efecte antimicrobiene (prin utilizarea de agenți antimicrobieni), oferind în același timp și posibilitatea de a scădea prețul dispozitivelor (prin folosirea de materiale ieftine, dar fără proprietăți deosebite).

Domaniul măsurărilor electronice a fost dezvoltat pentru nanotehnologii avansate de obținere de straturi subțiri cu ajutorul laserului în pulsuri, și anume: depunerea cu ajutorul laserului

pulsat (Pulsed Laser Deposition - PLD), evaporarea cu ajutorul laserului pulsat asistată de o matrice (Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation - MAPLE) și metoda de depunere combinatorială cu laser pulsat (Combinatorial Pulsed Laser Deposition - C-PLD).

Am aplicat și perfecționat aceste procese pentru obținerea de:

- Straturi de TiN, ZrC, ZrN pentru electronică;
- Filme subțiri nanostructurate pentru acoperirea dispozitivelor biocompatibile.

Am analizat aprofundat structurile obținute pentru a valida oportunitatea folosirii tehnologiilor laser pentru realizarea lor, pentru a găsi condițiile optime de depunere și pentru a le evalua proprietățile. Astfel ele au fost complet caracterizate din punct de vedere fizic, chimic și biochimic, cu metode electronice avansate de măsurare, folosind o serie de tehnici de înaltă rezoluție, independente și complementare:

- microscopia electronică de baleiaj;
- microscopia confocală cu baleiaj laser;
- spectroscopia cu dispersie de energii;
- difracția de raze X;
- spectroscopia de impedanță electrochimică;
- voltametria ciclică;
- spectrofotometria în IR cu Transformată Fourier;
- scrach-testul;
- testele de viabilitate, proliferare și adeziune celulară;
- testele de bioactivitate;
- metode pentru determinarea proprietăților electrice.

Proprietățile cercetate au fost: compoziția chimică și stoichiometria, structura cristalografică și cristalinitatea, morfologia suprafeței, proprietățile mecanice (aderență, rugozitate), proprietățile biologice, proprietățile electrochimice, proprietățile electrice.

Am pus accent și pe evaluarea rezistenței la coroziune a materialelor, parametru important în electronică, de exemplu, în cazul contactelor electrice, dar și în eventualitatea folosirii materialelor la realizarea de dispozitive biocompatibile.

Pe de altă parte, cercetarea mea s-a îndreptat către sistemele de energie verde.

Tematica abordată în această direcție se referă la metode avansate de caracterizare a celulelor solare în lumină solară concentrată, aspecte foarte puțin studiate până acum de oamenii de știință. În acest context cercetările mele sunt orientate pe caracterizarea de filme subțiri semiconductoare cu proprietăți electrice și optice specifice și pe tehnologiile de design de celulă care să conducă la dispozitive optoelectronice cu performanțe ridicate, în regim de fotoelement, și cu preț de cost cât mai scăzut. Astfel am studiat celule solare cu straturi subțiri din materiale semiconductoare anorganice (CdTe și CdS) și organice (ITO și ZnO, ZnPc, Alq3 și PTEDA), cu stabilitate mare a proprietăților în timp, cu o masă cât mai mică și un preț de cost cât mai scăzut. O dată cu scăderea costului de fabricație a celulelor fotovoltaice ar scădea și costul panourilor solare și implicit cel al energiei electrice produse.

Am început cu studiul îmbunătățirii calității și performanței structurilor fotovoltaice existente prin creșterea eficienței conversiei radiației solare în energie electrică utilizând concepte inovatoare pentru captarea și cuplarea luminii. Aceste direcții de cercetare s-au bazat pe utilizarea suprafețelor nanostructurate cu ajutorul laserului, din materiale cu potențial pentru industria fotovoltaică.

Foarte important este și studiul “îmbătrânirii” structurilor în timp, concentrarea luminii permițând pe de o parte studiul îmbătrânirii celulelor și calculul timpului de viață în experimente pe durata câtorva zile (în loc de circa 25 ani cât funcționează o celulă) și pe de altă parte studiul funcționării în condiții extreme, știut fiind faptul că celulele solare pot fi utilizate atât în aplicații terestre, pentru a alimenta diferite sisteme cât și în aplicații spațiale pentru alimentarea sateliților, a navelor spațiale etc.

Caracteristicile celulelor studiate au fost obținute cu ajutorul unui program realizat în mediul de programare grafic LabVIEW, în urma unei cercetări aplicate pe diferite tipuri de celule solare, moment în care a apărut ca o necesitate dezvoltarea unui braț robot pentru măsurarea caracteristicii curent - tensiune în lumină solară concentrată, necesitate dictată de dezvoltarea unor temperaturi foarte mari în zona iluminată, fapt care impune ca expunerea să fie controlată și pe o durată extrem de mică. Întregul sistem, care este o combinație între electronica digitală, electronica analogică și achiziția de date, a fost testat cu succes în obținerea caracteristicii curent – tensiune, chiar și în medii cu perturbare electromagnetică mare.

Am reușit astfel:

- Trasarea caracteristicilor I-V pentru diferite tipuri de celule solare în lumină concentrată, la diferite niveluri de iluminare solară (1-1000 de sori), la temperaturi diferite și la lungimi de undă diferite (VIS-IR);
- Determinarea corelației dintre parametrii de depunere folosind nanotehnologii cu laser pulsant și proprietățile optice și electrice ale straturilor;
- Determinarea proprietăților și parametrilor celulelor solare în energie solară concentrată: curentul de scurtcircuit, eficiența celulară, potențialul de circuit deschis, factorul de umplere, puterea maximă, rezistența serie și șuntul;
- Studiul îmbătrânirii celulelor fotovoltaice utilizând lumină solară concentrată.

O altă direcție în care mi-am îndreptat cercetarea în ultimii ani este legată de realizarea de sisteme de detecție și control cu aplicații în electronică și medicină, și anume:

- Sistem dinamic cu ordine fracțională de tip insulină – glucoză;
- Sisteme inovative de detecție în științele vieții cu senzori și biosenzori;
- Sisteme pentru Telemedicină – Telemonitorizare.

Iar pentru că acum este epoca **Inteligenței Artificiale**, am reușit o abordare diferită pentru problema navigației autonome: am folosit o rețea neuronală recurentă pentru a modela dinamica mediului în care se află un robot. Dinamica mediului, în contextul acestui studiu, se referă la obstacolele dinamice prezente în scenă, iar o rețea neuronală recurentă s-a dovedit a fi un model capabil să surprindă dependențe temporale și să proceseze date secvențiale (de exemplu, obiecte care se mișcă în scenă). Prin încorporarea datelor istorice sub forma observațiilor anterioare ale senzorilor mobili, ea a îmbunătățit acuratețea și robustețea unui algoritm de predicție a coliziunilor, în special în medii complexe și nestructurate.

Din primăvara anului 2018 am devenit **coordonatorul centrului de cercetare** Sisteme pentru Controlul Proceselor din cadrul Institutului de Cercetare – Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov. În acest context, coordonez (și lucrez alături de) o echipă formată din 23 cadre didactice și 31 doctoranzi, care dezvoltă în prezent cercetări în diverse arii tematice asociate domeniilor Ingineria sistemelor, Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale, Calculatoare și Tehnologia Informației, Mecatronică și Robotică.

Summary

This habilitation thesis is a synthesis of my research activities since supporting the doctoral thesis (2010) to the present and the way in which personal scientific development influenced the didactic component. There are synthesized activities based on innovative ideas launched from the beginning of my Ph.D. in the Faculty of Electronics and Telecommunications, "The Politehnica" University of Bucharest, and later developed in my scientific evolution.

In all these years I have had important collaborations with prestigious researchers from research laboratories in the country and abroad, without whom I certainly would not have achieved the results obtained. I can mention here:

- I.N. Mihailescu, C. Ristoscu, and colleagues, on advanced methods for thin film deposition, Laser-Surface-Plasma Interactions Laboratory, National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bucharest, Romania,
- G. Stanciu, B. Savu, R. Hristu, on high-resolution optical methods for surface characterization, Center for Microscopy, Microanalysis and Information Processing, "Politehnica" University of Bucharest, Romania,
- V. Lazăr, on microbial biofilms, Department of Botany - Microbiological Physics, University of Bucharest, Romania,
- M. Badea, M. Moga, on biosensors, biochemistry and medicine, Department of Fundamental Disciplines and Clinical Prevention, Faculty of Medicine, Transilvania University of Braşov, Romania,
- D. Cotfas, P. Cotfas, on studies on solar cells in concentrated light, Department of Electronics, Transilvania University of Braşov, Romania
- C. Samoilă, D. Ursuțiu, on the topic of surface functionalization for applications in electronics and medicine, Department of Electronics, Transilvania University of Braşov, Romania,
- M. Galca, L. Găman, Faculty of General Medicine, "Carol Davila" University of Medicine and Pharmacy, Bucharest, Romania,
- C. Wieckert, Y. Baeuerle, D. Wuillemin Solar Technology Laboratory of the Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland,
- D. Lieberman, R. Rubin, on the topic of concentrated solar energy, Solar Research Unit, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel,
- R. Chiesa, G. Candiani, N. Pastori, M. Moscatelli, Department of Chemistry, Materials and

Chemical Engineering "Giulio Natta", Politehnica of Milan, Via Mancinelli 7, 20131, Milan, Italy.

In recent years, the need to produce state-of-the-art electronic devices, in line with the growing demands of society, has imposed a rapid pace in the development of new, chemically complex, or nanostructured materials with multifunctional properties. In many areas of science and technology, there is a trend towards nanoscale or even atomic levels, and electronics is now experiencing a transition from microelectronics to nanoelectronics. This continued downward trend of scale is currently being achieved by large-scale nanomaterial thin films with multiple applications in electronics, medicine, telecommunications, transport, and so on.

Following this trend, my research has been partly in the field of electronics measurements on thin layers built for electronics and medical applications, dealing both with advanced nanotechnologies of thin films and high-resolution methods for their characterization.

These nanostructured thin film coatings may be required, for example, to protect biocompatible devices such as sensors, pacemakers, electrodes, conductors, probes, stents, bone or dental implants, etc. They are important because they can stop the release of metal and metal oxides in biological fluids and move them to internal organs and can protect against corrosion, accelerate bio-integration (by using bioactive materials), can exert antimicrobial effects (through the use of antimicrobial agents), while offering the possibility of lowering the price of devices (by using cheap materials but without special properties).

The field of electronic measurements has focused on advanced nanotechnologies for thin layers obtained using a pulsed laser, namely pulsed laser deposition (PLD), matrix-assisted pulsed laser evaporation (MAPLE-Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation), and Combinatorial Pulsed Laser Deposition (C-PLD).

We have applied and perfected these processes to obtain:

- TiN, ZrC, ZrN thin films for electronics;
- Nanostructured thin films for coating biocompatible devices.

We have thoroughly analyzed the structures obtained to validate the use of laser technologies for their realization, find optimal deposition conditions, and evaluate their properties. In this way, they were completely physically, chemically, and biochemically characterized with advanced electronic measurement methods, using a number of independent and

complementary high-resolution techniques:

- Scanning Electron Microscopy;
- Confocal Laser Scanning Microscopy;
- energy dispersion spectroscopy;
- X-ray diffraction;
- electrochemical impedance spectroscopy;
- Infrared Fourier Transform spectrophotometry;
- scratch test;
- cell viability, proliferation, and cell adhesion assays;
- bioactivity tests;
- methods for determining electrical properties.

The investigated properties were: chemical composition and stoichiometry, crystallographic structure and crystallinity, surface morphology, mechanical properties (adhesion, roughness), biological properties, electrochemical properties, electrical properties.

We have also emphasized the evaluation of the corrosion resistance of materials, an important parameter in electronics, for example in the case of electrical contacts, but also in the event of materials being used in the development of biocompatible devices.

On the other hand, my research turned to green energy systems.

In this context, my research is focused on the characterization of thin semiconductor films with specific electrical and optical properties and on cell design technologies that lead to optoelectronic devices with high performance, in the photocell regime, and with the lowest possible cost. Thus, I studied solar cells with thin layers of inorganic (CdTe și CdS), and organic (ITO and ZnO, ZnPc, Alq3 and PTCDA) semiconductor materials, with high stability of properties over time, with the lowest possible mass and the lowest possible cost. With the decrease in the manufacturing cost of photovoltaic cells, the cost of solar panels would also decrease and implicitly that of the electrical energy produced.

I started with the study of improving the quality and performance of existing photovoltaic structures by increasing the efficiency of converting solar radiation into electrical energy using innovative concepts for capturing and coupling light. These research directions were based on

the use of nanostructured surfaces with the help of laser, from materials with potential for the photovoltaic industry.

It is also very important to study the "aging" of structures over time, concentrating light by allowing the study of cell aging and lifetime calculation in experiments over several days (instead of around 25 years as a cell works) and on the other hand study of the operation in extreme conditions, knowing that solar cells can be used both in terrestrial applications to supply different systems as well as in space applications for the supply of satellites, spacecraft, etc.

Characteristics of the studied cells were obtained using a program developed in the LabVIEW graphic programming environment, following research applied on different types of solar cells, when it became necessary to develop a robot arm for measuring the current characteristic - light voltage concentrated solar power, a necessity dictated by the development of very high temperatures in the illuminated area, which requires the exposure to be controlled for an extremely short duration. The entire system, which is a combination of digital electronics, analog electronics, and data acquisition, has been successfully tested to achieve the current-voltage characteristic even in environments with high electromagnetic disturbance.

We did the following:

- I-V characteristics for different types of solar cells at different levels of solar illumination (1-1000 suns) at different temperatures and different wavelengths (VIS-IR);
- Determination of the correlation between the deposition parameters using pulsed laser nanotechnologies and the optical and electrical properties of the layers;
- Determination of solar cell properties and parameters in concentrated solar energy: short circuit current, cell efficiency, open circuit potential, fill factor, maximum power, series resistance, and shunt;
- Study of aging of photovoltaic cells using concentrated solar light.

Another direction in which I have directed my research in recent years is related to the development of detection and control systems with applications in electronics and medicine, namely:

- Fractional adaptive control for a fractional – order insulin – glucose dynamic model;

- Innovative detection systems in life sciences with sensors and biosensors;
- Telemedicine and telemonitoring systems.

And because this is the era of **Artificial Intelligence**, we have managed to take a different approach to the problem of autonomous navigation: we have used a recurrent neural network to model the dynamics of the environment in which a robot is located. Environmental dynamics, in the context of this study, refers to the dynamic obstacles present in the scene. Recurrent neural networks are a type of model capable of capturing temporal dependencies and processing sequential data (for example, objects moving in the scene). By incorporating historical data in the form of previous observations of mobile sensors, a recurrent network can improve the accuracy and robustness of a collision prediction algorithm, especially in complex and unstructured environments.

From the spring of 2018, I became the coordinator of the Systems for Process Control research center within the Research - Development Institute of the Transilvania University in Braşov. In this context, I coordinate (and I work with) a team made up of 23 teaching staff and 31 full-time PhD students, who are currently developing research in various thematic areas associated with the fields of Systems Engineering, Electronic Engineering, Telecommunications and Information Technologies, Computers and Information Technology, Mechatronics and Robotics.

B. Realizările științifice, profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

B.1. Realizări profesionale

Am absolvit Facultatea de Fizică a Universității din București în anul 1995 și în anul 2010 am susținut **teza de doctorat** intitulată *Studii asupra nanostructurilor de biosticlă obținute prin procesare laser, folosind tehnici optice de înaltă rezoluție*, în cadrul Universității POLITEHNICA din București, Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, conducător științific prof. dr. fiz. Gheorghe Stanciu.

Din acel moment, pe postul didactic de asistent am condus lucrări de laborator de Fizică Generală și seminarii, având ore cu studenți de la diverse programe de studiu ale universității noastre: Automatică și Informatică Aplicată (AIA), Electrotehnică Generală (ET), Electromecanică (EM), Design industrial (DI), Ingineria sudării (IS), Construcții aerospațiale (CA), Mașini unelte și sisteme de producție (MUSP) și Medicină (M), la disciplina Fizică.

Am fost titulara a trei cursuri predate studenților din programul de studiu Inginerie Fizică:

- Tehnici spectroscopice de analiză;
- Metalografie și analiză de imagine;
- Spectroscopie și laseri.

Am condus de asemenea și seminariile și laboratoarele aferente acestor cursuri, pentru care am pregătit materiale didactice în format electronic și publicate pe platforma de e-learning a universității precum și lucrări de laborator, devenind responsabilă laboratoarelor de Tehnici spectroscopice de analiză și Metalografie și analiză de imagine.

Promovând pe postul didactic de șef lucrări am deținut funcțiile de:

- Titular disciplină Fizică;
- Șef laborator Fizică;
- Titular disciplină Electronică digitală;
- Șef laborator Electronică digitală.

având ore cu studenții din anul I de la programele de studii: Automatică și Informatică Aplicată (AIA), Tehnologia Informației (TI), Robotică (RO) - la disciplina Fizică și respectiv studenții din anul II de la programul de studiu Electrotehnică Generală (ET) - la disciplina Electronică digitală.

În baza absolvirii Ciclului II – **Studii universitare de Masterat** și a promovării examenului de finalizare a studiilor din sesiunea februarie 2014, am obținut titlul de MASTER în domeniul

Ingineria Sistemelor, programul de studiu SISTEME AVANSATE ÎN AUTOMATICĂ ȘI TEHNOLOGII INFORMAȚIONALE.

Tot în anul 2014 (septembrie) am absolvit un **program postuniversitar de formare și dezvoltare profesională** continuă în domeniul Inginerie Electronică și Telecomunicații, cu titlul Program de formare în blended-learning și tehnologii educaționale moderne pentru învățământul universitar.

Foarte important a fost pentru formarea și dezvoltarea mea profesională și **programul de pregătire postdoctorat**, în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013, Axa prioritară 1 „Educație și formare profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere”, Domeniul major de intervenție 1.5. „Programe doctorale și post-doctorale în sprijinul cercetării”, Titlul proiectului: Burse doctorale și postdoctorale pentru cercetare de excelență, Numărul de identificare al contractului: POSDRU/159/1.5/S/134378. Sub îndrumarea mentorului meu, prof. dr. ing. Cornel Samoilă, membru titular al Academiei de Științe Tehnice din România, am continuat cu succes cercetările începute prin programul doctoral, am învățat multe și am găsit noi căi inovative de aplicare a electronicii și nanotehnologiilor în slujba sănătății oamenilor.

Am promovat apoi pe postul didactic de conferențiar și am deținut în plus funcțiile de:

- Titular disciplină Măsurări și Traductoare;
- Șef laborator Măsurări și Traductoare;
- Titular disciplină Senzori și Sisteme Senzoriale;
- Șef laborator Senzori și Sisteme Senzoriale.

adresate studenților din anul II de la programul de studii Automatică și Informatică Aplicată.

În perioadele menționate am încercat să perfecționez cursurile predate, adaptând continui conținutul științific al acestora la ultimele realizări din domeniile respective. M-am preocupat, deasemenea, de utilizarea unor metode moderne de predare (videoproiector, platforma MOODLE). Pentru ca studenții să aibă la dispoziție, pentru disciplinele predate, materiale sistematizate, coerente, în care cunoștințele să fie introduse gradual, am elaborat următoarele manuale:

- Floroian, L., Moldoveanu, F., Electronică digitală. Logică combinațională, Ed. Universității Transilvania, 2013, 200 pag, ISBN 978-606-19-0247-7;

- Floroian, L., Fizică pentru Automatică - Îndrumar de laborator, Ed. Universității Transilvania, 2014, 120 pag, ISBN 978-606-19-0347-4.

Urmărind ca pregătirea studenților la disciplinele pe care le predau să fie corespunzătoare, am selectat cu atenție lucrările practice (proiecte, lucrări de laborator) și exemplele tratate. Pentru buna desfășurare a activităților aplicative am realizat de noi lucrări de laborator și la amenajat și modernizat noi laboratoare: Laboratorul de Tehnici spectroscopice de analiză, Laboratorul de Metalografie și analiză de imagine și Laboratorul de Fizică.

În tot acest timp am coordonat activitățile de cercetare ale studenților în cadrul cercurilor științifice studențești, precum și lucrări de licență.

În ceea ce privește **activitatea de cercetare**, mi-am îndreptat atenția în special spre domeniul nanotehnologiilor de obținere a straturilor subțiri cu multiple aplicații practice, în electronică și medicină, dar și spre:

- domeniul energiilor regenerabile;
- domeniul automatizării acționărilor electrice;
- domeniul sistemelor bazate pe microcontrolere;
- domeniul sistemelor multiagent;
- domeniul măsurărilor electrice în medicină și
- domeniul protecției mediului
- domeniul inteligenței artificiale.

Activitatea de cercetare în toate aceste domenii s-a concretizat prin participarea în calitate de **director/coordonator partener** la 7 granturi/contracte de cercetare la nivel național și internațional:

1. Contract nr. 60 PTE/2025, PN-IV-P7-7.1-PTE-2024-0335, PNCDI IV, Programul 5.7: Parteneriate pentru Inovare, Subprogramul 5.7.1: Parteneriate pentru competitivitate, Proiect de transfer la operatorul economic *NANOmed: O abordare industrială pentru integrarea nanotehnologiei în implanturile ortopedice*, finanțator UEFISCDI, perioada de desfășurare: 2025-2027, director de proiect;
2. Contract nr. MC 13/29/10/2020, PN-III-P1-1.1-MC-2020-0051, Programul Dezvoltarea sistemului național de cercetare – dezvoltare, *Nanocompoziții de acoperire a unui implant și*

procedeu de funcționalizare a suprafeței unui implant cu astfel de nanocompoziții de acoperire, finanțator UEFISCDI, perioada de desfășurare: 2020, director de proiect;

3. Contract nr. 31/15.05.2020, Proiect de cercetare științifică, *Platformă IoT centralizată pentru un sistem de identificare ce folosește carduri RFID*, beneficiar S.C. ELCATE S.R.L., perioada de desfășurare: 2020, director de proiect;
4. Contr. nr. 146PED/2017, Programul 2: Creșterea competitivității economiei românești prin cercetare, dezvoltare și inovare, Subprogramul 2.1. Competitivitate prin cercetare, dezvoltare și inovare – Proiect experimental demonstrativ, *Smart surface functionalization of titanium and stainless-steel implants*, finanțat de UEFISCDI, perioada de desfășurare: 2017-2018, director de proiect;
5. Contract nr. 228296/2012, grant European, program: Solar Facilities for the European Research Area, CORDIS FP7-INFRASTRUCTURES, *Evaluation of the solar concentrated charger possibilities in very fast charging of supercapacitors*, stagiul 2013, acces la facilitățile Weizmann Institute din Rehovot, Israel, coordonator pentru UNITBV;
6. Contract nr. 228296/2012, grant European, program: Solar Facilities for the European Research Area, CORDIS FP7-INFRASTRUCTURES, *Improving the performances of new nanostructures processed by laser techniques for use in concentrated light applications*; stagiul 2013, acces la facilitățile Weizmann Institute din Rehovot, Israel, coordonator pentru UNITBV;
7. Contract nr. 228296/2012, grant European, program: Solar Facilities for the European Research Area, CORDIS FP7-INFRASTRUCTURES, *Evaluation of the performances of new nanostructures processed by laser techniques for use in photovoltaic and biomedical applications*, stagiul 2012, acces la facilitățile Weizmann Institute din Rehovot, Israel, coordonator pentru UNITBV.

De asemenea, am participat ca **membru** în 7 granturi/contracte de cercetare la nivel național și internațional:

1. Contract nr. 489 PED / 2020, PNCDI III, Programul 2: Creșterea competitivității economiei românești prin cercetare, dezvoltare și inovare, Subprogramul 2.1. Competitivitate prin

- cercetare, dezvoltare si inovare - Proiect experimental demonstra-tiv, *Method of obtaining antimicrobial flexible screen protectors*, membru în colectiv;
2. Contract nr. 47 PCCDI/2018 (PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017- 0871); Durata proiectului: 2018-2021, *Noi direcții de dezvoltare tehnologică și de utilizare a materialelor nanocompozite avansate*, membru în colectiv.
 3. Contract nr. 228296/2012, grant European, program: Solar Facilities for the European Research Area, CORDIS FP7-INFRASTRUCTURES, *The study of the evolution of the photovoltaic cells parameters during the ageing process using the concentrated light and the temperature*- stagiul 2014, access la facilitățile Paul Scherrer Institute din Villigen, Elveția, membru în colectiv;
 4. Contract nr. 228296/2012, grant European, program: Solar Facilities for the European Research Area, CORDIS FP7-INFRASTRUCTURES, *Study of combined photovoltaic cell/thermoelectric element/solar collector in medium and highly concentrated light* - stagiul 2016, access la facilitățile Paul Scherrer Institute din Villigen, Elveția, membru în colectiv;
 5. Contr. nr. 2402/2009 (DEMPEC 220/03.04.2009); tip program: contracte cu alți parteneri; tip proiect: cercetare-dezvoltare-inovare, *Sistem de supraveghere bazat pe microcontrolere AVR și senzori nano-structurați*; beneficiar SC ELCATE SRL Brașov; membru în colectiv;
 6. Contract nr. 72-172/01.10.2008/ 2008-2011, grant MCT, program: Parteneriate în domeniile prioritare, competiția a 2-a, modul I – Proiecte de Cercetare Dezvoltare Complexe, *Tehnici de înaltă precizie și sensibilitate aplicate în rețele de biomonitorizare a poluării mediului cu factori poluanți din zonele de dezvoltare de sud, sud-est și centrală ale României*, finanțat de Autoritatea Națională pentru Cercetare Științifică; beneficiar: Universitatea Transilvania din Brașov; membru în colectiv;
 7. FP7 program, Contract 245199/2007-2011, grant European, *Plant Food Supplement-Level of Intake, Benefit and Risk Assesement*, beneficiar: Universitatea Transilvania din Brașov; membru în colectiv;

Finalizarea cercetărilor mele au permis obținerea a **3 brevete de invenție** naționale:

1. **L. Floroian**, M. Badea, C. Samoilă, D. Floroian, C. Ristoscu, N. Mihailescu, I. Negut, I. N. Mihailescu, Nanocompoziții de acoperire a unui implant și procedeu de funcționalizare a suprafeței unui implant cu astfel de nanocompoziții de acoperire, BI RO 131045 A1 (CBI A/00981/08.12.15).

2. D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, D. Floroian, **L. Floroian**, Metodă și dispozitiv de testare accelerată a timpului de îmbătrânire a celulelor fotovoltaice – ARCL, BI RO 130952 A0 (CBI A/00557/31.07.15).
3. **L. Floroian**, C. Ristoscu, N. Mihailescu, Structură de implant, film subțire de acoperire dublu-strat și procedeu de funcționalizare a suprafeței implanturilor osoase și dentare, BI RO 132310 (CBI A/00333/2017).

și, de asemenea, elaborarea a **37 articole publicate in jurnale cotate ISI** (dintre care 8 în zona roșie a clasamentului și 8 în zona galbenă), a unui număr de 32 articole publicate in jurnale clasificate BDI și în cadrul unor manifestări științifice naționale și internaționale.

Indicele Hirsh este 14 în baza de date Clarivate Analytics, 14 în baza de date Scopus și 16 în baza de date Google Scholar.

Pentru evaluarea prestigiului profesional consider ca fiind semnificativă prezența mea la aceste importante conferințe internaționale, precum și cele **313 citări** în publicații indexate în sistemul Clarivate Analytics.

Tot la acest subiect, pot accentua și faptul că sunt membru în colectivul de redacție a jurnalului Research and Reviews in Materials Science and Chemistry, ISSN: 2319-6920, și că am efectuat recenzii ale unor articole din prestigioase reviste internaționale, cum ar fi: Biosensors and Bioelectronics, Electrochemica Acta, Jurnal of Solar Energy Engineering - Transaction of the ASME, Applied Surface Science.

Amintesc, de asemenea, afilierea mea ca membru la 5 societăți științifice internaționale:

- Romanian Society of Automation and Technical Informatics;
- National Society of Medical Engineering and Technological Biology;
- International Association of Online Engineering;
- Romanian Society of Physics
- Societatea de Robotică din România.

B.2. Realizări științifice

I. STRATURI SUBȚIRI CU APLICAȚII ÎN ELECTRONICĂ ȘI MEDICINĂ – obținerea și caracterizarea lor

Ritmul actual al dezvoltării științei și tehnicii a determinat o creștere a importanței Științei Materialelor pe plan mondial prin dezvoltarea de noi materiale și tehnici care să răspundă cerințelor tot mai mari ale industriei electronice și medicale, a telecomunicațiilor sau transporturilor. Domeniul “nano” în știința materialelor a introdus însă și o necesitate suplimentară în studiile întreprinse și anume aceea a măsurărilor electronice adaptate la această scală. Trecerea de la măsurările clasice din Știința Materialelor la cele specifice scalei atomice, a condus la relevarea multor proprietăți și comportamente ale materialelor care la scara macro sau micro nu se manifestau.

În ultimii ani, necesitatea realizării unor dispozitive electronice performante, în pas cu cerințele din ce în ce mai mari ale societății, a impus un ritm alert în dezvoltarea de noi materiale simple din punct de vedere chimic, sau complexe, nanostructurate, având proprietăți multifuncționale. Această rapidă și amplă dezvoltare tehnologică a condus la creșterea continuă a performanțelor materialelor, ajungându-se la ultima limitare care este dată de frontiera fizică a unui material cu anumite proprietăți.

În multe domenii ale științei și tehnologiei există o tendință spre scara nanometrică sau chiar către nivelul atomic, mai ales în electronică, care este deja în tranziție de la microelectronică la nanoelectronică. Tranzistori cu dimensiuni critice de aproape un nanometru sunt acum în producție, iar PC-urile de consum redus au devenit dispozitive reale nanoelectronice. De asemenea, în multe alte domenii progresul spre nano-scala este în curs de desfășurare.

Un motiv suplimentar pentru tendința către scara atomică este faptul că proprietățile materialelor sunt în cele din urmă determinate de structura atomică. Pentru a înțelege proprietățile materialelor este necesar să se coboare până la scara nano sau atomică. Cu toate acestea, din moment ce atomii sunt foarte mici, cu 50 de ani în urmă majoritatea oamenilor au crezut că probabil nu va fi niciodată posibil să abordăm materialele la această scară. Feynman a prevăzut în 1959 că nanotehnologia este posibilă în principiu și ar fi foarte utilă, dar la acea vreme tehnologia pentru imagistica și controlul materiei la nanoscală nu era inventată.

Această tendință continuă de miniaturizare a dus la necesitatea obținerii pe scară largă a unor materiale sub formă de **filme subțiri** cu grosimi de ordinul nanometrilor, cu multiple aplicații.

De exemplu, *tranzistorii* pe bază de filme subțiri sunt componente electronice fundamentale în aproape toate tipurile de dispozitive cu afișaj electronic, de la telefoane inteligente și diverse gadgeturi, până la televizoare cu diagonală mare și panouri publicitare; au fost obținute *trductoare piezoelectrice* pe bază de filme subțiri nanocompozite ZnO-PSS/PVA cu piezoelectricitate ridicată și proprietăți mecanice favorabile; filmele pe bază de nanoparticule de ZnO utilizate pentru *senzori de gaz* au proprietatea de a-și schimba conductivitatea electrică în timpul expunerii la atmosferă de gaz. Numărul, densitatea și distribuția după dimensiuni a nanoparticulelor care alcătuiesc filmul subțire joacă un rol cheie în aplicațiile de detectare a gazelor. Mecanismul de detectare a gazului depinde de morfologia și temperatura de operare a senzorului, ce ajută la adsorbirea grupărilor - OH pe suprafața nanoparticulelor oxidice.

Straturi subțiri de ZnO și SnO₂, importante *materiale semiconductoare*, au o gamă largă de aplicații, cum ar fi celulele solare, electrice, piezoelectrice sau dispozitive luminescente, senzorii de gaze și senzori chimici.

Proprietățile straturilor subțiri semiconductoare se deosebesc în general de cele ale materialelor masive din care provin. Structura straturilor și grosimea lor determină aceste deosebiri, iar comportarea lor diferită se explică prin existența unor stări energetice locale create la suprafața de separație a stratului.

Pe de altă parte, analizele microscopice ale morfologiei suprafeței straturilor subțiri au arătat că ea nu este plană, ci prezintă neregularități, structura straturilor subțiri fiind formată din granule de dimensiuni variabile, care cresc, de regulă, odată cu creșterea grosimii stratului, dar care depind de condițiile de obținere a stratului. De asemenea proprietățile straturilor depind de condițiile de depunere, adică de natura suportului pe care se depune stratul, temperatura suportului în timpul depunerii stratului, mediul în care se efectuează depunerea, tipul de depunere și nu în ultimul rând, în cazul tehnicii depunerii din soluție, de tipul solventului folosit, densitatea soluției, viteza de rotație a suportului.

Cercetarea desfășurată de mine în cadrul activităților din ultimii ani a fost focalizată pe aplicarea de metode avansate, bazate pe folosirea laserilor pulsați de mare putere, pentru obținerea de straturi subțiri cu diverse aplicații, în special în medicină și electronică.

I.1. NANOTEHNOLOGII AVANSATE DE OBȚINERE DE STRATURI SUBȚIRI CU AJUTORUL LASERULUI ÎN PULSURI

I.1.1. Depunerea cu ajutorul laserului pulsant (PLD)

Pulsed Laser Deposition este o metodă versatilă larg folosită în domeniul producerii de straturi subțiri, în particular din materiale și combinații de materiale care nu pot fi procesate decât cu mari dificultăți prin alte metode. Principalul avantaj al PLD este acela că materiale cu o compoziție oricât de complicată se pot transfera pe un substrat fără schimbarea stoichiometriei. Se poate asigura astfel controlul stoichiometriei materialului din ținta atât în vid cât și în gaze inerte sau reactive. De asemenea se obțin ușor multistructuri, iar grosimea straturilor poate fi controlată cu o precizie foarte bună (fracțiuni de angstromi). Unul dintre neajunsurile metodei PLD este descompunerea materialelor organice sub acțiunea radiației laser UV.

Faptul că fasciculul laser pulsant este capabil să vaporizeze congruent și instantaneu orice material, stă la originea ideii că el poate fi aplicat pentru depunerea de structuri și filme subțiri. Procesul de creștere al stratului subțire nanometric prin PLD se desfășoară în patru etape succesive:

- acțiunea radiației laser asupra țintei (ablația laser);
- dinamica materialului ablat (expansiunea plasmei);
- interacția materialului ablat cu un substrat aflat la o temperatură controlabilă (colector);
- nucleația și creșterea stratului pe suprafața colectorului.

Fiecare etapă este importantă pentru controlarea parametrilor acoperirilor, precum stoichiometria, densitatea, cristalinitatea, uniformitatea și rugozitatea.

Din punct de vedere al măsurărilor electronice aplicate acestor procese, ele fac parte din categoria “post procesare” rolul lor fiind acela de a regla parametrii de depunere astfel încât să se obțină în final produsul dorit. Pentru atingerea acestui scop, orice proces proiectat înseamnă

o serie de măsurări ale rezultatelor obținute, urmată de reglarea acelor parametri ai procesului care au distorsionat rezultatele prin valori neadecvate.

În prima etapă, fascicolul laser este focalizat pe suprafața țintei. Pentru o valoare suficient de mare a intensității laser incidente, toate elementele din țintă sunt rapid încălzite și vaporizate. Un termen frecvent folosit pentru expulzarea substanței sub acțiunea radiației laser intense este „ablația laser”. Acesta își are originea în cuvântul latin „ablatum” – a duce cu sine, a transporta. Ablația laser poate fi definită ca un proces de împrăștiere ce conduce la ejecția de ioni, atomi, molecule și chiar clusteri de pe o suprafață și care are ca efect conversia energiei radiației laser prin fotoexcitări electronice sau vibraționale în energie cinetică a particulelor.

Acest proces este caracterizat de obicei de o *fluență de prag* sau *prag de ablație* ϕ_{th} (J/cm²) la depășirea căruia în material se produc modificări macroscopice:

$$\phi_{th} = \frac{E}{S}, \quad (1)$$

unde E este energia fascicolului laser și S aria spotului laser. Acest prag de fluență precum și timpul de termalizare depind de compoziția și structura materialului din țintă și de parametrii de procesare (durata pulsului, lungimea de undă a radiației, etc.).

Instalația experimentală de depunere prin PLD folosită în cercetările experimentale raportate în ultimii ani este prezentată în figurile 1 și 2 [9]. O sursă laser excimer, KrF^* ($\lambda = 248$ nm și $\tau_{FWHM} \approx 7$ ns) generează un puls laser de mare strălucire, care pătrunde printr-o fereastră de cuarț în camera de reacție.



Fig. 1. Instalația experimentală PLD a Laboratorului de Interacțiuni Laser-Suprafețe-Plasmă din Institutul Național de Fizica Laserilor, Plasmei și Radiațiilor

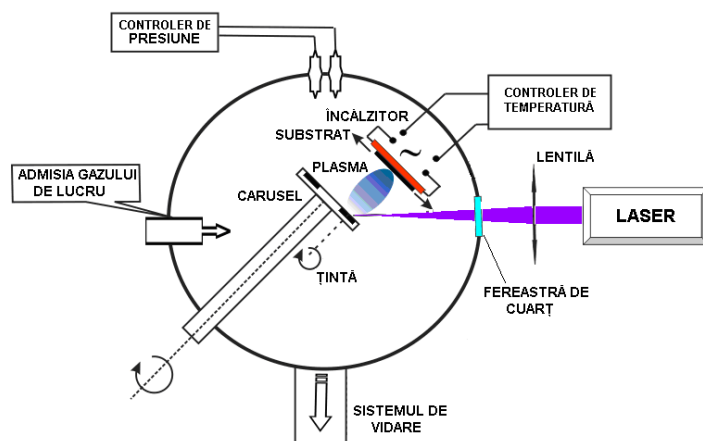


Fig. 2. Montajul general PLD reprezentat schematic

Energia pulsului laser se poate regla în domeniul (5-150) mJ și este monitorizată cu un sistem Coherent format din cap de măsură Model LM-P10i și un analizor de energie Model FieldMaster. Durata pulsului laser este măsurată cu ajutorul unui detector DET210 de la THORLABS și vizualizată cu un osciloscop Tektronix 350D. Forma temporală a pulsului laser folosit în experiențele relatate în continuare este dată în figura 3. Se observă un front de creștere de aproximativ 5 ns și o durată a pulsului la semiînălțime de $\tau_{FWHM} = 7$ ns.

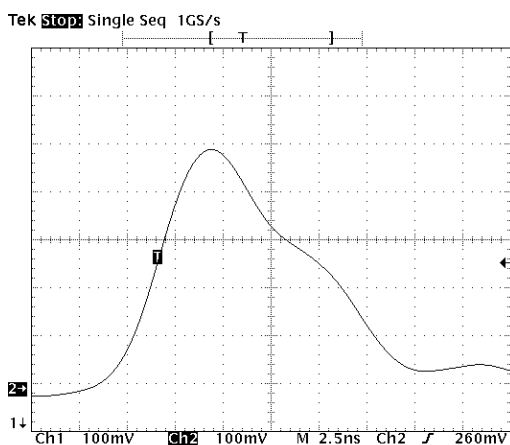


Fig. 3. Forma temporală a pulsului laser folosit

Fascicolul laser este focalizat pe suprafața țintei cu o lentilă cilindrică de MgF_2 depusă antireflex, cu distanța focală de 300 mm, situată în exteriorul camerei de depunere. Unghiul de incidență a fascicolului laser pe suprafața țintei este de 45° . Anterior introducerii în camera de depunere substratul este curățat cu acetonă și alcool etilic, într-o baie cu ultrasunete model Transsonic T310. În timpul depunerii ținta este rotită cu o frecvență de 0.04 Hz pentru a evita găurirea sa.

Procesul de încălzire și răcire a substratului este controlat cu o pantă constantă cu ajutorul unui controler de temperatură model Eurotherm 2146. Răcirea se face în aceeași presiune folosită pe timpul depunerii. Pentru a elimina posibilitatea oricărei contaminări și pentru a garanta puritatea gazului în timpul procesului de depunere, camera de reacție este vidată până la o presiune reziduală de 10^{-4} Pa folosind un sistem de pompaj de vid înalt. El este format dintr-o pompă de vid preliminar model Alcatel SD2033 și o pompă turbo-moleculară model Alcatel ATP400. Pentru a menține constantă presiunea dinamică a gazului ambiant pe durata depunerii se folosește un controler de curgere a gazelor MKS50.

Țintele sunt curățate anterior introducerii în cameră prin metode chimice. Pentru eliminarea contaminării reziduale anterior aplicării trenului de pulsuri pentru obținerea stratului depus, se aplică 1000 de pulsuri consecutive de curățire. Pe durata aplicării lor, între țintă și colector se introduce un ecran pe care se condensează substanța ablată inițială, în care este concentrată cea mai mare parte a impurităților.

Într-un proces de depunere se pot folosi mai multe ținte din același material sau din diferite materiale pentru a obține multistructuri, instalația fiind prevăzută cu un carusel în care se pot monta până la cinci ținte. Folosind această opțiune a instalației de depunere, se evită expunerea acoperirilor la mediul ambiant pe durata experimentului de obținere a unei cu multistructuri. Deschiderea repetată a instalației în acest caz poate sta la originea unor modificări nedorite ale materialului deja depus, prin reacții cu oxigenul sau prin adsorbția de molecule pe suprafață. După depunere probele sunt supuse unui tratament termic (v. fig. 4.) în vapori de apă timp de 6 ore. Pe durata tratamentului probele sunt încălzite la aceeași temperatură ca cea aplicată în timpul depunerii.

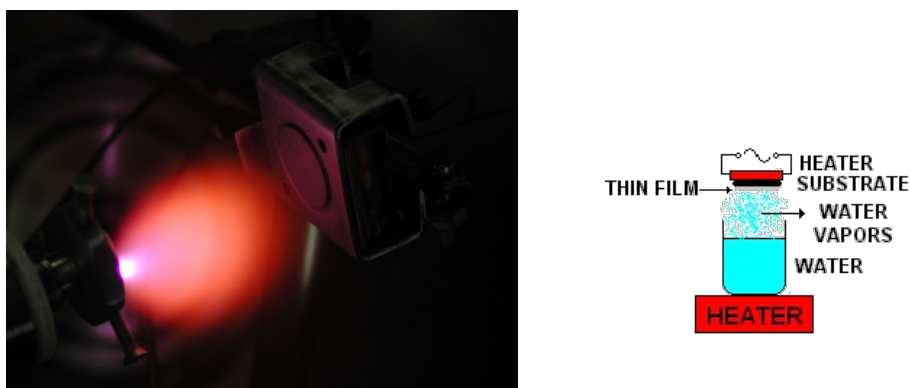


Fig. 4. Plasma formată în timpul depunerii (stânga) și schema montajului tratamentului termic postdepunere (dreapta)

Rolul tratamentului termic postdepunere este acela de a îmbunătăți cristalinitatea acoperirilor și respectiv de a reconstitui/conserva stoichiometria compusului.

Toate procesele de încălzire și răcire se fac cu o rampă constantă de 6 °C/min pentru evitarea stresului termic datorat variației bruște a temperaturii, care poate duce la fisurarea și la apariția unor modificări a stării de cristalinitate a acoperirilor.

I.1.2. Evaporarea ajutorul laserului pulsat asistată de o matrice (MAPLE)

Experimental s-a constatat că aplicarea metodei PLD în cazul polimerilor, biopolimerilor și proteinelor este limitată deoarece se utilizează puteri foarte mari, care pot genera descompuneri fotochimice. Chiar la fluențe relativ joase, multe materiale de acest gen sunt extrem de fotosensibile și se distrug [10-12]. Astfel, în cazul depunerii de materiale organice, se aplică o metodă PLD alternativă, Evaporarea Laser Pulsată Asistată de o Matrice (Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation, **MAPLE**), ce asigură un mecanism mult mai “delicat” de transfer al compușilor cu mase moleculare mari, din faza condensată în cea de vapori. Diferențele dintre PLD și MAPLE constau, în esență, în metoda de preparare a țintei precum și în mecanismul de interacțiune laser-material.

Specifică procesului MAPLE este utilizarea unei ținte compozite criogenice de polimer, biopolimer sau proteină dizolvată într-o matrice de solvent cu o presiune de vapori relativ ridicată. În tehnica MAPLE, interacțiunea radiației laser cu substanța inițiază două procese fototermice: evaporarea țintei compozite înghețate și respectiv ejectarea de material organic. Datorită concentrației scăzute de material organic în ținta compozită (1-5%), are loc evaporarea simultană a substanței și a solventului. Energia fotonilor absorbiți de solvent este convertită în energie termică ce induce încălzirea și evaporarea țintei. Moleculele de material organic (proteine, enzime, polimeri) ating o energie cinetică suficient de mare, care să le permită transformarea în faza gazoasă prin ciocniri colective cu moleculele solventului. Simultan solventul este eliminat din incinta de reacție de către sistemul de pompaj. Prin optimizarea condițiilor de depunere MAPLE (lungime de undă, rată de repetiție, tipul solventului, concentrația, natura și presiunea gazului ambiant), acest proces poate decurge fără

descompunerea semnificativă a materialului organic. O schemă explicativă a mecanismului MAPLE este dată în figura 5.

Atunci când substratul este plasat perpendicular pe direcția plasmei laser, se inițiază depunerea de molecule de material organic, în același timp cu evacuarea din cameră a moleculelor de solvent.

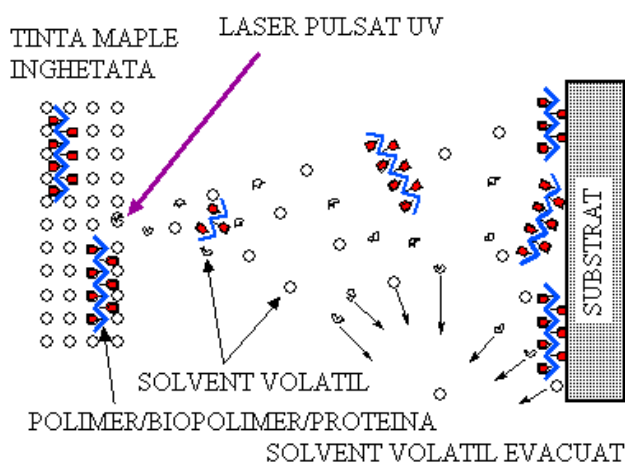


Fig. 5. Schema procesului MAPLE

Extinderea folosirii tehnicii evaporării laser pulsate asistate de o matrice în cazul materialelor organice este adecvată datorită transferului cu înaltă fidelitate structurală a materialului țintei și controlului bun al parametrilor procesului de depunere laser: grosime, rugozitate și omogenitate. Tehnica MAPLE se aplică utilizând montajul experimental din figura 6. Amestecul lichid este convertit în solid (viitoarea țintă MAPLE) prin înghețarea la temperatura azotului lichid (77 K). Procesul criogenic se realizează prin imersarea în azot lichid și/sau prin menținere în contact direct cu un răcitor.

Pentru realizarea depunerii MAPLE se ține cont de următoarele:

- fluența laser trebuie să aibă valori potrivite ($0.1 - 0.5 \text{ J/cm}^2$), mult mai reduse față de cea folosită în experimentele „PLD clasice”;
- energia laser incidentă este absorbită majoritar de moleculele de solvent și nu de moleculele materialului organic;
- solventul trebuie să prezinte o absorbție crescută pentru lungimea de undă laser folosită;
- solventul trebuie ales astfel încât materialul organic să aibă un grad cât mai mare de solubilitate în acesta;

- este de dorit ca solventul să aibă un punct de îngheț cât mai ridicat;
- solventul folosit nu trebuie să producă reacții chimice cu materialul de bază ca efect al iradierii laser.

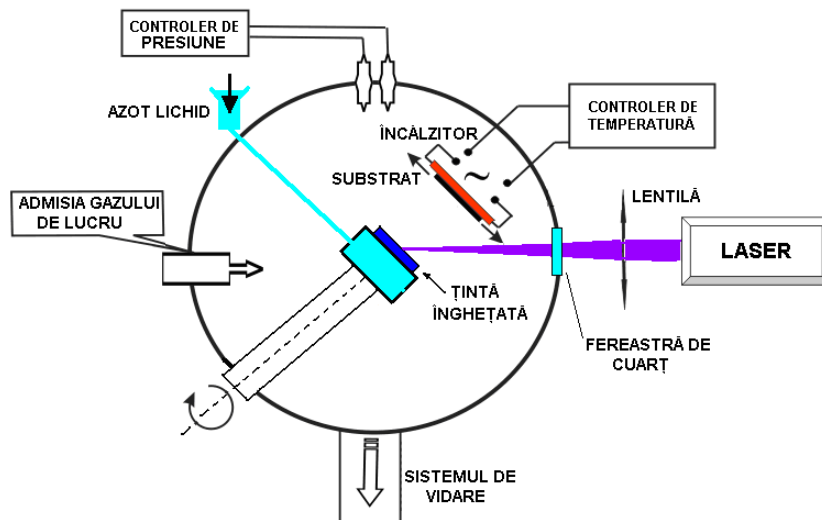


Fig. 6. Montajul general MAPLE

I.1.3. Metoda de depunere combinatorială cu ajutorul laserului pulsant (C-PLD).

Metoda Combinatorial Pulsed Laser Deposition (CPLD) oferă o flexibilitate mare și este folosită pentru modificarea graduală de-a lungul unei axe a compoziției chimice a unui film și crearea unor biblioteci cu gradienti de concentrație. Pe un substrat de câțiva cm^2 , se pot sintetiza în cadrul unui singur experiment câteva mii de compoziții diferite, care se investighează pentru obținerea proprietăților fizice dorite.

În figura 7. este prezentat montajul experimental CPLD. Sistemul carusel cu ținte multiple este poziționat în fața substratului. Suprapunerea filmelor subțiri are loc pe substrat, obținându-se în acest fel o bibliotecă combinatorială.

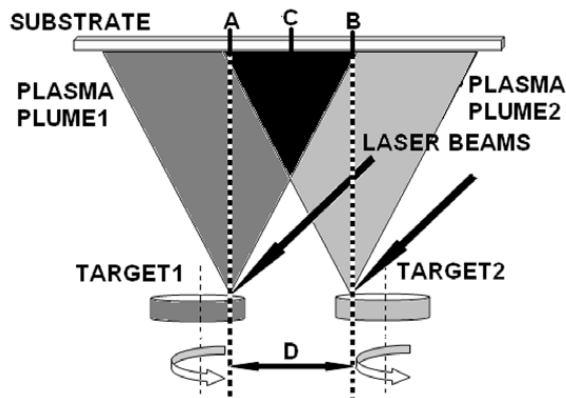


Fig. 7. Montajul experimental CPLD

Metoda CPLD prezintă câteva avantaje clare: ablația laser a materialelor din ținte reprezintă un proces de neechilibru care permite un control riguros al stoichiometriei compoziției din țintă către substrat; depunerile pot fi realizate în vid înalt sau la presiuni scăzute ale gazelor reactive; prin monitorizarea numărului depulsuri laser, se poate controla depunerea materialelor la nivelul stratului atomic, iar prin folosirea unei tehnici de depunere strat cu strat, se poate face design-ul și explora noi sisteme de materiale care nu există în mod natural; se poate obține un număr enorm de compuși binari sau ternari noi, având proprietăți diferite; „bibliotecile combinatoriale” de filme subțiri pot fi sintetizate într-un timp relativ scurt (câteva minute); sistemele CPLD sunt relativ ieftine și pot fi realizate rapid și ușor, cu cerințe de întreținere minime.

I.2. OBȚINEREA ȘI CARACTERIZAREA DE STRATURI SUBȚIRI

I.2.1. OBȚINEREA ȘI CARACTERIZAREA DE STRATURI SUBȚIRI DE TiN, ZrC, ZrN CU APLICAȚII ÎN ELECTRONICĂ ȘI MEDICINĂ

Utilizarea acoperirilor pentru îmbunătățirea proprietăților dispozitivelor, instrumentelor sau suprafețelor este un subiect de cercetare major în întreaga lume. Cercetarea aceasta are o puternică caracteristică interdisciplinară, deoarece acoperă diferite domenii ale științei și ingineriei (știința suprafețelor și materialelor, mecanică, chimie, biologie, tehnologie avansată, informatică), prin utilizarea unor tehnici foarte diferite pentru a obține straturi subțiri și multe metode diferite de investigare pentru studierea proprietăților suprafețelor cu rezoluție atomică.

Nitrurile metalelor de tranziție, cunoscute și ca metale dure refractare, posedă o paletă neobișnuită de proprietăți fizice și chimice, cum ar fi: punct de topire foarte ridicat ($>3000^{\circ}\text{C}$), duritate extrem de mare (30-45 Pa), stabilitate termică ridicată, rezistivitate electrică scăzută, lucru mecanic de extracție scăzut, rezistență la coroziune bună, grad ridicat de biocompatibilitate. Aceste proprietăți le fac atractive atât din punct de vedere fundamental, cât și tehnologic, având o mare diversitate de aplicații [1,2]: bariere de difuzie în micro- și nano-electronică, acoperiri dure rezistente la uzură pentru scule de tăiere, straturi rezistente la abraziune și coroziune depuse pe componente optice și mecanice, acoperiri pentru particule nucleare, implantologie.

În studiul asupra acestor tipuri de filme subțiri s-a utilizat o configurație experimentală tipică metodei de depunere filme subțiri cu ajutorul laserului pulsat (PLD), cu un laser excimer KrF ($\lambda = 248 \text{ nm}$, durata impulsului $\tau = 25 \text{ ns}$, fluență 6 J/cm^2 , rată de repetiție de 40 Hz) pentru iradierea țintelor de puritate ridicată ZrC, ZrN sau TiN, în atmosferă CH_4 sau N_2 . Filmele au fost colectate pe substraturi (100) Si sau Ti polisat, păstrate la temperatura camerei, $\sim 22^{\circ}\text{C}$. Fluența laserului, rata de repetiție și presiunea gazului au fost determinate anterior pentru obținerea de filme structurate nanocristaline cu rezistență ridicată la uzură și cu duritate ridicată [3-5]. Pentru a studia structura filmelor, au fost realizate investigații de difracție de raze X folosind un instrument Empyrean de la Panalytical și s-a lucrat cu radiația $\text{Cu K}\alpha$ într-o geometrie cu fascicul paralel. Densitatea de masă a filmului și rugozitatea suprafeței au fost obținute prin simulări ale curbelor XRR achiziționate cu același instrument. Pentru simulări s-a folosit un software disponibil în comerț (X'Pert Reflectivity) și un model format din două straturi, deoarece filmele depuse au fost mai groase de 250 nm și semnalul substratului nu era vizibil.

Imaginile topografice au fost obținute prin AFM cu un microscop Nanonics MultiView 4000 (contact intermitent) cu o sondă de scanare acoperită cu crom, având o frecvență de rezonanță de 38 kHz și un factor de calitate 1920, utilizată pentru a scana zone cu dimensiuni de $(5 \times 5) \mu\text{m}$. S-au efectuat mai multe scanări pe fiecare eșantion, pentru a obține o valoare reală pentru parametrii de rugozitate (RMS și Ra).

Rezistența la coroziune a probelor goale sau acoperite cu filmele nanometrice a fost investigată prin metode electrochimice de înaltă sensibilitate: voltametrie cu scanare liniară (LSV) și spectroscopie de impedanță electrochimică (EIS), utilizând un potențostat Ptestatostat Autolab PGSTAT100 (Eco Chemie) într-o configurație de trei electrozi cu un electrod de referință calomel

saturat (SCE) și un fir de platină ca și contra-electrod. S-au făcut măsurători în apă, dar și în fluid uman simulat, testând astfel comportarea filmelor în eventualitatea folosirii lor pentru dispozitive ce se introduc în corpul omenesc. SBF are o compoziție ionică identică cu cea a plasmei sanguine (tabelul 1) și a fost preparat prin amestecarea reactivilor, respectând ordinea și cantitățile indicate de formula Kokubo [6]. Un lot de probe cu o suprafață activă de 1 cm² a fost scufundat în lichid și a fost investigat după diferite perioade de imersie, toate măsurătorile fiind efectuate în trei exemplare.

Tabelul 1. Compoziția SBF dată de Kokubo

Ioni	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
Compoziția (mM)	142	5	1.5	2.5	147.8	1	0.5	4.2

Datele LSV au fost înregistrate cu o rată de scanare de 0,04 V/s, treaptă de potențial de 0,008V, iar potențialul de lucru a fost variat de la -0,65 V la +0,15 V vs SCE. Potențialul de coroziune (E_{corr}) și densitatea curentului de coroziune (i_{corr}) au fost calculate folosind metoda Tafel și ecuația Butler-Volmer și apoi a fost estimată rata de dizolvare a metalului sau rata de coroziune, care este dependentă liniar de i_{corr} . Rezistența la polarizare (R_p) a fost, de asemenea, calculată și utilizată pentru a estima rezistența metalului studiat împotriva coroziunii.

Spectrele de impedanță electrochimică au fost înregistrate aplicând un potențial perturbator sinusoidal 10 mV, și făcând măsurători la frecvențe de la 10⁴ la 10⁻¹ Hz, cu rata de scanare de 0,002 V/s, 20 frecvențe / decadă, în configurația cu potențial deschis (OPC). Diagramele Nyquist și Bode au fost reprezentate folosind software-ul FRA 4.9 [7] și s-au determinat parametrii circuitului electric echivalent, având următoarea semnificație: R_s este rezistența electrolitului, R_p este rezistența transferului de sarcină legată de rata reacțiilor de coroziune la OCP și este invers proporțională cu curentul de coroziune, Q este capacitatea reprezentată de elementul de faza constantă (CPE), în timp ce "n" este factorul de rugozitate, unde o valoare "n" de 1 reprezintă o suprafață perfect netedă.

Figura 8 prezintă curbele XRD obținute pe substratul de Ti gol. Picurile de difracție prezente au fost identificate ca aparținând lui α -Ti (notat cu *, ICCD ref. Model 98-007-6144) și unui film subțire de Ti₂O format pe suprafață (notat cu #, ICCD ref. Model 98-009-9784). Rețeaua acestui

oxid este hexagonală, cu $a = 2.919 \text{ \AA}$ și $c = 4.713 \text{ \AA}$, parametrii de rețea de apropiată de ai rețelei α -Ti, $a = 2.906 \text{ \AA}$, $c = 4.667 \text{ \AA}$. Figura 8 prezintă de asemenea curbele achiziționate pentru probele TiN / Ti și TiN / Si. Pentru proba TiN / Ti, pe lângă vârfurile Ti din substrat, a fost identificată prezența unei faze cubice TiN având parametrul de rețea $a = 4,270 \text{ \AA}$ (notat cu \$, modelul ICDD ref. 98-006-4909, densitate calculată $5,40 \text{ g / cm}^3$), structură identică cu cea a filmului TiN depus pe substratul Si.

Curbele obținute pentru probele ZrN / Ti și ZrC / Ti sunt prezentate în figura 2. Pentru proba ZrN / Ti, a fost identificată prezența unei faze cubice ZrN, cu un parametru de rețea $a = 4.630 \text{ \AA}$ (modelul de referință ICDD 98-002-6950, notat în figura 9 cu &). Pentru eșantionul ZrC / Ti, picurile au fost identificate ca aparținând ZrC cubic (modelul de referință ICDD 98-002-6954, $a = 4.760 \text{ \AA}$, notat cu +). Valorile granulației și micro-rezistenței estimate din graficele Williamson Hall obținute din modelele pentru aceste probe sunt de asemenea prezentate în Tabelul 2, pe lângă parametrii de depunere a filmelor.

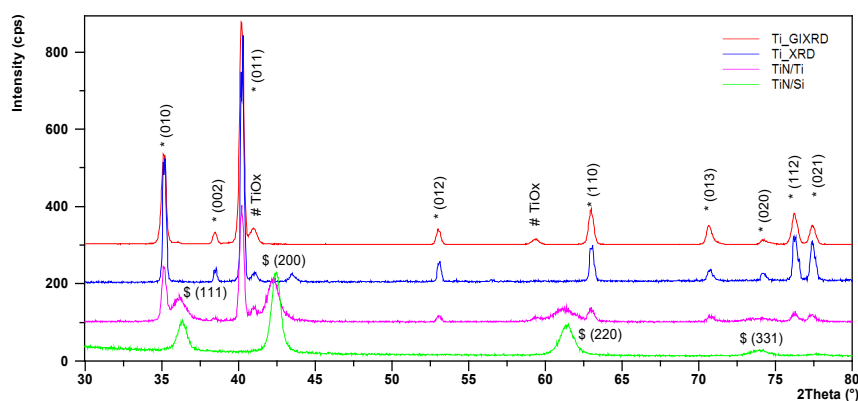


Fig. 8. Difractogramele obținute pentru probele de Ti, TiN / Ti și TiN / Si

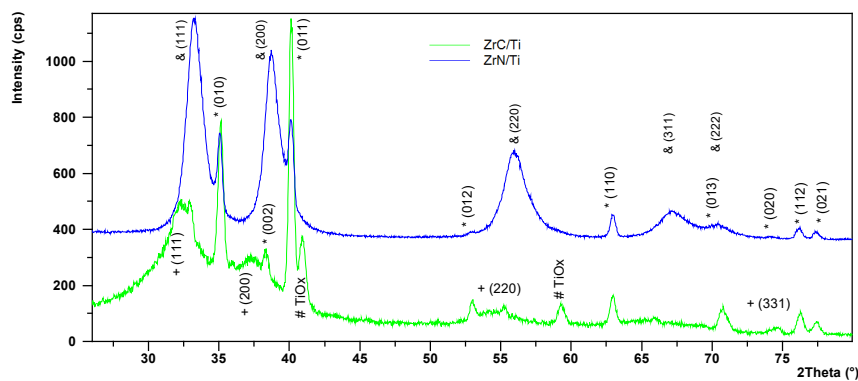


Fig. 9. Difractogramele obținute pentru probele de ZrC/Ti și ZrN/Ti

Rezultatele simulărilor curbelor XRR arată că modelul utilizat a furnizat fitări foarte bune pentru curbele XRR achiziționate, după cum se poate vedea în figurile 10 a și b. Toate probele au fost acoperite cu un strat subțire de contaminare a suprafeței (SCL), de la 2 nm la 3,0 nm grosime.

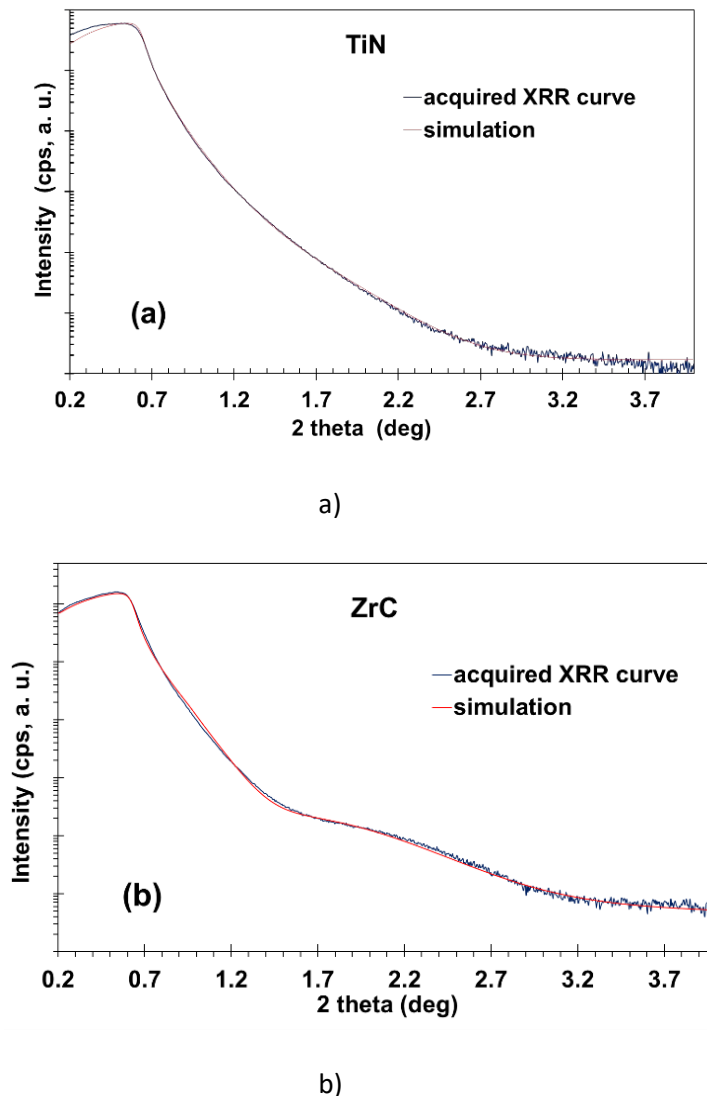


Fig. 10. Exemple de curbe XRR (albastre) și simulări (roșii) pentru TiN/Ti (a) și ZrC/Ti (b)

Grosimea stratului TiN este cea mai ridicată, la 2,2 nm rms, ea fiind doar în jur de 1 nm pentru ZrC și ZrN. Deoarece simulările XRR oferă de fapt o lățime a interfeței de tranziție, s-ar putea concluziona că toate probele sunt acoperite de un strat de contaminare similar, cu grosimea de 2-3 nm, și care prezintă o rugozitate a suprafeței de 1-2 nm.

Tabelul 2. Condițiile de depunere și proprietățile nanofilmelor depuse

Probă	Gaz de lucru	Presiune [Pa]	Număr de pulsuri	Dimensiunea grăunților [Å]	Micro-stres [%]
TiN	N ₂	2x10 ⁻³	40000	121	0.9
ZrC	CH ₄	2x10 ⁻³	40000	46	1.0
ZrN	N ₂	2x10 ⁻³	40000	48	0.3

Studii de coroziune

Linear sweep voltametry (LSV) este o metodă ce permite analiza influenței fluidelor fiziologice asupra mecanismelor de coroziune pe substraturile de Ti goale sau acoperite cu diverse straturi, precum și a ratelor de coroziune. Valorile medii ale parametrilor de coroziune i_{corr} , R_p și E_{corr} pentru probele utilizate sunt raportate în tabelul 3. Analizele LSV ale probelor inițiale au arătat un curent de coroziune mai scăzut, o rezistență mai mare la polarizare și un potențial de coroziune mai bun pentru toate probele de Ti acoperite cu filme subțiri, decât pentru titanul simplu, neacoperit, ceea ce arată o rezistență mai bună la coroziune a filmelor subțiri. Odată ce probele au fost scufundate în electrolit, mai multe procese chimice au apărut la interfața probă - electrolit și valorile parametrilor mășurați s-au schimbat.

După 32 de zile de imersiune în SBF, proba neacoperită de Ti a prezentat un curent ridicat de coroziune (mai mult de două ori valoarea inițială) și o rezistență la polarizare mică (aproape jumătate din valoarea inițială), în timp ce E_{corr} a crescut de 1,77 ori. Aceste schimbări au apărut deoarece ionii de clor au fost adsorbiți de suprafața de Ti, rezultând formarea unui compus oxiclorigic care are defecte în rețea, ceea ce îi conferă o solubilitate mai mare. Are loc ionizarea metalului, iar densitatea curentului de coroziune crește, în timp ce rezistența la polarizare scade, așa cum se poate observa în figura 11.

În acest timp, probele Ti acoperite cu filme subțiri TiN, ZrN și ZrC au prezentat schimbări destul de mici care indică o bună rezistență împotriva coroziunii, fără degradare prin interacțiunea cu fluidele fiziologice care constituie un mediu agresiv datorită prezenței ionilor de clor.

Structura TiN / Ti a fost studiată anterior în grupul nostru de cercetare [2-5] și s-a constatat că ar putea fi o soluție bună pentru acoperirea metalelor. Acum, studiind comparativ și acoperiri cu filme de ZrN / Ti putem concluziona că ele constituie cea mai bună variantă de a realiza protecții anticorozive pentru titan, curentul de coroziune în cazul lor fiind jumătate din curentul de coroziune pentru Ti neacoperit și în același timp aproape neschimbat față de valoarea

inițială. Stratul ZrN a asigurat cea mai bună protecție împotriva coroziunii metalului Ti în soluția SBF (a se vedea tabelul 3 și figura 11).

O concluzie similară a fost obținută după calculul vitezei de coroziune: proba neacoperită de Ti a prezentat o viteză de coroziune de 158 $\mu\text{m}/\text{an}$, în timp ce prin acoperirea ei cu straturile protectoare viteza de coroziune a fost redusă la 72 $\mu\text{m}/\text{an}$ în cazul acoperirilor ZrN / Ti, așa cum se vede în figura 11.

Tabelul 3 Parametrii de coroziune pentru probele analizate

Proba	i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)		R_p ($\text{k}\Omega$)		E_{corr} (mV)	
	inițial	după 32 zile	inițial	după 32 zile	inițial	după 32 zile
Ti	5.90	12.81	20.05	11.69	-253	- 447
TiN/Ti	4.35	6.35	21.86	16.94	-218	- 384
ZrN/Ti	4.29	4.8	28.13	33.39	-207	-213
ZrC/Ti	4.59	6.09	27.02	21.81	-217	-218

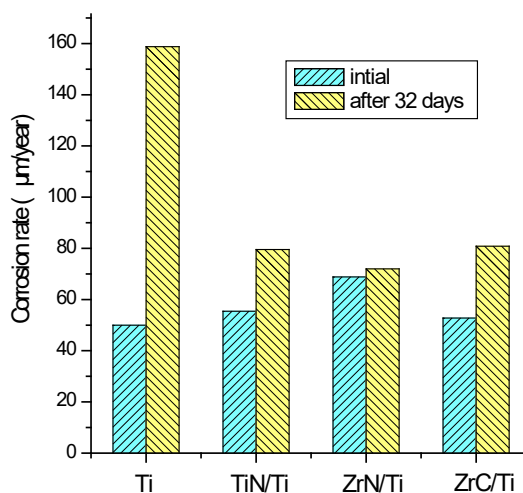


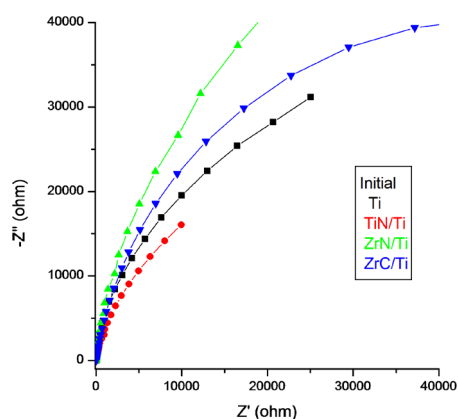
Fig.11. Viteza de coroziune pentru probele analizate

Studii de impedanță electrochimică

Figura 12a prezintă graficele Nyquist înregistrate pe acoperirile depuse. Se poate observa că au avut loc numai procese cu constante de timp unice. Pentru toate loturile, cea mai bună fitare a

curbelor experimentale a fost obținută cu circuitul Randles (figura 12b), care permite găsirea parametrilor electrici ai proceselor asociate cu interfața metal-electrolit. Electrolițul utilizat este SBF, iar măsurătorile au fost efectuate în triplicat pentru diminuarea erorilor.

Inițial există un factor de rugozitate ridicat cu o valoare apropiată de 1, ceea ce înseamnă că eșantioanele au o suprafață compactă și netedă, în concordanță cu rezultatele simulării XRR. Unghiurile de fază au fost mai mari de 80° sugerând că pe suprafețe s-au prezentat filme foarte stabile, cu un comportament similar cu cel al unei impedanțe capacitive pure, în toate cazurile. Probele au avut valori ridicate ale R_p , care indică o bună rezistență la coroziune. Cele mai bune rezultate s-au obținut pentru structura ZrN / Ti, cu R_p de 138,80 k Ω , iar cele mai slabe au fost pentru structura TiN / Ti, ce a avut un R_p mai mic de 45,22 k Ω . Toate filmele depuse au avut o grosime foarte asemănătoare și aceeași suprafață, dar nu aceeași permitivitate electrică și acesta este motivul obținerii de valori diferite pentru parametrii inițiali.



a)

b)

Fig. 12. Diagramele Nyquist ale structurilor inițiale Ti și TiN / Ti, ZrN / Ti, ZrC / Ti (a) și circuitul echivalent Randles (b).

După 3, 7, 13 și 32 de zile de imersare a probelor în electrolit, au fost înregistrate din nou diagramele Nyquist. A fost observată o scădere importantă a razei de curbură a graficelor pentru toate probele. Parametrii circuitului echivalent electric (tabelul 4) s-au modificat semnificativ, iar scăderea semnificativă a factorului de rugozitate n indică faptul că suprafața probelor a fost degradată din cauza coroziunii în SBF.

Unghiurile maxime de fază au scăzut puternic pentru structura pură Ti și TiN / Ti, ajungând după 32 de zile de imersiune la 52° și, respectiv, 58° (valori foarte apropiate de 45° care indică un proces de difuzie pură), ceea ce indică difuzia ionilor metalici din eșantion în lichidul înconjurător, în timp ce pentru structurile ZrN / Ti, structurile ZrC / Ti, unghiurile de fază maximă au rămas la valori ridicate corespunzătoare straturilor capacitive.

Un alt parametru care sugerează un comportament diferit al probelor acoperite cu filme față de cel al Ti neacoperit este rezistența la polarizare. Valoarea sa finală pentru Ti neacoperit, după 32 de zile de imersiune în SBF, a atins o valoare scăzută de 2,53 k Ω / cm², ceea ce înseamnă un curent de coroziune mare și o rezistență slabă la coroziune, în timp ce valorile R_p finale ale tuturor celorlalte probe au fost mult mai mari, indicând rezistență sporită la coroziune.

Aceste rezultate pot fi de asemenea observate în figura 13, care prezintă graficele EIS comparative ale probelor Ti, TiN / Ti, ZrN / Ti, ZrC / Ti după 32 de zile de imersiune. Este evidentă rezistența de polarizare mult mai mică a probei Ti neacoperit (proporțională cu diametrul curbei Nyquist) și faptul că o bună protecție împotriva coroziunii este oferită de acoperiri.

În concluzie, filmele nanostructurate de TiN / Ti, ZrN / Ti, ZrC / Ti s-au sintetizat pe discuri de Ti folosind tehnologia depunerii laser pulsate. Depunerile au fost efectuate la temperatura camerei sub o presiune scăzută în atmosferă de CH₄ sau N₂. Probele acoperite și neacoperite au fost testate împotriva coroziunii pentru o durată de timp de până la 32 de zile. Ratele de coroziune ale probelor acoperite au prezentat după 32 de zile de imersiune aproape jumătate din valoarea măsurată pentru proba de Ti neacoperit. Rezultatele au arătat că acoperirea probelor de titan cu filme subțiri de TiN și mai ales ZrN sau ZrC este o metodă eficientă de creștere a rezistenței metalelor la coroziune.

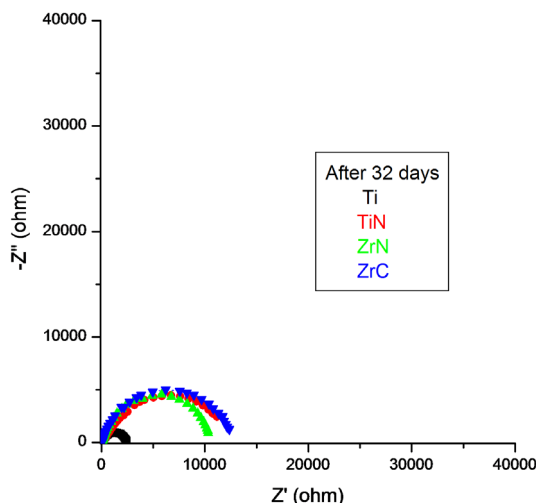


Fig. 13 Graficele Nyquist ale Ti simplu și structurilor TiN / Ti, ZrN / Ti, ZrC / Ti după 32 de zile de imersiune în electrolit la 25 ° C.

I.2.2. OBȚINEREA ȘI CARACTERIZAREA DE FILME SUBȚIRI NANOSTRUCTURATE DE BIOSTICLĂ, POLIMER ȘI AGENT ANTIMICROBIAN, PENTRU ACOPERIREA DISPOZITIVELOR BIOCOMPATIBILE

Medicina ayurvedică este unul dintre cele mai vechi sisteme medicale din lume, exemplu al unui sistem tradițional coerent, care are un algoritm de selecție a plantelor medicinale testat și precis, pe baza mai multor descriptori etnofarmacologici, care îi dau utilizatorului informațiile necesare astfel încât să poată să aleagă în mod adecvat plantele medicinale optime pentru tratamentul anumitor patologii.

S-a încercat o corelare a cunoștințelor tradiționale cu știința biomedicală prin utilizarea plantelor ayurvedice tradiționale cu efect antimicrobian sub formă de **filme subțiri nanostructurate** pentru protecția dispozitivelor biocompatibile, care pot fi senzori, pacemaker, electrozi, conductori, sonde, stenturi, implanturi osoase sau dentare, etc.

Sunt importante aceste filme subțiri de acoperire, deoarece pot stopa eliberarea de metal și oxizi de metal în fluidele biologice și deplasarea lor către organele interne și pot proteja împotriva coroziunii (prin utilizarea polimerului), pot accelera biointegrarea (prin utilizarea de sticlă bioactivă), pot exercita efecte antimicrobiene (prin utilizarea extractelor de plante ayurvedice), oferind în același timp și posibilitatea de a scădea prețul dispozitivelor (prin folosirea de material ieftine, dar fără proprietăți deosebite).

Ca și substrat s-au folosit plăcuțe din oțel inoxidabil (clasă medicală) de $1 \times 1 \text{ cm}^2$, denumite în continuare SS, care au fost acoperite cu nanostructuri de protecție care conțin sticlă bioactivă (în continuare BG), extract ayurvedic și polimer (PMMA).

În primul rând, un strat subțire de PMMA a fost depus prin tehnica MAPLE pe substraturile de SS. PMMA-ul a fost utilizat pe scară largă ca biomaterial atât în aplicații medicale, cât și în unele sisteme optice (lentile de contact cu până la 93% transmisie) [16, 17]. De asemenea, poate fi folosit ca material de bază pentru proteze datorită proprietăților sale adecvate, inclusiv stabilitatea bună în mediul fiziologic, precum ușurința de manipulare și reparare [18].

În al doilea rând, un strat subțire alcătuit din extractul ayurvedic BG + turmeric (T) sau busuioc sfânt (B) - a fost depus pe probe PMMA / SS. Probele finale au fost notate BGT / PMMA / SS (cele cu turmeric) și BGB / PMMA / SS (cele cu busuioc).

BG-ul ales are cea mai bună bioactivitate și biocompatibilitate și conține 56,5% SiO_2 , 15% CaO , 11% Na_2O , 8,5% MgO , 6% P_2O_5 , 3% K_2O , în procente de masă. Acesta este fabricat în conformitate cu protocolul descris în Ref. [19, 20].

Turmericul utilizat în experimente este disponibil în comerț sub formă de capsulă care conține 1100 mg extract Curcuma Longa (curcuminoizi standardizați la 95%) și 5 mg Piper Negru (standardizat până la 95% piperină). La fel, busuiocul pentru experimente este disponibil în comerț și o capsulă conține 800 mg de extract de frunze, standardizate la 2% acid ursolic.

O matrice, constând într-o soluție de PMMA dizolvat în cloroform, a fost utilizată ca și țintă înghețată în depunerea MAPLE a primului strat, conform unui protocol descris în Ref. [21]. Metoda MAPLE este utilizată în cazul polimerilor și al substanțelor delicate deoarece repetă în mod fidel proprietățile și funcționalitatea materiilor prime, fără descompunere fotochimică și daune sub acțiunea directă a impulsurilor laser UV intense.

BG și T sau B s-au dizolvat apoi în etanol și s-au congelat în azot lichid pentru a depune cel de-al doilea strat, cel superior.

Toate experimentele au fost efectuate utilizând o sursă de laser excimer KrF * ($\lambda = 248 \text{ nm}$, $\tau_{\text{FWHM}} \leq 25 \text{ ns}$) care a operat la o frecvență de repetiție de 5 Hz și o fluență de $0,55 \text{ J/cm}^2$. Pentru creșterea fiecărui film subțire, s-au aplicat 5000 impulsuri laser consecutive. Pentru a obține un strat uniform și pentru a evita perforarea, ținta și substratul au fost rotite continuu la 50 rot / min, în timp ce presiunea în interiorul camerei de depunere a fost setată la $2 \times 10^{-2} \text{ mbar}$. De-a

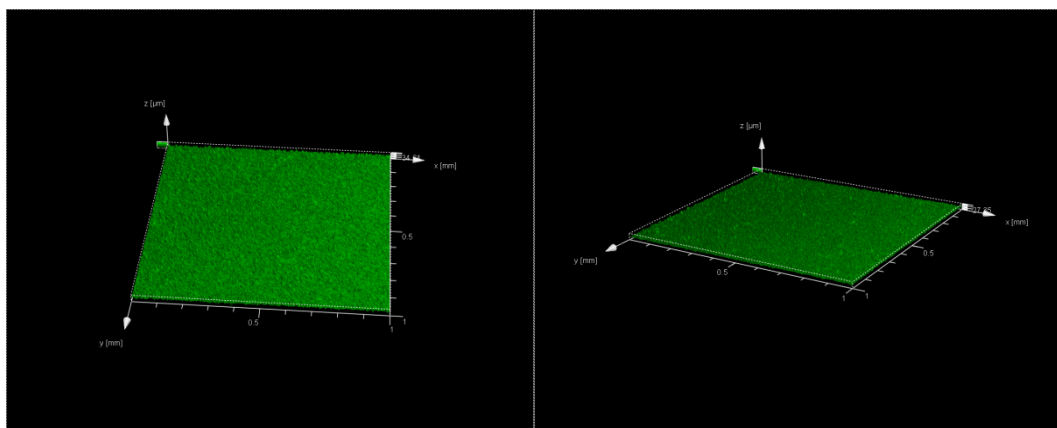
lungul depunerilor, ținta a fost menținută la temperatura azotului lichid utilizând o setare criogenică.

A fost făcută apoi investigarea morfologiei suprafeței, a compoziției chimice și stoichiometriei prin analize CLSM, XRD și GOES pentru toate structurile obținute.

- **Investigarea morfologiei suprafeței prin CLSM**

S-a folosit un sistem Leica TCS SP echipat cu un laser cu He-Ne, având lungimea de undă 633 nm și obiective PL Fluotar (10X, 40X, apertura numerică NA 0,75). Imaginile au fost obținute în modul reflexie, iar procesarea datelor și afișarea au fost făcute de un soft special Leica. S-au ales arii de investigare de 1000 μm x 1000 μm și 80 μm x 80 μm . Pentru fiecare arie și probă am achiziționat o stivă de secțiuni optice și pe baza lor am realizat apoi reconstrucția tridimensională a suprafețelor și topografiei lor. Am selecționat din multitudinea de imagini obținute pe cele mai sugestive, cele realizate cu mărirea 40 X, zoom 3.12, apertura numerică 0.75, pe arii de investigare de 80 μm x 80 μm . Puterea de rezoluție în aceste cazuri este de 422 nm, potrivită pentru analiza caracteristicilor suprafețelor de interes.

Analizele de topografie efectuate cu microscopul confocal cu scanare laser arată uniformitatea straturilor depuse. Imaginile 3D ale filmelor subțiri (fig. 22) arată formarea unor structuri cu o configurație specifică: protuberanțe cu înălțimea maximă 20-30 μm . Faptul că suprafețele nu sunt netede, ci au aspectul descris mai sus, favorizează biocompatibilitatea, care crește semnificativ cu aria specifică a biofilmelor depuse. Într-adevăr, o suprafață cu rugozitate mai mare datorată protuberanțelor, determină o viabilitate și o proliferare mai mari pentru celulele crescute aici, o adeziune celulară mai pronunțată.



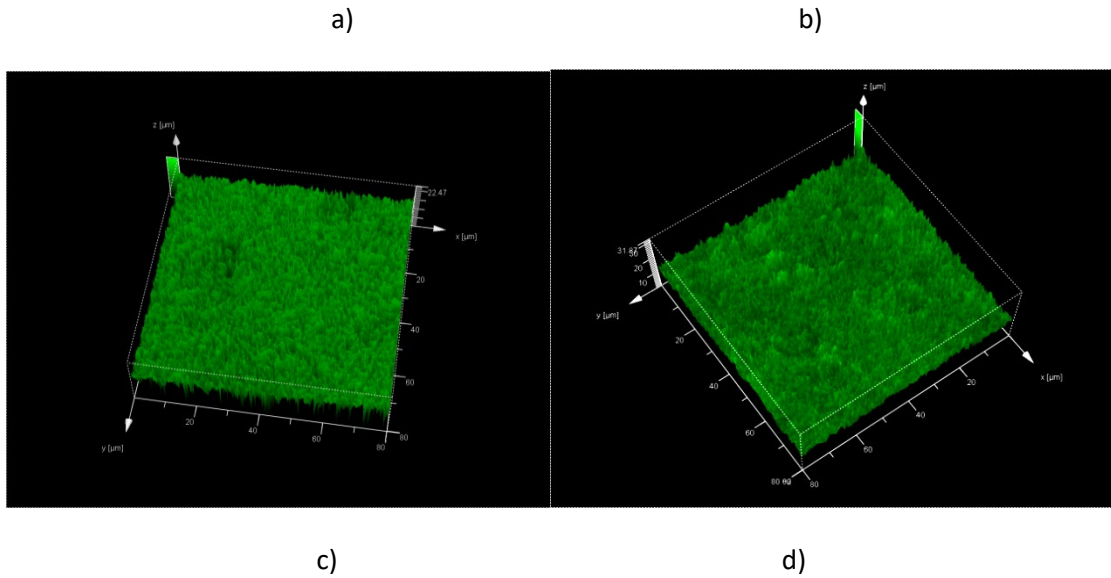
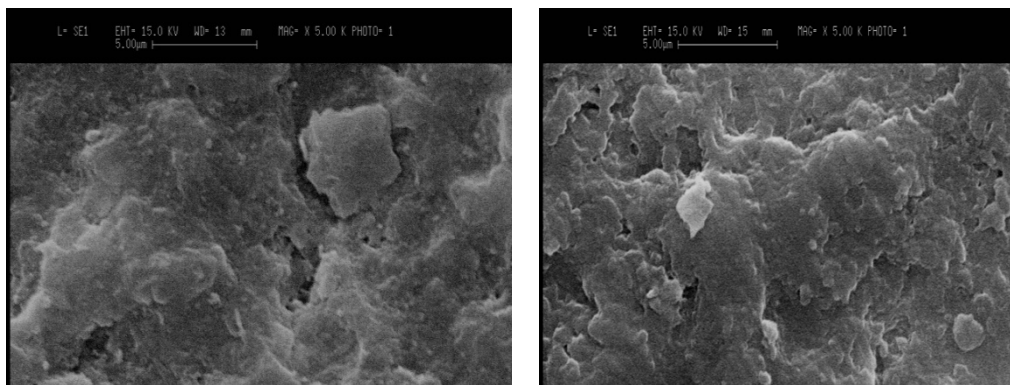


Fig. 22. Imagini 3D obținute cu microscopul confocal, 40 X, zoom 3.12, NA 0.75, pentru: substratul de titan (a) și oțel (b), respectiv pentru depunerile de BGT/PMMA/SS (c), BGB/PMMA/SS (d). Morfologia de suprafață a acoperirilor BGT / PMMA / SS și BGB / PMMA / SS înainte și la 14 zile după imersie în SBF este ilustrată în figura 23. Filmele inițiale constau dintr-o matrice densă și omogenă cu o mulțime de neregularități și pori care favorizează o bună aderență a celulelor osoase, mai accentuată pentru BGT / PMMA / SS.



BGT inițial

BGT după 14 zile

a)

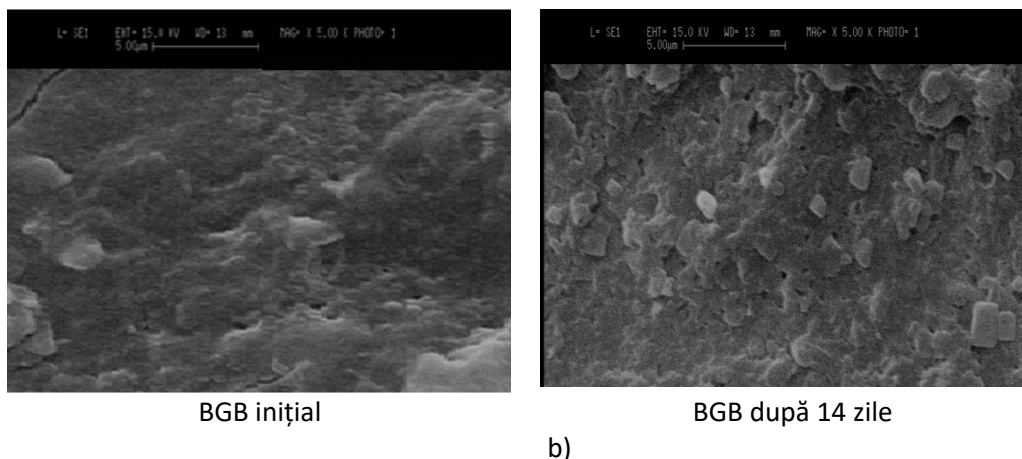


Fig. 23. Imaginile SEM ale suprafețelor BGT / PMMA / SS (a) și BGB / PMMA / SS (b), înainte și după 14 zile de imersiune în SBF, 5000X

Morfologia suprafeței filmului se schimbă cu timpul de imersiune în SBF. La 3 zile, neregularitățile suprafețelor devin mai pronunțate din cauza dizolvării BG și eliberării de medicamente ayurvedice, în conformitate cu analizele FTIR și GDOES. În cea de-a 14-a zi, se poate observa prezența HA, ca strat uniform în cazul BGT / PMMA / SS sau sub formă de cristale micrometrice împrăștiate arbitrar pentru BGB/PMMA/SS.

- **Investigarea structurii cristalografice prin XRD**

Analizele au fost realizate cu ajutorul unui difractometru SHIMADZU XRD 6000, cu radiație $\text{CuK}\alpha$ (1.54178 \AA) și filtru de Ni, la o tensiune de 40 kV și un curent de 30 mA, cu pas de scanare de $0,02^\circ$ în intervalul de unghiuri de difracție $2\theta=10\text{--}60^\circ$. Rezultatele difractometrice corespunzătoare filmelor depuse indică (fig. 24), după cum era de așteptat, prezența fazei amorphe caracteristice biosticlei, sub forma unei burți vitroase identificate în domeniul de unghiuri $2\theta=15^\circ\text{--}34^\circ$. De asemenea pe difractogramă au fost identificate cu ajutorul fișei JCPDS 44-1294 picurile de titan caracteristice substratului.

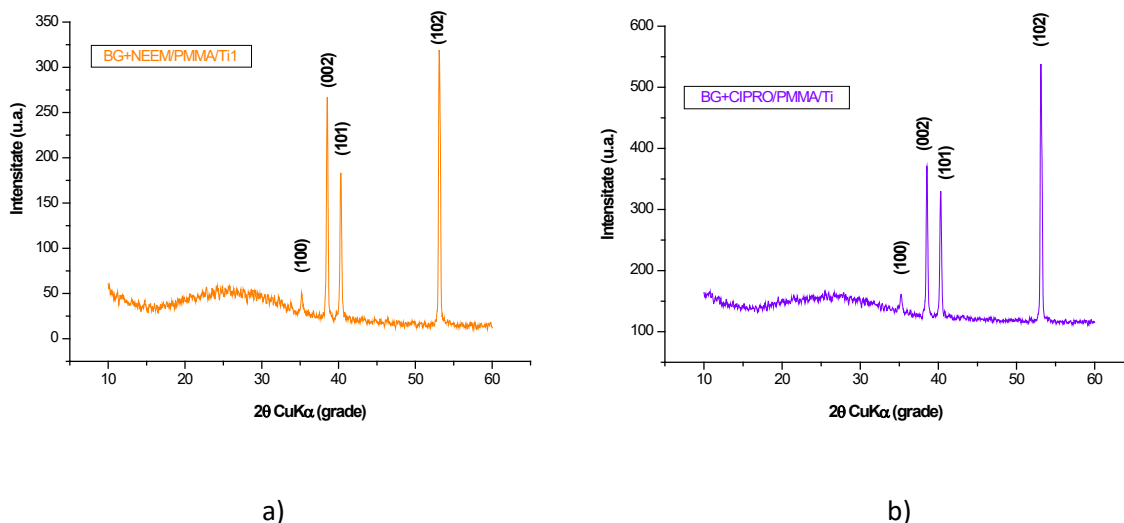


Fig. 24. Difractogramele corespunzătoare filmelor BGB/PMMA/Ti (a) și BGT/PMMA/Ti (b) depuse prin MAPLE pe substratul de Ti

- **Investigarea compoziției chimice prin FTIR**

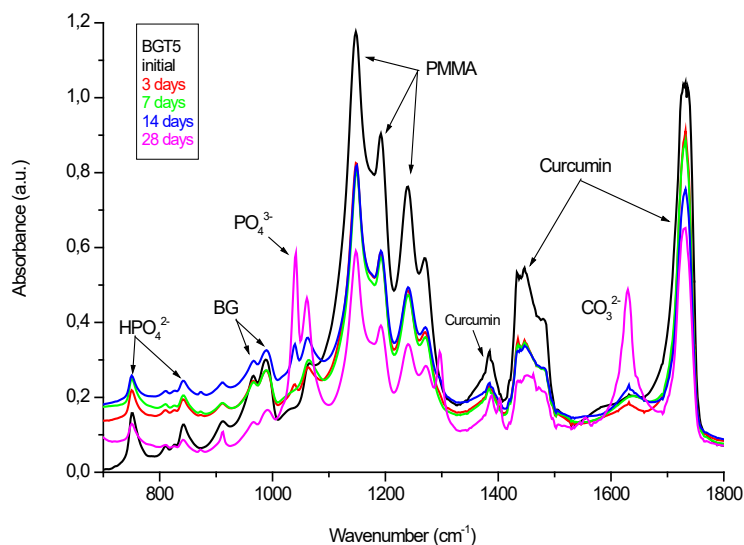
Structura moleculară a acoperirilor a fost investigată prin Spectroscopie în Infraroșu cu Transformată Fourier (FTIR). Spectrele FTIR au fost obținute în modul absorbție cu un FTIR-8400S (Shimadzu Corp, Kyoto, Japonia) cu domeniul operare $7800\text{--}350\text{ cm}^{-1}$, rezoluție spectrală de $0,4\text{ cm}^{-1}$ și raport S / N de 20000: 1.

Pentru a obține informații de la modificările de suprafață ale probelor ca urmare a interacțiunii reciproce între probe și SBF, analizele spectroscopice (FTIR și GDOES) și microscopice (SEM) au fost efectuate atât pe probe BGT / PMMA / SS și BGB / PMMA / SS, după perioade diferite de imersiune.

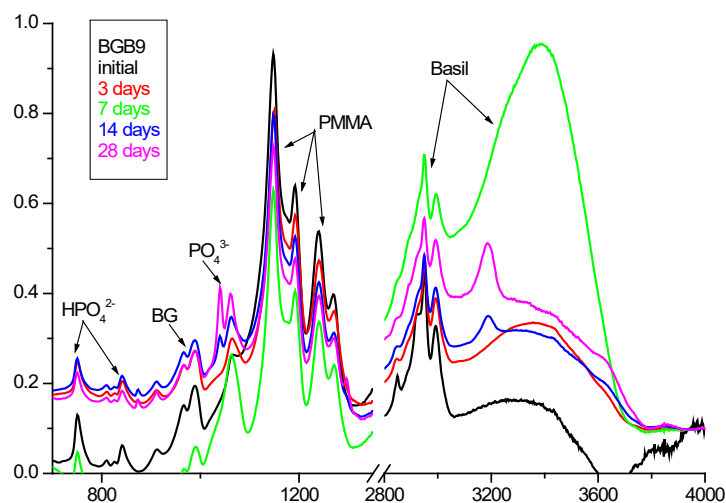
Spectrul FTIR al structurilor BGT / PMMA / SS (Fig. 25) prezintă vârfuri caracteristice BG (966 cm^{-1} și 988 cm^{-1}), curcumină (1384 cm^{-1} , 1440 cm^{-1} , 1490 cm^{-1} și 1730 cm^{-1}) și PMMA. Pentru turmeric se remarcă vârful pronunțat de la 1730 cm^{-1} , la 1420 cm^{-1} și la 1490 cm^{-1} [22]. Picurile PMMA-ului se pot vedea deși este stratul de dedesubt, deoarece stratul superior BGT are o structură neregulată. Acest tip de structură poroasă este special conceput pentru a crește suprafața activă și proporțional, biocompatibilitatea eșantionului. Pentru implanturi, morfologia activă a suprafeței trebuie să fie adecvată pentru aderența celulelor și creșterea oaselor; în plus, rugozitatea trebuie să fie potrivită pentru o interacțiune crescută implant osos pe termen lung. Controlul asupra acestor parametri (prin corodarea mecanică și chimică a suprafeței implantului

și / sau prin adăugarea de straturi cu o morfologie specială) poate garanta o creștere de până la 10 ori a biocompatibilității [23].

Atunci când eșantioanele sunt imersate în fluidul corporal simulat, se așteaptă modificări în spectrele lor FTIR. În primele zile, picurile asociate cu BG și curcumina sunt diminuate. Aceasta înseamnă că, din cauza dizolvării BG însoțită de eliberarea de curcumă concentrația lor este scăzută.



a)



b)

Fig. 25. Spectrele FTIR ale probelor BGT / PMMA / SS (a) și BGB / PMMA / SS (b) după diferite perioade de imersiune

Acest lucru este în deplină concordanță cu studiile noastre anterioare privind pur și nanocompozitele conținând BG și, de asemenea, cu literatura de specialitate [24-26].

Pe de altă parte, pe măsură ce imersiunea a continuat, spectrele FTIR prezintă vârfuri noi, la 752 și 842 cm^{-1} , aparținând HPO_4^{2-} , la 1040 cm^{-1} și 1062 cm^{-1} aparținând PO_4^{3-} și la 1630 cm^{-1} aparținând CO_3^{2-} . Prezența lor demonstrează apariția pe suprafața eșantioanelor a hidroxiapatitei (HA) - $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$, componenta minerală predominantă a oaselor vertebratelor. Această manifestare este de așteptat cunoscând comportamentul BG și demonstrează capacitatea materialului de a se lega ferm de țesut printr-o fixare bioactivă printr-o legătură chimică formată la interfața os-implant.

- **Investigarea eliberării de medicament**

Atât controlul SS neacoperit, cât și SS acoperit cu pelicule subțiri BGT-PMMA au fost imersate în 25 mL de lichid corporal simulat (SBF), în recipiente sterile din polietilenă și au fost păstrate la temperatura de 37 °C utilizând incubatorul microbiologic MMM Incucell.

După diferite perioade de imersiune, suprafața acestora a fost investigată de FTIR, așa cum am prezentat mai sus și în același timp, SBF-ul conținând produșii eliberați din probe a fost analizat prin spectroscopie de absorbție UV-VIS cu un spectrofotometru GBC Cintra10e UV-VIS-NIR în intervalul 190-1200 nm. Toate măsurătorile au fost efectuate în triplicat, în conformitate cu standardul ISO / FDIS 23317: 2007 (E).

A fost aplicat următorul protocol: 2 ml de SBF au fost analizate la fiecare 2 ore în primele 2 zile, apoi o dată pe zi la aceeași oră în prima săptămână și apoi o dată pe săptămână. Spectrele obținute sunt prezentate în figura 26, unde este evidentă o eliberare prelungită a medicamentului [27]. Aceasta poate contribui la inhibarea atașării bacteriilor la suprafața implantului și la prevenirea formării biofilmului, care este cauza apariției infecției microbiene. Inhibarea adeziunii bacteriene este un pas critic pentru prevenirea infecției asociate implantului, deoarece filmele biologice sunt extrem de rezistente atât la antibiotice cât și la sistemul imunitar [28, 29]. Eliberarea medicamentului la câteva zile după implantare poate acționa pozitiv și în cazul în care o reacție inflamatorie a fost indusă de microparticule metalice ce pot fi răspândite în țesutul înconjurător ca efect al frecării [30].

Figura 26a ne arată că eliberarea turmericului este maximă la 8 ore după imersiune și apoi este aproape constantă, în timp ce figura 26b evidențiază faptul că pentru busuioc maximul este atins după 23 de zile. La 30 de zile după imersiune, eliberarea medicamentului încă are loc, în ambele cazuri, cu o concentrație consistentă, comparabilă cu cea din prima zi [31].

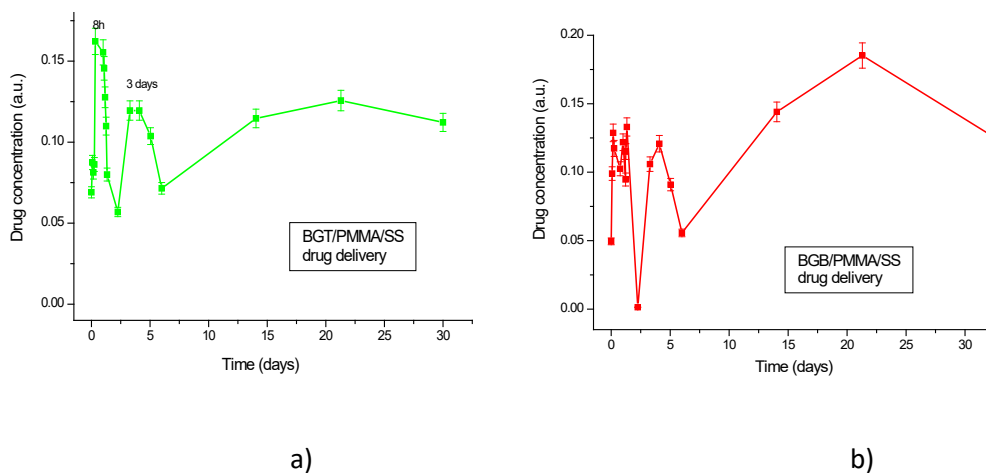


Fig. 19. Eliberarea medicamentului din probele BGT / PMMA / SS (a) și BGB / PMMA / SS (b)

- **Investigarea activității antimicrobiene a straturilor de acoperire**

Probele BGT / PMMA / SS (cu turmeric) și BGB / PMMA / SS (cu busuioc) au fost plasate pe plăci de cultură celulară cu 24 de godeuri și sterilizate timp de 30 de minute în etanol pur înainte de experimente. Activitatea antimicrobiană a probelor a fost testată conform metodei Time Kill prin adaptarea și integrarea protocoalelor descrise în ASTM E 2315 (Evaluarea activității antimicrobiene utilizând procedura de timp-ucidere) și ISO 22196 (Măsurarea activității antibacteriene pe materiale plastice și alte materiale neporoase suprafețe). Pe scurt, o cantitate mică de bacterii stoc (E scherichia coli JM109, ATCC 25922 și Staphylococcus aureus, ATCC 29213, LTA SRL Milano, Italia) a fost transferată din stocul de glicerol într-o placă de agar sterilă de Luriă (LB) și incubate la 37 ° C timp de 20 de ore.

S-a constatat că activitatea antimicrobiană a ambelor tipuri de probe a fost aproximativ aceeași, deși mult mai ridicată împotriva bacteriilor Gram pozitive (Staphylococcus aureus) decât gram negative (Escherichia coli).

În concluzie, acest studiu [76] a explorat un concept inovator pentru filmele subțiri pentru acoperirea cu avantaje multiple a implantului, constând în straturi duble de sticlă bioactivă și

extract de plante antimicrobiene / polimer, depuse prin evaporarea laser cu impulsuri matrice asistate pe substrat din oțel inoxidabil (similar unui implant).

Se observă dizolvarea sticlei bioactive, care are ca rezultat creșterea stratului de bioapatită (analizele FTIR, GDOES și EIS) și existența unui strat intermediar polimeric cu protecție anticorozivă a substratului metalic (analize LSV și GDOES). Testele in vitro au evidențiat morfologia adecvată pentru buna aderență a celulelor (SEM, AFM și analizele microscopice optice). Cea mai importantă realizare a noului nostru concept este efectul antimicrobian datorat filmelor care conțin extract natural de plante medicinale ayurvedice, cu eliberare prelungită și fără adverse (UV-VIS, analiză biologică).

Chiar și comportamentul probelor BGB / PMMA / SS și BGT / PMMA / SS este diferit, ambele pot fi utile în implantologie: dacă este necesară o eliberare mai rapidă a medicamentului, se recomandă acoperirea implantului BGT / PMMA / SS, atunci când dizolvarea sticlei bioactive este simultană cu eliberarea de curcumă. Dacă o eliberare lentă a medicamentului este o decizie mai înțeleaptă, se recomandă acoperirea implantului BGB / PMMA / SS, caz în care eliberarea medicamentului este ulterioară dizolvării biosticlei.

Se poate concluziona că nanostraturile sintetizate sunt multifuncționale, cu o acțiune bioactivă demonstrată, efect antimicrobian și protecție puternică împotriva eliberării ionilor metalici de la substraturile din oțel inoxidabil la fluidele corporale.

Menționez că cercetarile în acest domeniu au fost începute în cadrul programului postdoctoral desfășurat la Unitbv și în două colaborări finanțate prin Bursa Universității Transilvania din Brașov și desfășurate la Politehnica din Milano, Italia, respectiv la Universitatea din Las Palmas de Gran Canaria, Spania, și au fost continuate în cadrul proiectului experimental demonstrativ "*Smart surface functionalization of titanium and stainless steel implants*", finanțat de UEFISCDI, al cărui director de proiect am fost.

De asemenea, trebuie să menționez aici că rezultatele cercetărilor au constituit baza a două propuneri de brevete de invenție, ambele fiind în prezent aprobate.

- **L. Floroian**, M. Badea, C. Samoilă, D. Floroian, C. Ristoscu, N. Mihailescu, I. Negut, I. N. Mihailescu, *Structură de implant, nanocompoziție de acoperire și procedeu de funcționalizare a suprafeței implanturilor dentare și osoase*, BI RO 131045 A1 (CBI A/00981/2015).

- **L. Floroian**, C. Ristoscu, N. Mihailescu, *Structură de implant, film subțire de acoperire dublu-strat și procedeu de funcționalizare a suprafeței implanturilor osoase și dentare*, BI RO 132310 (CBI A/00333/2017).

II. SISTEME DE ENERGIE VERDE - dezvoltarea și caracterizarea lor

Alegerea acestei teme se datorează faptului că unul din domeniile prioritare ale cercetării științifice mondiale îl constituie descoperirea și eficientizarea de noi surse de energie. Una dintre aceste resurse o constituie energetica solară, care are la bază conversia directă a energiei solare în energie electrică prin efectul fotovoltaic. Eficiența de conversie a celulelor solare depinde de proprietățile electrice și optice ale materialelor semiconductoare utilizate în realizarea lor cât și de arhitectura structurii de celulă proiectată, toate acestea fiind în strânsă corelare cu proprietățile mediului în care sunt utilizate.

În acest context cercetările mele au fost orientate pe caracterizarea de noi materiale semiconductoare cu proprietăți electrice și optice specifice și pe tehnologiile de design de celulă care să conducă la dispozitive optoelectronice cu performanțe ridicate, în regim de fotoelement, și cu preț de cost cât mai scăzut.

a) Filme subțiri de CdTe și CdS pentru celule solare

CdTe este un candidat valoros pentru fabricarea celulelor solare, deoarece are lărgimea benzii interzise de 1,45 eV, care conduce la o valoare ridicată a tensiunii de circuit deschis, deci la puteri mari furnizate de celulă pe o rezistență de sarcină optimă. Fiind însă un material cu tranziție directă, are coeficient de absorbție mare, deci este indicată folosirea lui sub formă de strat subțire. Și pentru că celulele solare de CdTe cu homojoncțiune nu au un randament bun, se lucrează cu celule cu heterojoncțiune, CdS/CdTe, acestea fiind mai eficiente [8].

S-a încercat realizarea de astfel de celule, urmărindu-se cu precădere obținerea de straturi de înaltă conductivitate și realizarea unor contacte cu rezistivitate scăzută. S-a ținut cont de o serie de cerințe:

- volumul în care se desfășoară procesul tehnologic să fie fără impurități;
- structura straturilor depuse să fie perfect cristalină;
- compoziția chimică să fie reproductibilă;
- substratul să nu fie disociat;
- să se poată introduce controlat a impurități de dopaj.

S-a realizat astfel o structură constând în 4 straturi depuse pe un substrat de sticlă, ca în figura 14. Primul strat este un strat de oxid transparent (TCO) care acționează ca și contact superior și care poate fi SnO_2 , CdSnO_4 , ZnO:Al , sau ITO. El trebuie să aibă o transparență foarte ridicată,

astfel încât o cantitate cât mai mare de lumină să pătrundă în celulă și astfel curentul fotogenerat să fie mare, și în același timp să prezinte o mare conducție electronică, pentru a da o rezistență serie mică celulei fotovoltaice.

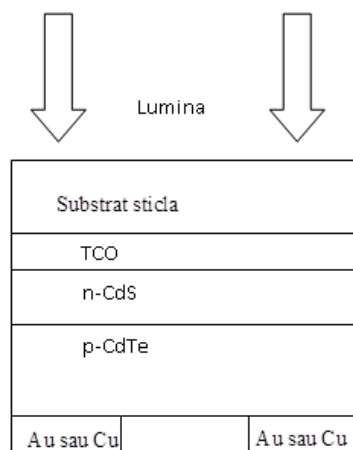


Fig. 14. Structura celulei solare cu film subțire CdTe / CdS

Pentru că aceste două considerente nu pot fi atinse simultan, s-a încercat ajungerea la un compromis. Pregătirea inițială a substraturilor s-a făcut introducându-le pentru 2 – 3 ore în soluție de $7\text{g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 10\text{ ml H}_2\text{O} + 100\text{ ml H}_2\text{SO}_4$. Peste acest prim strat s-a depus stratul de CdS, care este un strat fereastră, apoi stratul de CdTe, un strat puternic absorbant. Pentru a obține eficiență mare, ambele straturi trebuie tratate cu CdCl_2 , deoarece în prezența clorului granulele mici dispar, are loc o recristalizare și astfel interfața CdS/CdTe este reorganizată. Urmează apoi depunerea contactelor posterioare, din Au sau Cu, acesta din urmă având avantajul unui preț redus. Marea problemă pentru aceste contacte este stabilitatea și pentru a avea contacte stabile se folosește un dublu film Te/Cu sau Te/Ni, care conduc în același timp și la creșterea eficienței celulei și a factorului de umplere.

Am studiat influența configurației celulei asupra proprietăților optice și electrice ale heterostructurii obținute, precum și dependența lor de calitatea straturilor depuse și de condițiile de depunere [9], celulele fiind testate inclusiv în condiții de lucru extreme [10], ca și cele organice descrise în paragraful următor, în cadrul stagiului la Weizmann Institute din Israel, cercetare finanțată printr-un grant European, program: Solar Facilities for the European Research Area, CORDIS FP7-INFRASTRUCTURES, *Evaluation of the performances of new nanostructures processed by laser techniques for use in photovoltaic and biomedical*

applications.

b) Filme subțiri de ITO, ZnO și de ZnPc, Alq3 și PTCDA pentru celule solare organice

Filmele subțiri transparente conductive sunt folosite pe scară largă în multe dispozitive cu filme subțiri, de obicei în ca electrozi transparenți conductivi, iar în ultimii ani au o importantă aplicație în fabricarea celulelor solare organice [11-12] și a diodelor organice luminescente [13-14].

O dezvoltare aparte au avut-o filmele subțiri transparente conductive depuse pe substraturi flexibile cum sunt PET sau PES, cu importante aplicații în realizarea de celule solare de generația a treia. Un prim inconvenient care apare la înlocuirea substratului de sticlă cu unul de plastic este că nu se mai pot aplica metodele clasice de depunere de filme subțiri, care necesită temperaturi mari, de 400-500°C. În astfel de cazuri se caută soluții alternative, reușindu-se să se aplice cu succes tehnici de depunere laser pulsate adaptate fiecărui tip de material sau combinații de materiale în parte.

c) Structuri multistrat metal-oxid-metal

În prezent, unul dintre cele mai promițătoare materiale pentru electrozi transparenți pare a fi ITO (Indium Tin Oxide). În general grosimea unui film subțire de ITO folosit ca electrod transparent în dispozitive optoelectronice este în domeniul 150-700 nm. Reducerea acestei dimensiuni sub 150 nm nu este posibilă în cazul unui singur film subțire, deoarece rezistivitatea sa crește cu scăderea grosimii. Un alt dezavantaj care apare în cazul depunerilor pe substrat de plastic ar fi rezistența mecanică la îndoire foarte mică a filmelor de oxid.

Pentru a îndepărta aceste inconveniente, s-au depus structuri multistrat metal-oxid-metal, în care filmele de oxid au grosimi foarte mici, circa 60 nm împreună, dar suficientă rezistență mecanică datorită stratului metalic conductor intermediar și în același timp proprietăți optice și electrice remarcabile.

d) Filme mixte ITO și ZnO obținute prin metoda de depunere combinatorială cu laser pulsant

Astfel de filme sunt folosite pentru electrodul transparent superior pentru celulele solare, controlând de asemenea cantitatea de lumină capturată și protejând celula de mediul

ambiental. ITO pur este cel mai utilizat material pentru electrozi transparenți și conductori. Din păcate, este destul de scump și de rar, ceea ce limitează utilizarea la scară largă a producției industriale de celule solare. Au fost multe studii și investigații menite să înlocuiască sau să amestece ITO cu ZnO, care este ieftin și abundent. Prin amestecarea acestor două componente, de asemenea, se adaptează proprietățile mecanice, cristaline, electrice și optice ale acestor filme.

e) Filme subțiri de ZnPc, Alq₃ și PTCDA obținute prin Matrix Pulsed Laser Evaporation

Folosind tehnica Matrix Pulsed Laser Evaporation (MAPLE) se pot depune filme subțiri ZnPc (zinc phthalocyanine), Alq₃(tris-8-hydroxyquinoline aluminium) și PTCDA (perylene tetracarboxylic dianhydride), cu proprietăți relevante în aplicațiile fotovoltaice (fig. 19). Dintre materialele organice, ftalocianinele metalice sunt cele mai utilizate în structurile fotovoltaice datorită domeniului lor de absorbție extins în partea ultravioletă (UV) și vizibilă a spectrului solar și la stabilitatea lor chimică. Între acești compuși cu molecule mici, datorită proprietăților optice interesante, ftalocianina de zinc (ZnPc) este adesea folosită în construcția celulelor solare organice ca material donor. Celălalt compus organic studiat este dianhidrida perilen tetracarboxilică (PTCDA), o moleculă plană, caracterizată printr-o absorbție mare din UV în domeniul vizibil și care poate forma filme ușor subțiri pe substraturi solide.

Am studiat nanostructurile **PET/ITO/ZnPc/Alq₃/Au** (proba S1) și **PET/ITO+ZnO/PTCDA/Alq₃/Al** (proba S2) din punct de vedere al proprietăților optice și electrice, dar și al efectului fotovoltaic, evaluând posibilitatea folosirii lor în posibile aplicații în domeniul electronicii flexibile și al celulelor solare.

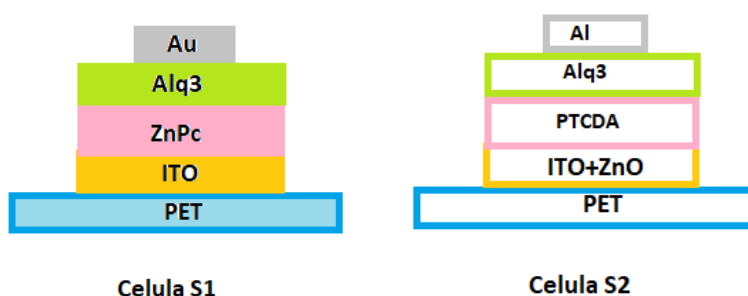


Fig. 19. Celule solare obținute din filme nanostructurate depuse prin MAPLE

II.1. Studiul celulelor solare de generația a treia produse în laborator. Trasarea caracteristicii I-V.

Am studiat diferitele tipuri de celule solare a căror realizare a fost descrisă în paragrafele anterioare, în lumină concentrată, în cadrul a două proiecte internaționale pentru care am fost coordonatorul echipei Universității Transilvania din Brașov, *Evaluation of the performances of new nanostructures processed by laser techniques for use in photovoltaic and biomedical applications* - stagiul 2012 și *Improving the performances of new nanostructures processed by laser techniques for use in concentrated light applications* - stagiul 2013. Aceste proiecte au fost finanțate din fonduri europene, în cadrul programului Solar Facilities for the European Research Area (SFERA), și s-au desfășurat la Institutul Weizmann din Israel, având următoarele obiective:

1. Trasarea caracteristicilor I-V ale diferitelor tipuri de celule solare în lumină concentrată.
 - la diferite niveluri de iluminare solară (1-1000 de soli)
 - la temperaturi diferite
 - la lungimi de undă diferite (VIS-IR)
2. Determinarea corelației dintre parametrii de depunere folosind nanotehnologii cu laser pulsant și proprietățile optice și electrice ale straturilor.
3. Determinarea proprietăților și parametrilor celulelor solare în lumină solară concentrată: curentul de scurtcircuit, eficiența celulară, potențialul de circuit deschis, factorul de umplere, puterea maximă, rezistența serie și șuntul.

Accesul la instalațiile solare ale Institutului Weizmann, a fost pentru noi o mare oportunitate de a studia celulele solare la niveluri ridicate de iradiere. Țara noastră, precum multe alte țări, nu are o astfel de facilitate, iar vizita noastră în Israel a fost foarte utilă, Unitatea Solar Research Facilities a Institutului Weizmann având un turn solar sofisticat, într-un câmp de 64 heliostate, de 56 m² fiecare (fig. 27), care într-o zi luminoasă poate colecta 3 MWth de radiație solară în total. Turnul are 4 niveluri experimentale verticale, 3 interioare și unul exterior pe acoperiș, pentru că sunt necesare precauții speciale de siguranță pentru teste, ca de exemplu pentru producerea pe scară largă a hidrogenului sau a gazelor de sinteză. În plus, instalația are o instalație unică de 0,5 MW, care nu se regăsește în nicio altă instalație de cercetare solară din lume.

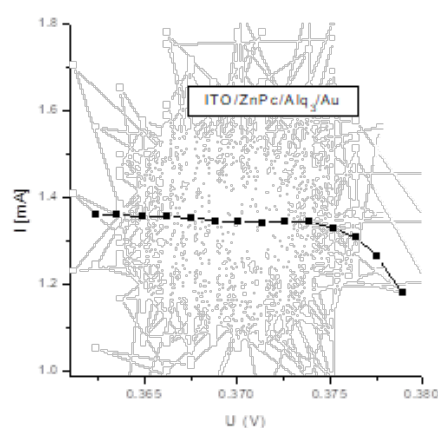
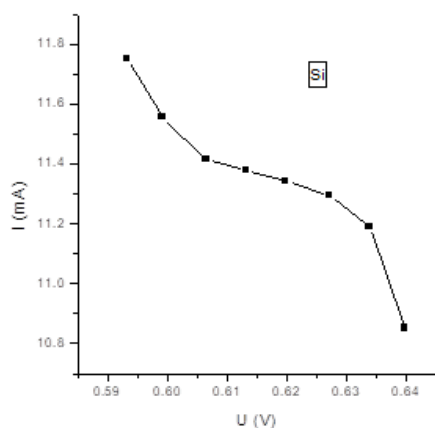
Folosind aceste facilități unice am investigat pentru prima dată comportamentul celulelor solare la niveluri ridicate de iradiere [32-34].



Fig. 27. Câmpul de heliostate de la Institutul de Știință Weizmann din Rehovot, Israel.

S-au înregistrat simultan intensitatea curentului, tensiunea, fluxul și intensitatea radiației folosind 4 canale ale unei plăci de achiziție a datelor, pentru fiecare celulă solară și s-au obținut caracteristicile I-V a celulelor (fig. 28).

Măsurătorile au fost efectuate la 800, 900 și 1000 de sori, la 24 și 30 grade Celsius și la 9 lungimi de undă diferite în intervalul UV-VIS-IR: 461 nm, 508 nm, 591 nm, 623 nm, 672 nm, 766 nm, 773 nm, 793 nm, 795 nm.



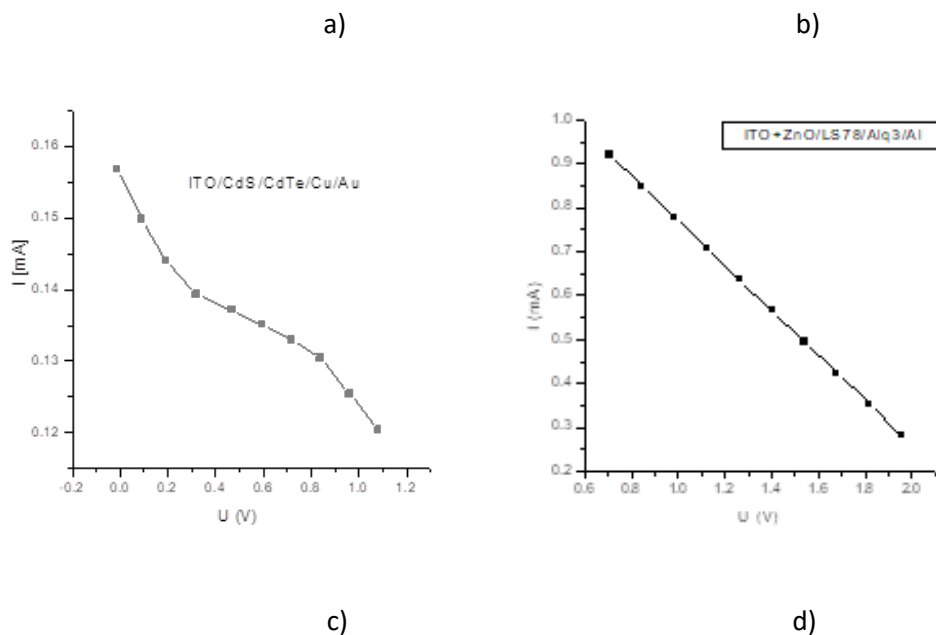


Fig. 28. Caracteristica I-V pentru celula monocristalină de Si (a), celula ITO / ZnPc / Alq3 / Au (b), ITO / CdS / CdTe / Cu / Au (c), ITO + ZnO / PTCDA / Alq3 / Al (d) obținute la 900 de sori

Caracteristica I-V a celulei monocristaline de Si la 900 de sori:

- are o formă diferită față de cea de la un soare;
- prezintă un curent de scurtcircuit ridicat ;
- potențialul circuitului deschis este $V_{oc} = 0,64$ V.

Caracteristica I-V a ITO / ZnPc / Alq3 / Au la 900 de sori prezintă:

- formă apropiată de cea de la un soare ;
- curent de scurtcircuit de 1,37 mA ;
- potențialul circuitului deschis de 0,381 V (o valoare prea mică).

Tot la 900 de sori, caracteristica I-V a ITO / CdS / CdTe / Cu / Au la 900:

- are o formă diferită față de cea de la un soare ;
- prezintă un curent de scurtcircuit ridicat ;
- potențialul circuitului deschis este $V_{oc} = 1,18$ V,

iar caracteristica I-V a ITO + ZnO / PTCDA / Alq3 / Al - este o curba eșuată, ceea ce se datorează unei valori foarte ridicate a rezistenței serie.

Astfel, experimentele efectuate la Institutul Weizmann ne-au ajutat să înțelegem funcționarea celulelor în condiții extreme și în același timp, prin măsurarea caracteristicilor și diferențele obținute față de teorie, ne-au arătat unde sunt problemele și modul în care putem să îmbunătățim celulele construite. Am putut face astfel modificări ai parametrilor de depunere pentru a obține celule solare cu proprietăți mai bune și am putut participa la proiectul SFERA din anul următor cu o nouă temă: *Improving the performances of new nanostructures processed by laser techniques for use in concentrated light applications*, având noi celule și o nouă linie de măsurare. Drept urmare, calitatea rezultatelor a fost categoric mai ridicată (fig. 29).

În scopul creșterii potențialului de circuit deschis, am mărit dimensiunea granulelor pentru materialul absorbant (Alq3) modificând fluența laserului pentru depunerea acestuia (depunerea se face folosind tehnica de evaporare prin puls laser asistată de o matrice).

Pentru a reduce rezistența în serie, am ales un design mai potrivit pentru modelul rețelei și, de asemenea, un metal mai potrivit pentru a oferi contacte ohmice mai bune (Au a înlocuit Al).

Pentru a reuși efectuarea acestor măsuratori a fost necesară dezvoltarea unei linii speciale de achiziție de date, linie prezentată în continuare.

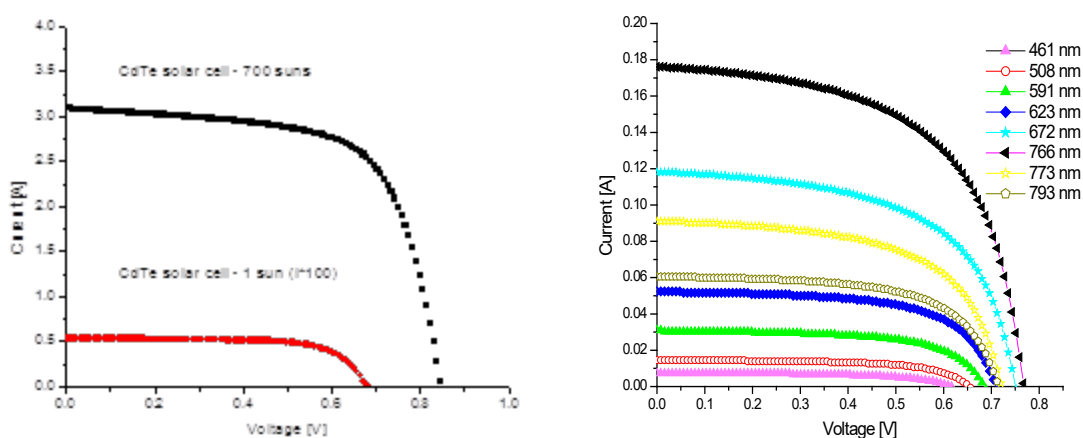


Fig. 29. Caracteristica I-V pentru celula ITO/CdS/CdTe/Cu/Au la 1 soare și la 700 sori (a), respectiv pentru celula ITO+ZnO/PCDA/Alq3/Al (b) la 700 sori și diverse lungimi de undă

II.2. SISTEM AUTOMATIZAT DE DETERMINARE A PARAMETRILOR CELULELOR SOLARE

II.2.1. Dezvoltarea unui braț robotic pentru măsurarea caracteristicii curent - tensiune a unei celule solare

Pentru a reuși să facem studiul în lumină solară concentrată prezentat mai sus, o problemă pe care a trebuit să o îndepărtăm a fost cantitatea enormă de căldură degajată, care ducea la creșterea rapidă a temperaturii cu foarte multe grade.

Pentru a putea realiza măsurători cât mai sigure a fost nevoie de un sistem care să obtureze fascicolul de lumină și să nu permită expunerea celulei la fluxul solar concentrat decât un timp foarte scurt. S-a realizat acest sistem sub forma unui braț robotic alcătuit dintr-o placă metalică la care este atașată o pârghie cu ajutorul căreia mișcarea de rotație a unui servomotor este transformată în mișcare de translație. Acest lucru permite supunerea celulei solare un timp limitat la flux solar concentrat [34]. Mecanismul acesta este atașat unui suport metalic, al cărui rol este de a-i oferi o rigiditate sporită (fig. 30).

Tot de acest mecanism este atașată și partea hardware, cu ajutorul căreia se realizează ridicarea caracteristicii curent - tensiune, în programul ce rulează în LabView, dar și partea de comandă și senzorul de temperatură.



Fig. 30. Brațul robot

Partea de comandă este realizată cu o placă de control ATmega, pe care se află un microcontroler din familia AVR, Atmega16. Rolul microcontrolerului este de a controla pornirea achiziției de date, în momentul în care sistemul primește semnal de la placa de achiziție. Această pornire înseamnă de fapt acționarea brațului robot, a unui releu aflat pe placă, cu ajutorul căreia se ridică caracteristica curent - tensiune, cât și afișarea pe LCD a temperaturii și a modului de funcționare. De asemenea, pe acest suport se mai găsește și un panou de comandă ce conține mai multe butoane și un LCD. Două butoane se află chiar lângă LCD, unul este de tip on-off cu trei poziții, și are rolul de a selecta modul de funcționare al ansamblului. El poate fi comutat pe „Automat” sau „Manual”. Alt buton este de tip push-button, se poate utiliza doar în modul manual și acționează brațul robot înainte și înapoi.

Tot aici se mai găsesc încă trei butoane, unul cu rolul de a porni sau opri ventilatorul care răcește suportul pe care se află celula solară, al doilea este un buton pentru pornire/oprire, iar cel de-al treilea este utilizat pentru a putea programa microcontrolerul.

În cazul în care butonul pentru manual-automat este pe “automat”, microcontrolerul așteaptă comandă de la placa de achiziție și în momentul când aceasta transmite un 1 logic pe un anumit pin al microcontrolerului, acesta comandă servomotorul care la rândul lui acționează brațul robot. În momentul când brațul s-a retras și ajunge în dreptul unui senzor plasat pe suportul metalic, microcontrolerul transmite semnal plăcii de achiziție pentru a achiziționa date de la celula solară, pe care le expune pe ecranul PC-ului, sub forma unui grafic. Tot în acest moment microcontrolerul afișează pe LCD temperatura la care a avut loc măsurătoarea, cât și modul de funcționare.

În cazul în care butonul pentru manual-automat este pe “manual”, microcontrolerul așteaptă semnalul “push-button” de pe panoul de comandă, iar în momentul în care primește un semnal microcontrolerul retrage brațul robot iar la următorul impuls îl aduce în poziția inițială. Cât timp este meținut comutatorul pe poziția manual, pe LCD este afișată temperatura și modul de funcționare.

II.2.2. Sistemul de achiziție de date și dispozitivul pentru ridicarea caracteristicii I-V

Folosind robotul descris în paragraful anterior, măsurătorile au putut fi luate foarte rapid pentru a nu deteriora celula fotovoltaică și pentru a menține temperatura cvasi-constantă. Sistemul de

achiziție utilizează o placă NI 6009. Această placă are 8 canale de intrare analogice (AI) în configurația Single-Ended Channels. Canalele cu o rată de eșantionare de 48 kS/s și rezoluție de 14 biți sunt utilizate în modul de măsurare diferențial pentru a crește precizia măsurătorilor. Conectarea plăcii la un laptop este realizată printr-o conexiune USB.

Caracteristica curent - tensiune a celulelor fotovoltaice poate fi obținută în general folosind anumite tehnici [78]: tehnica încărcării electronice, tehnica MOSFET, tehnica potențimetrului, tehnica condensatoarelor.

Noi am ales tehnica condensatorului datorită faptului că astfel caracteristica I-V este obținută foarte rapid. Timpul necesar pentru a face acest lucru este mai mic de o secundă. În acest timp foarte scurt, temperatura celulelor fotovoltaice rămâne aproape constantă și datorită unui sistem de răcire a celulelor în timpul măsurătorilor. Numărul punctelor caracteristice I-V este foarte mare, peste 1000. Numărul mare de date permite o bună prelucrare după măsurători, prin urmare se poate utiliza orice metodă de determinare a parametrilor fotovoltaici.

Proiectarea circuitului electric permite selectarea condensatorului intern cu capacitate de 0,4 F sau a condensatorului extern cu capacitate de 2200 μ F în funcție de puterea generată de celula fotovoltaică. Condensatoarele utilizate au o rezistență internă foarte mică.

Software-ul necesar a fost creat în limbajul grafic de programare LabVIEW. El permite controlul sistemului robotic, al plăcii de achiziție și al circuitului electronic pentru a trasa automat caracteristicile I-V. Curentul caracteristicii la un soare este multiplicat de zece ori.

Software-ul are trei pași:

- Inițializarea sistemului (INT) - în această etapă sistemul de robotizare și sistemul de achiziție sunt inițializate și verificate;
- Măsurarea I-V - în această etapă este măsurată caracteristica I-V a celulei fotovoltaice. Folosind comanda "Timp de măsurare" timpul de măsurare poate fi setat în funcție de celula fotovoltaică și de condensatorul utilizat. De asemenea amplificarea pentru tensiune și curent pot fi setate în acest pas;
- Oprirea măsurătorii (Close) - este utilizată pentru a opri măsurarea, sistemul rămânând inițializat. În acest pas datele sunt salvate.

Indicatorii grafici "Tensiune" și "Curent" arată tensiunea și curentul în timpul încărcării cu condensator. "Temp. valoare" indică temperatura celulei fotovoltaice în timpul măsurătorilor. Temperatura este măsurată utilizând un termocuplu montat pe spatele celulei fotovoltaice.

Pentru a determina parametrii importanți ai celulelor fotovoltaice există mai multe metode, care pot fi clasificate în două categorii: metodele care determină toți parametrii celulelor fotovoltaice și metodele care determină unul sau mai mulți parametri ai celulelor solare.

Parametrii din acest studiu s-au determinat utilizând caracteristica măsurată I-V și metoda analitică de cinci puncte [34, 35]. Această metodă permite determinarea tuturor parametrilor importanți ai celulelor fotovoltaice folosind modelul de diodă și una dintre caracteristicile I-V caracteristice fiecărui nivel de iluminare.

$$I = I_{sc} - I_0 \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{mkT} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

unde k este constanta Boltzmann și q este sarcina electrică elementară.

Următorii parametri pot fi determinați utilizând caracteristica I-V: curentul de scurtcircuit, tensiunea circuitului deschis, puterea maximă și coordonatele acestui punct, tensiunea maximă V_m și curentul maxim I_m . Rezistența șuntului și rezistența serie, necorectate, sunt primii parametri care pot fi obținuți folosind procedura de fitare liniară în jurul punctului de scurtcircuit și a punctului de circuit deschis, a se vedea (3) și (4).

$$R_{sh} = R_{sho} = - \left(\frac{dV}{dI} \right)_{I=I_{sc}} \quad (3) \quad R_{so} = - \left(\frac{dV}{dI} \right)_{V=V_{oc}} \quad (4)$$

Se determină și rezistența serie corectată, factorul de idealitate al diodei m, curentul de saturație inversă I_0 și curentul fotogenerat I_{ph} , utilizând parametrii calculați mai sus [34].

Pentru I_0 , R_s și I_{ph} am folosit următoarele ecuații:

$$I_0 = \left(I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \right) \exp \left(- \frac{V_{oc}}{nV_T} \right) \quad (5)$$

$$R_s = R_{so} - \frac{nV_T}{I_0} \exp \left(- \frac{V_{oc}}{nV_T} \right) \quad (6)$$

$$I_{ph} = I_{sc} \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) + I_o \left(\exp \left(\frac{I_{sc} R_s}{n V_T} \right) - 1 \right) \quad (7)$$

Celulele fotovoltaice testate sunt următoarele:

- celula fotovoltaică de siliciu monocristalin comercial (mc-Si) cu o suprafață de 0,5 cm²
- celula fotovoltaică de siliciu policristalin comercial (PC-Si) cu o suprafață de 0,5 cm²
- celulele fotovoltaice CdTe subțiri dezvoltate în laborator cu o suprafață de 0,5 cm².

Parametrii celulelor fotovoltaice au fost determinați la niveluri diferite de iluminare, la 1000 W/m² (ceea ce înseamnă un soare), la 50 de sori, 100 de sori și 150 de sori, la o temperatură de 25°C. Caracteristicile I-V pentru celula monocristalină de siliciu sunt prezentate în figura 31.

Software-ul numit SolarLab a fost folosit pentru a calcula parametrii celulelor fotovoltaice, iar valorile parametrilor celor trei celule fotovoltaice calculate pentru cele patru niveluri de iluminare [32] sunt prezentate în tabelul 7.

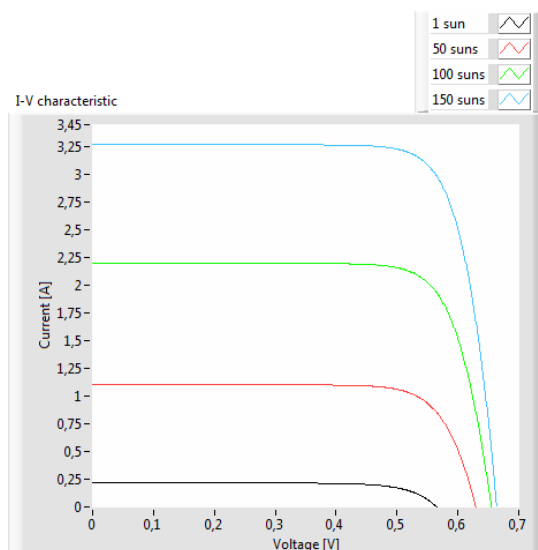


Fig. 31. Caracteristicile I-V pentru mc-Si.

Tabelul 7 Parametrii celulelor fotovoltaice, calculați pentru patru niveluri de iluminare

Celula	Iluminarea [W/m ²]	mc-Si	pc-Si	CdTe
Parametrii				
I_{ph} [A]	10 ³	0.0221	0.0191	0.0109
I_o [A]		1.003e-8	1.68e-8	4.2e-7
R_s [Ω]		0.067	0.0811	0.313
R_{sh} [Ω]		627	691	342
M		1.51	1.56	2.98

I_{ph} [A]	5×10^4	1.102	0.954	0.541
I_o [A]		$8.78e-9$	$1.01e-8$	$1.35e-7$
R_s [Ω]		0.017	0.029	0.1
R_{sh} [Ω]		687	769	394
M		1.315	1.31	2.19
I_{ph} [A]	10^5	2.198	1.907	1.032
I_o [A]		$3.58e-9$	$3.57e-9$	$4.06e-8$
R_s [Ω]		0.011	0.014	0.045
R_{sh} [Ω]		722	795	432
M		1.26	1.23	1.97
I_{ph} [A]	15×10^4	3.269	2.86	1.589
I_o [A]		$2.88e-8$	$2.56e-9$	$2.6e-8$
R_s [Ω]		0.007	0.0103	0.0297
R_{sh} [Ω]		741	811	448
M		1.24	1.2	1.89

Dependența obținută pentru curentul fotogenerat al celulelor fotovoltaice în funcție de iluminarea celulei este prezentată în figura 32. Se poate observa că liniaritatea dependenței este verificată pentru toate cele trei celule fotovoltaice supuse testului. Se observă de asemenea că, în cazul în care crește lumina solară concentrată, crește și tensiunea circuitului deschis (tabelul 7), dar creșterea este logaritmică, nu proporțională.

Rezistența serie scade când intensitatea luminii solare crește. Acest lucru se întâmplă din cauza creșterii conductivității stratului activ atunci când crește iradierea [36]. Dependența rezistenței serie de iluminare este prezentată în figura 33. Se constată că scăderea rezistenței serie este mai accentuată pentru celula CdTe.

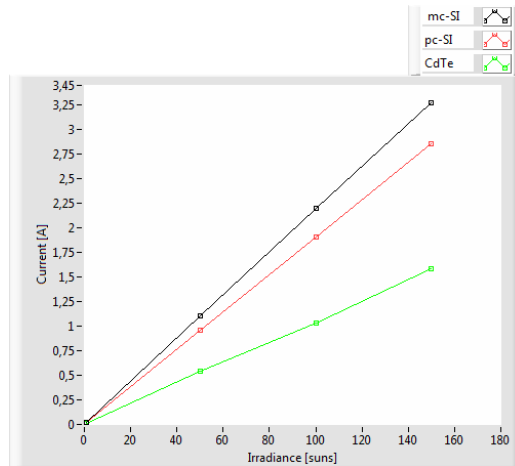


Fig. 32. Liniaritatea curentului fotogenerat funcție de iluminare

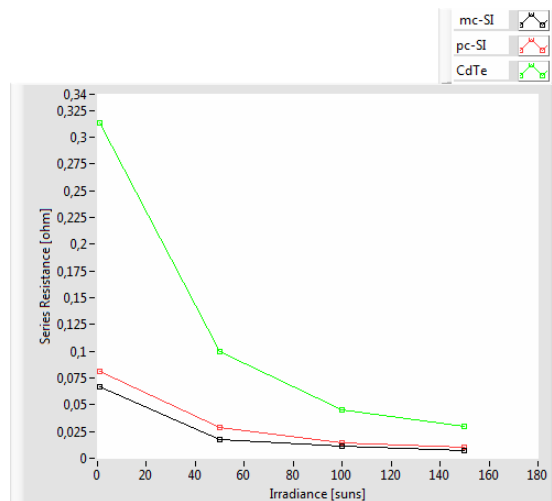


Fig. 33. Dependența rezistenței serie de iluminare

Valorile factorului de idealitate al diodei și curentul de saturație inversă depind de mecanismele de recombinare. Prin analiza datelor obținute se observă că rezistența șuntului are o creștere mai semnificativă pentru 1 soare - 50 sori, după care creșterea este saturată.

Tematica abordată în acest studiu este importantă deoarece sunt puține cercetări care au ca scop studiul unei celule solare în flux solar concentrat, iar obținerea de informații legate de aceste celule testate poate ajuta la descoperirea de materiale pentru realizarea de celule fotovoltaice cu performanțe cât mai bune la un cost cât mai scăzut, respectiv celule solare care să funcționeze în condițiile extreme din Univers. Odată cu scăderea costului de fabricație a celulelor fotovoltaice, va scădea și costul panourilor solare și implicit a energiei electrice

produse cu ajutorul lor. De asemenea cu cât se cunosc mai multe date despre comportamentul unei celule solare se pot lua măsuri pentru ca ea să funcționeze cât mai bine și se pot găsi condițiile optime de funcționare.

Caracteristicile celulelor studiate au fost obținute cu ajutorul unui program realizat în mediul de programare grafic LabVIEW, ca o necesitate apărând dezvoltarea unui braț robot pentru măsurarea caracteristicii curent - tensiune a unei celule solare.

Întregul sistem, care este o combinație între electronica digitală, electronica analogică și achiziția de date, a fost testat cu succes în obținerea caracteristicii curent - tensiune a celulelor solare, chiar și în medii cu perturbare electromagnetică mare.

Studiul nostru asupra celulelor solare, realizat împreună cu echipa Unitatea Solar Research Facilities a Institutului Weizmann, Israel, a dezvăluit câteva elemente noi, care ne vor ajuta să înțelegem mai profund fenomenele care apar în lumină solară concentrată și în viitor vom putea produce celule solare cu un randament mai bun în conversia luminii în energie electrică, precum și celule mai eficiente pentru lucrul în condiții extreme.

II.3. STUDIUL ÎMBĂTRÂNIRII CELULELOR FOTOVOLTAICE UTILIZÂND LUMINA CONCENTRATĂ

În zilele noastre, cercetătorii și producătorii dezvoltă mai multe tipuri de celule fotovoltaice folosind diferite tipuri de materiale. Această varietate de celule fotovoltaice este cauzată de necesitatea de a obține celule cu o eficiență ridicată și / sau un preț mic pe watt, acestea fiind cele mai importante cerințe. Durata de viață a unora dintre celulele fotovoltaice este cunoscută, cum ar fi cazul siliciului monocristalin, cel mai utilizat, pentru care durata de viață este de 25 de ani, dar pentru alte celule fotovoltaice noi, acest parametru important este necunoscut sau mai puțin studiat, de exemplu, pentru celulele fotovoltaice a căror eficiență atinge 44% sub lumina solară concentrată [37, 38].

Este foarte important studiul parametrilor celulelor fotovoltaice, cum ar fi curentul fotogenerat și scurtcircuit, tensiunea circuitului deschis, puterea maximă, rezistența în serie, rezistența șunt, curentul invers de saturație, factorul de idealitate al diodei, factorul de umplere și eficiența [35]. Acești parametri și evoluția lor în timpul procesului de îmbătrânire au fost prea puțin studiate până acum.

Majoritatea testelor de îmbătrânire iau în considerare temperatura și umiditatea ca și parametri, astfel de teste fiind luate din industria electronică, unde sunt foarte bine cunoscute [39]. Principalul dezavantaj al testului clasic de îmbătrânire este durata lungă necesară în cazul în care el se realizează numai în condiții termice. Reducerea timpului de încercare este posibilă prin utilizarea testelor de îmbătrânire accelerată, cum ar fi: Testul de căldură umedă (DH), testul de stres rapid accelerat (HAST) [40, 43]. În cazul modelelor DH și HAST se utilizează modelul Arrhenius (temperatură) și modelul Peck, acesta din urmă fiind un model termodinamic statistic (temperatură și umiditate).

Testele accelerate de îmbătrânire sunt efectuate în camera climatică, unde este dificil să se utilizeze sursa de lumină. Ca o consecință, în testele de îmbătrânire accelerată menționate mai sus, degradarea indusă de lumină nu este luată în considerare și măsurarea caracteristicilor celulelor fotovoltaice I-V se face în condiții de întuneric [43].

Din aceste considerente, în cadrul aceleiași echipe, alături de: prof. dr. fiz. Cotfas Daniel Tudor, prof. dr. fiz. Cotfas Petru Adrian, conf. dr. ing. Floroian Dan, am propus un sistem pentru un nou test de îmbătrânire accelerat pentru celulele fotovoltaice, utilizând lumina concentrată. El a fost testat la Laboratorul de Tehnologie Solară, Institutul Paul Scherrer (PSI), din Villigen, Elveția, în cadrul unui proiect finanțat de Uniunea Europeană, Contract nr. 228296/2012, grant European,

program: Solar Facilities for the European Research Area, CORDIS FP7-INFRASTRUCTURES, *The study of the evolution of the photovoltaic cells parameters during the ageing process using the concentrated light and the temperature-* stagiul 2014.

Cercetarea începută în cadrul acestui proiect a fost încununată de succes și prin obținerea unui brevet de invenție: D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, D. Floroian, **L. Floroian**, *Metodă și dispozitiv de testare accelerată a timpului de îmbătrânire a celulelor fotovoltaice – ARCL, CBI A/00557/31.07.15 (BI RO 130952 A0)*.

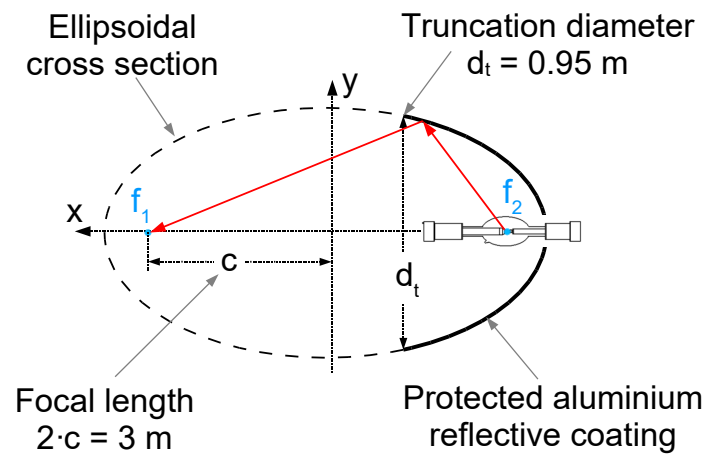
Montajul experimental pentru testul de îmbătrânire accelerată în lumină concentrată conține: simulatorul solar cu flux înalt (HFSS), sistemul de măsurare și diferite tipuri de celule fotovoltaice.

Simulatorul solar cu flux înalt conține o matrice de zece lămpi cu arc de xenon de înaltă presiune (Ushio UXW, 15 kW) răcite cu apă, așa cum se poate vedea în figura 34a. HFSS a fost proiectat și construit pentru aplicații solare cu lumină concentrată și neconcentrată [44]. Lămpile cu arc cu xenon de mare putere sunt cele mai utilizate ca surse de radiație [45], radiația lor fiind concentrată cu ajutorul unui reflector special conceput. Aceste arce produc, de regulă, radiații în regiuni vizibile ale spectrului, dar au unele componente în regiunile ultravioletă și infraroșie ale spectrului. Pentru a obține distribuția spectrală aproape de spectrul solar AM1.5 (masa de aer) pot fi utilizate filtre optice [46]. Reflectorul, în cazul în care lampa este montată, este proiectat ca o elipsoidă trunchiată (Fig. 34b). Reflectorul optimizat prezintă o distanță focală de 3,0 m, iar designul lămpii este realizat astfel încât cea mai strălucitoare parte a arcului să coincidă cu focarul primar al reflectorului.

Testele de îmbătrânire accelerată în lumină concentrată au fost efectuate utilizând patru celule fotovoltaice care au fost iluminate cu 170 de sori ($1000 \text{ W} / \text{m}^2 = 1 \text{ soare}$). În aceste condiții, a fost suficient să folosim o singură lampă pentru a ne atinge obiectivul, așa cum se arată în figura 35.



a)



b)

Fig. 34. Simulatorul solar cu flux înalt la PSI

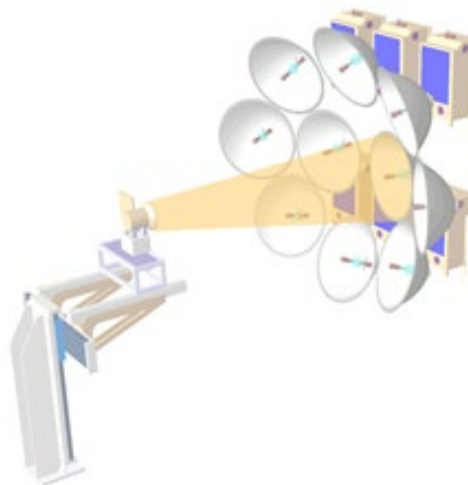


Fig. 35. Schema sistemului HFSS al PSI atunci când utilizează o singură lampă [12]

Sistemul de răcire

Sistemul de răcire este unul dintre sistemele de bază din acest montaj, deoarece temperatura celulelor fotovoltaice expuse la lumina concentrată de 170 de sori va crește rapid și celulele fotovoltaice vor fi deteriorate dacă nu vor fi răcite suficient. El a fost realizat în scopul menținerii temperaturii celulelor fotovoltaice la o valoare cvasi-constantă, și constă în: vas de răcire cilindric, conducta pompei și rezervorul de apă (a se vedea figura 36), toate funcționând sub parametrii temperatură-presiune controlate automat [47].

Vasul de răcire cilindric este realizat din aluminiu și are două părți sudate împreună în condiții specifice, pentru a asigura un debit foarte bun de apă în interiorul dispozitivului și o temperatură cvasi-constantă pentru baza vasului, unde sunt montate celulele fotovoltaice. Diametrul orificiilor de evacuare este calculat pentru a asigura un debit corespunzător în vasul de răcire și pentru a evita apariția bulelor de aer în apă, în scopul de a menține o presiune specifică necesară păstrării conductivității termice în limitele proiectate.

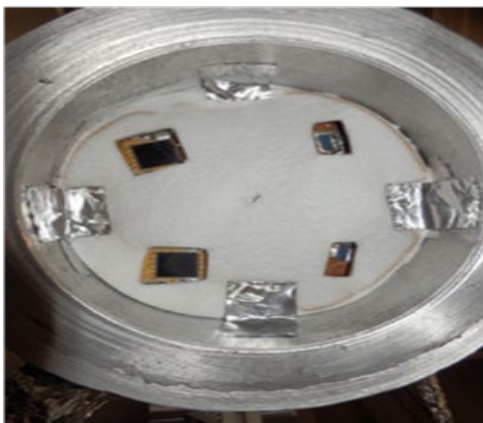


Fig. 36. Sistemul de răcire

Vasul de răcire are niște găuri care permit conectarea celulelor fotovoltaice cu sistemul de măsură și, de asemenea, pentru fixarea termocuplelor utilizate pentru măsurarea temperaturii celulelor fotovoltaice. Sistemul pompei este automatizat și asigură un debit reglabil al lichidului de răcire. Debitul a fost stabilit la 7 l / min pentru toate măsurătorile.

Sistemul de măsurare

Sistemul de măsurare constă într-un circuit electronic - pentru a măsura caracteristica I-V a celulelor solare, un suport, o placă de achiziție cRIO și un PC comandat la distanță (prin rețeaua

Ethernet) cu LabVIEW, a se vedea figura 37.

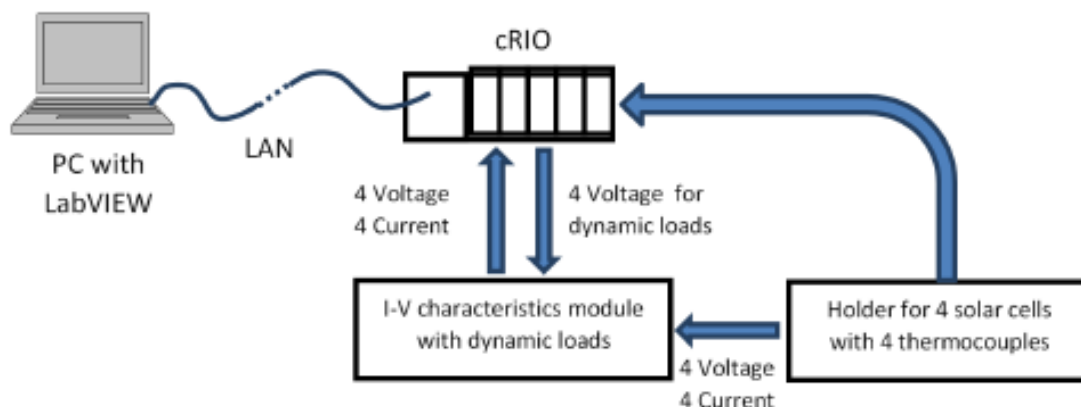


Fig. 37. Schema sistemul de măsurare

Sistemul de măsurare permite măsurarea caracteristicilor I-V, determinarea puterii maxime și a temperaturii pentru fiecare dintre cele patru celule fotovoltaice efectuate în timpul procesului de îmbătrânire a celulelor fotovoltaice. Camera termică servește drept legătură de back-up pentru a monitoriza temperatura sistemului, iar un sistem de alarmă independent supraveghează supraîncălzirea celulelor fotovoltaice.

Celulele fotovoltaice alese pentru acest experiment sunt: două celule fotovoltaice InGaP/InGaAs/Ge multijonctiune cu o suprafață de 1 cm^2 și două celule fotovoltaice de siliciu monocristalin de $0,3 \text{ cm}^2$.

Ele au fost lipite pe plăcile de cupru mici, care au un contact termic foarte bun cu vasul de răcire, dar sunt izolate electric. Cele patru termocupluri K utilizate pentru măsurarea temperaturii celulelor fotovoltaice sunt montate în contact intim cu plăcile de cupru.

Sistemul de măsurare a fost dezvoltat pe platforma NI cRIO 9074 echipată cu următoarele module [48]:

- NI 9215 -16 biți patru canale de intrare analogice simultan eşantionate dedicate pentru măsurarea tensiunii celulelor solare,
- NI 9227 - 24 biți patru canale de intrare analogice simultan eşantionate dedicate măsurării curentului celulelor solare,
- I / O digital bidirecțional NI 9401 - 8 dedicat declanșării independente a celor patru celule solare I-Vmăsurarea caracteristicilor,

- NI 9211 - patru canale termocupluri eşantionate simultan pentru măsurarea temperaturii fiecărei celule solare,
- NI 9269 - patru module izolate de ieşire analogică canal-canal utilizate pentru controlul sarcinii aplicate celulei solare în timpul perioadei de expunere.

Platforma NI cRIO a fost aleasă din cauza posibilităţii de a construi un sistem autonom de monitorizare care să funcţioneze fără controlul calculatorului. Acest lucru este important deoarece procesul de îmbătrânire este un proces de lungă durată. PC-ul a fost folosit doar pentru vizualizarea măsurărilor şi pentru pornirea şi oprirea aplicaţiei de măsurare. Datele măsurate au fost stocate în memoria internă a platformei cRIO. La sfârşitul procesului, fişierul rezultat a fost mutat de pe platforma cRIO la PC pentru a fi analizat. Toate aplicaţiile au fost construite în NI LabVIEW cu add-on pentru LabVIEW FPGA.

Pentru măsurarea caracteristicilor I-V a fost utilizată metoda condensatorului [35]. Circuitul electronic pentru acest lucru a fost realizat în laboratorul nostru şi are patru canale independente (câte unul pentru fiecare celulă solară). Circuitul include posibilitatea de a aplica o sarcină controlată pentru fiecare celulă fotovoltaică între două măsurători succesive ale caracteristicilor I-V. Încărcarea dinamică a fost construită pe baza unui MOSFET controlat de modulul NI 9269. În modul automat sarcina a fost fixată la valori care păstrau celula solară în punctul de putere maximă pe baza unui algoritm PID. Punctele de putere maximă au fost calculate pentru fiecare caracteristică I-V măsurată.

Aplicaţia PC utilizată pentru vizualizarea datelor măsurate din cRIO este prezentată în figura 38. Această aplicaţie permite începerea procesului de măsurare, trimiterea parametrilor de măsurare precum şi a parametrilor pentru controlul încărcării dinamice aplicate celulei solare. Iluminarea dorită pe cele patru celule fotovoltaice a fost obţinută prin poziţionarea lor corespunzătoare, pe zona albastră din harta fluxului radiativ ce corespunde la 170 de sori, ca în figura 39. Distribuţia fluxului a fost măsurată utilizând o ţintă acoperită cu Al_2O_3 şi o cameră CCD.

Ţinta şi vasul cilindric au fost montate pe masa XYZ astfel încât celulele fotovoltaice să fie în acelaşi plan cu ţinta şi centrul vasului la aceeaşi înălţime cu centrul ţintei. Distribuţia fluxului a fost măsurată pe ţintă şi după aceea vasul a fost mutat în loc de ţintă.

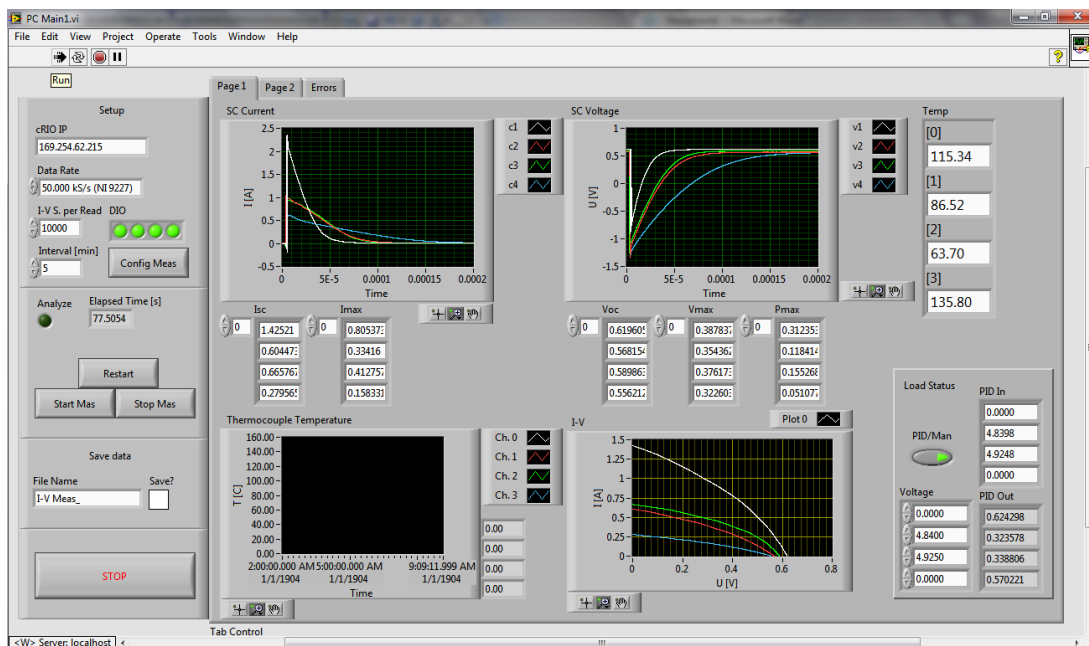


Fig. 38. Interfața utilizator a aplicației de monitorizare PC

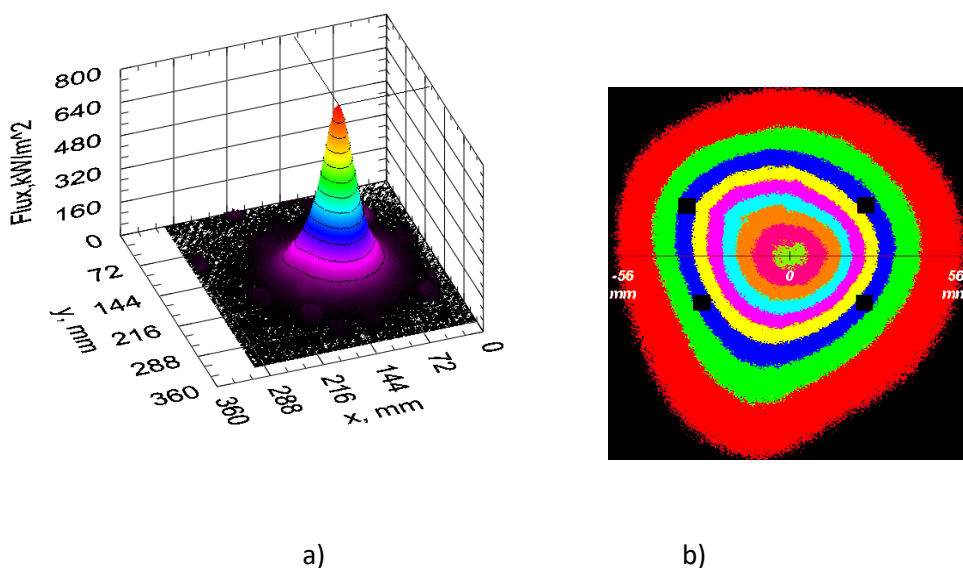


Fig. 39. Harta fluxului radiativ (a) și poziționarea celulelor fotovoltaice (b)

Există două efecte nedorite semnificative care apar atunci când lumina concentrată cade pe celulele fotovoltaice: degradarea indusă de lumină și degradarea termică, deoarece moleculele la temperatură mai ridicată au o viteză mare și numărul coliziunilor crește.

La început, nivelul iluminărilor a fost mărit pas cu pas până la 170 de sori, pentru a verifica fiabilitatea sistemului, apoi în următoarele patru zile au fost efectuate măsurători durate

testului fiind de șapte ore în fiecare zi. Intensitatea luminii a fost menținută constantă pe întreaga perioadă de măsurare și de asemenea, fluxul de apă a fost menținut constant.

Caracteristicile I-V și temperatura pentru fiecare dintre celulele fotovoltaice au fost măsurate la fiecare cinci minute și datele au fost achizionate. Puterea maximă a celulelor fotovoltaice a fost determinată în timp real, în timpul măsurărilor, pentru a vedea dacă se întâmplă ceva relevant. Măsurătorile arată că puterea maximă a celulelor fotovoltaice scade mai repede pentru celulele fotovoltaice de siliciu monocristalin decât pentru celulele fotovoltaice InGaP/InGaAs/Ge.

Una dintre celulele fotovoltaice a fost măsurată cu sarcină, iar cealaltă a fost măsurată fără sarcină pentru fiecare dintre cele două perechi de celule, pentru a le analiza comportamentul de îmbătrânire în cazul în care acestea funcționează sau nu. Măsurătorile arată o îmbătrânire mai rapidă pentru celulele fotovoltaice utilizate fără sarcină, decât cele utilizate cu sarcină.

Caracteristicile I-V și P-V ale celulelor fotovoltaice au fost măsurate în aceleași condiții la 1000 W / m^2 înainte și după încercarea accelerată a îmbătrânirii (28 ore, 170 de sori și $130 \text{ }^\circ\text{C}$) și sunt prezentate mai jos [49]. Figura 40 prezintă caracteristicile I-V și P-V măsurate pentru celula fotovoltaică de siliciu monocristalin fără sarcină înainte și după îmbătrânirea accelerată. Analizând rezultatele se observă că I_{sc} scade cu $3,9\% \pm 0,1\%$, tensiunea circuitului deschis scade cu $5,4 \pm 0,1\%$, iar puterea maximă scade cu $18,2\% \pm 0,2\%$.

Forma caracteristicilor I-V după procesul de îmbătrânire în jurul punctului de maximă putere prezintă o modificare importantă. Acest lucru poate fi explicat prin creșterea rezistenței în serie, R_s , și scăderea rezistenței șuntului, R_{sh} .

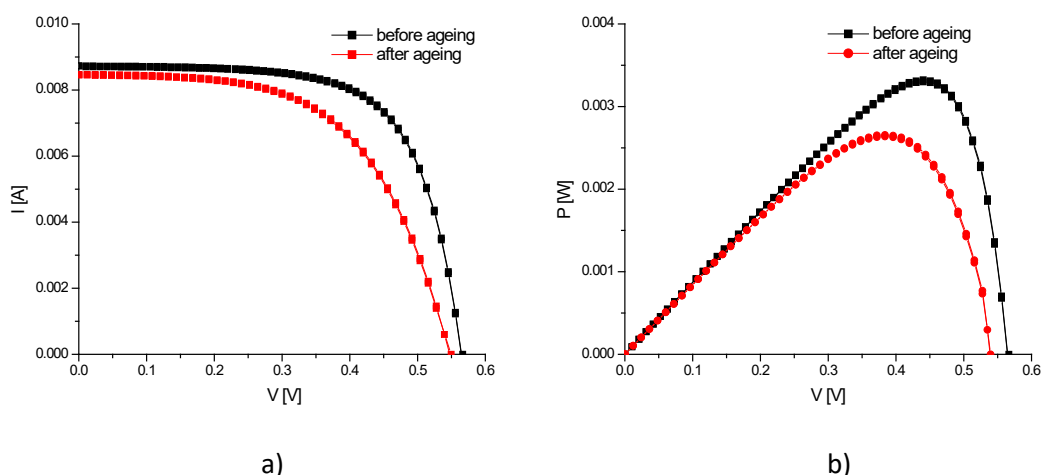


Fig. 40. Caracteristicile I-V (a) și caracteristicile P-V pentru celula fotovoltaică de siliciu monocristalin fără încărcare, înainte și după procesul de îmbătrânire

Caracteristicile I-V și P-V măsurate pentru celula fotovoltaică multi-jonctiune InGaP/InGaAs/Ge fără sarcină înainte și după încercarea accelerată sunt prezentate în figura 41. Puterea maximă scade cu $1,5\% \pm 0,1\%$, în timp ce I_{sc} și V_{oc} rămân cvasi-constante după procesul de îmbătrânire. Forma caracteristicilor I-V măsurate după procesul de îmbătrânire rămâne aproape neschimbată, fiind observat numai efectul creșterii ușoare a rezistenței în serie.

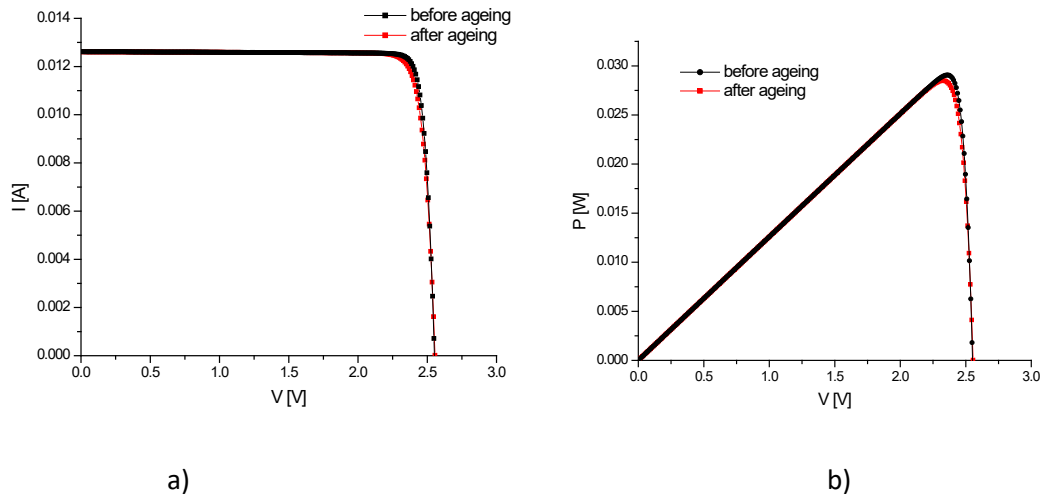


Fig. 41. Caracteristicile I-V (a) și caracteristicile P-V pentru celula fotovoltaică multijonctiune de InGaP/InGaAs/Ge fără încărcare, înainte și după procesul de îmbătrânire

III. SISTEME DE DETECȚIE ȘI CONTROL APLICATE ÎN MEDICINĂ

III.1. MODEL DINAMIC CU ORDINE FRAȚIONALĂ DE TIP INSULINĂ - GLUCOZĂ

În această direcție de cercetare am făcut un studiu asupra unei noi abordări asupra controlului concentrației glucozei în sânge. Soluția propusă implică folosirea teoriei de ordin fracționar pentru modelul dinamic insulină-glucoză cât și pentru proiectarea regulatorului. Modelul fracționar pentru modelul dinamic insulină-glucoză este derivat din modelul minimal deja cunoscut, prin înlocuirea derivatelor de ordin întreg cu cele de ordin fracționar. Apoi, calculul de ordin fracționar este folosit și în cazul teoriei controlului adaptiv cu model de referință, mai precis în determinarea mecanismului de ajustare a parametrilor regulatorului. În urma simulărilor efectuate se pot observa performanțele sistemului prin reducerea concentrației de glucoză în sânge.

Deși calculul de ordin fracționar are o istorie îndelungată în matematică, ideea utilizării sale în ingineria de control este relativ nouă. Primele aplicații ale controlului de ordin fracționar au fost prezentate de Oustaloup, în cazul reguletoarelor CRONE [50] și generalizate de Podlubny în [51] (reguletoare PID de ordin fracționar - $PI^{\alpha}D^{\beta}$). Principala restricție a fost absența soluțiilor pentru ecuațiile diferențiale de ordin fracționar. De asemenea, complexitatea părții matematice și puterea de calcul scăzută disponibilă cu câteva decenii în urmă, limitează utilizarea acesteia în inginerie. Cu toate acestea, în prezent, sunt disponibile numeroase metode de aproximare a derivatelor de ordin fracționar cât și a integralelor, astfel numărul de aplicații care utilizează calculul de ordin fracționar crește rapid, inclusiv în cazul modelării și controlul proceselor. În sistemele de control, motivația pentru o astfel de abordare ar fi faptul că cele mai multe procese reale sunt de ordin fracționar, deci un model de ordin fracționar ar descrie dinamica reală mai precis decât un model de ordin întreg. Numeroase exemple sunt prezentate în [50-53]. Când există un astfel de model, utilizarea unui regulator de ordin fracționar este rezonabilă, deoarece metodele de proiectare pentru astfel de reguletoare au fost, de asemenea, dezvoltate și testate în aplicații. Mai mult, mulți autori au subliniat faptul că un regulator de ordin fracționar poate funcționa mai bine decât unul de ordin întreg [54-56]. Alte probleme comune în teoria sistemelor, cum ar fi analiza stabilității, a controlabilității, a observabilității, a performanțelor și așa mai departe, au fost studiate și în cazul sistemelor de control de ordin fracționar.

În cazul sistemelor de ordin fracționar în buclă închisă, există patru situații: i) proces de ordin întreg cu regulator de ordin întreg; ii) proces de ordin întreg cu regulator de ordin fracționar; iii) proces de ordin fracționar cu regulator de ordin întreg; iv) proces de ordin fracționar cu regulator de ordin fracționar. Acesta din urmă este folosit în această lucrare.

O abordare și mai nouă este de a combina calculul de ordin fracționar cu concepte sau metode de control adaptiv, pentru a depăși riscurile impuse de variația parametrilor. Conceptele de reglare în ceea ce privește sistemele adaptive cu model de referință și mecanismul de ajustare a parametrilor folosind metoda MIT [57] sunt modificate rezultând un sistem de referință de ordin fracționar ce utilizează o metodă de ajustare a parametrilor MIT de ordin fracționar [58]. Acesta din urmă propune o modificare a regulii MIT convenționale în care ajustarea parametrilor se face cu o ecuație diferențială de ordin fracționar. Metoda este denumită control adaptiv cu regulă de ajustare a parametrilor de ordin fracționar.

Împreună cu colegii șef lucrări dr. ing. Simona Coman și șef lucrări dr. ing. Cristian Boldișor din Departamentul de Automatică și Tehnologia Informației, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, am reușit să aplicăm teoria referitoare la controlul adaptiv de ordin fracționar pentru simularea dinamicii unui sistem de control al concentrației glucozei din sânge. Mai precis, simulăm un sistem de control adaptiv în care regula de ajustare a parametrilor se face prin ecuații diferențiale de ordin fracționar. Pentru simulări se utilizează modelul de ordin fracționar al dinamicii insulină-glucoză. Pentru acest model, am modificat regula convențională MIT, deci mecanismul de ajustare a parametrilor folosind metoda MIT este unul de ordin fracționar. Motivația pentru folosirea calculului de ordin fracționar în controlul adaptiv cu model de referință este justificată de performanțele obținute în raport cu cele de ordin întreg.

Modelul minimal insulină-glucoză de ordin fracționar

Multe modele neliniare de tip insulină-glucoză au fost propuse de-a lungul anilor, validate prin simulări și studii clinice. Au fost luate în considerare diferite abordări. Unele modele se concentrează asupra detaliilor fenomenelor biologice, în timp ce altele sunt simplificate pentru a le folosi în proiectarea sistemelor de control al glucozei. Cel mai utilizat este modelul minimal, care se bazează pe modelul introdus de Bergman [59] și adaptat de Cobelli și colab. [60] pentru pacienții cu diabet zaharat de tip 1. Modelul minimal oferă posibilitatea utilizării teoriei controlului (convenționale sau avansate) pentru reglarea automată a glicemiei. Modelul descrie

dinamica concentrației de glucoză din sânge în funcție de rata de livrare externă a insulinei. În această abordare, noi considerăm un model de ordin fracționar, bazat pe modelul minimal, în care înlocuim versiunile originale de ordin întreg cu cele cu ordin fracționar. Modificarea introduce un nou parametru, ordinul de derivare, $\alpha \in (0,1]$, care este o modalitate alternativă de a înregistra răspunsul particular al pacientului la injecția de insulină. Modelul este descris ca [61]:

$$\begin{aligned} D_t^\alpha G(t) &= -[p_1 + X(t)]G(t) + p_1 G_b + m(t) \\ D_t^\alpha X(t) &= -p_2 X(t) + p_3 I(t) \\ D_t^\alpha I(t) &= -nI(t) + \tau u(t) \end{aligned} \quad (8)$$

unde D_t^α se referă la derivata în timp de ordin fracționar.

Variabilele din model sunt :

- $G(t)$ [mg / dl] este concentrația glucozei din sânge, cu valoarea bazală
- $G_b, X(t)$ [1 / min] este răspunsul dinamicii insulinei,
- $I(t)$ [mU / L] este concentrația de insulină din sânge,
- $m(t)$ [mg / min] o intrare perturbatoare (cantitate extra de glucoză ca urmare a unei mese).

Intrarea sistemului este rata de insulină exogenă $u(t)$, iar ieșirea este concentrația de glucoză din sânge $G(t)$. Parametrii modelului minimal sunt descriși în tabelul 8, împreună cu domeniul de valori. Valorile "nominale" utilizate în simulările efectuate pentru acest studiu sunt luate din [62].

Diferite seturi de valori (specifice pacientului) pot fi găsite în literatură [61-63].

Tabelul 8 Parametrii modelului minimal

Parametru	Descriere	Unitate	Domeniu	Valoare
p_1	rata de absorbție a glucozei independentă de insulină în mușchi	1/min	[0, 0.0375]	0.0337
p_2	viteza de scădere a glucozei în țesut	1/min	[0.02, 0.025]	0.0209
p_3	creșterea absorbției glucozei tisulare dependentă de insulină	L/(mU×min ²)	[6×10 ⁻⁵ , 13×10 ⁻⁶]	7.51×10 ⁻⁶
n	viteza de scădere a insulinei în sânge	1/min	-	0.214
τ	factor de conversie a intrărilor de insulină	1/L	-	1/12
G_b	nivelul bazal al concentrației de glucoză	mg/dL	-	81

Proiectarea unui regulator adaptiv de ordin fracționat

În diabetul zaharat de tip 1, pancreasul nu produce insulină. Pentru a reduce nivelurile de glucoză din sânge, insulina exogenă trebuie livrată prin doze de câteva ori pe zi. Un dispozitiv automat de administrare a insulinei poate îmbunătăți semnificativ viața pacientului.

Sistemele cu buclă închisă pentru eliberarea automată a insulinei sunt prezentate în literatură.

În [64] un astfel de sistem conține trei elemente: un senzor de glucoză implantabil, o pompă și un algoritm de control (figura 42). Prima și a doua componentă au fost studiate și dezvoltate [65], iar dispozitive fiabile sunt deja disponibile. Cea mai importantă parte, încă în curs de studiere, rămâne îmbunătățirea algoritmului de control. Regulatorul trebuie să calculeze rata de livrare a insulinei, astfel încât glicemia să rămână la nivelul necesar atunci când apare o extra cantitate de glucoză. În același timp, sistemul trebuie să evite hipoglicemia. Mulți algoritmi de control au fost testați pe modelul minimal sau pe o versiune linearizată a acestuia: derivat proporțional-integrativ, model predictiv, logică fuzzy, H-inf și așa mai departe [66, 67].

Pentru a proiecta un sistem adaptiv de ordin fracționat, pentru modelul nelinier insulină-glucoză, am făcut o modificare a schemei originale a Sistemelor Adaptive cu Model de Referință (MRAS) în care modelul insulină-glucoză și mecanismul de ajustare conțin derivate de ordin fracționat. Schema este descrisă în figura 43. Sistemul de control conține două bucle: o buclă exterioară pentru adaptare și o buclă interioară pentru stabilitatea sistemului.

Pentru a determina algoritmul de control adaptiv de ordin fracționat, am pornit de la metoda de ajustare a parametrilor MIT, luând în considerare modelul liniar de ordin fracționat insulină-glucoză. Linearizarea convențională în jurul unui punct static de funcționare este aplicată la prima ecuație din (1), ca în [62] sau [68].

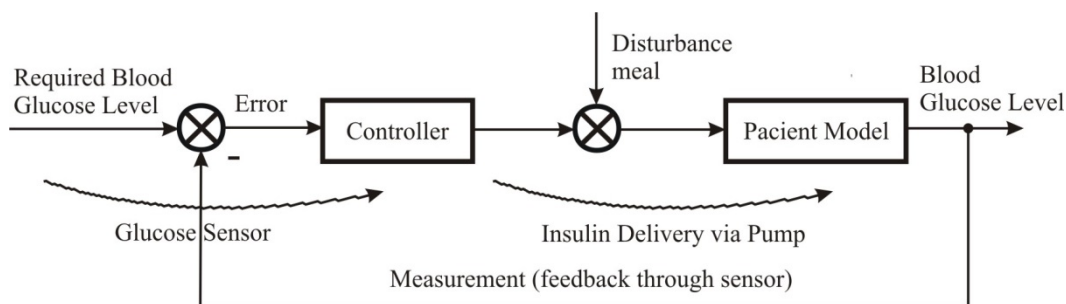


Fig. 42. Diagrama bloc a sistemelor obișnuite de insulină-glucoză cu buclă închisă

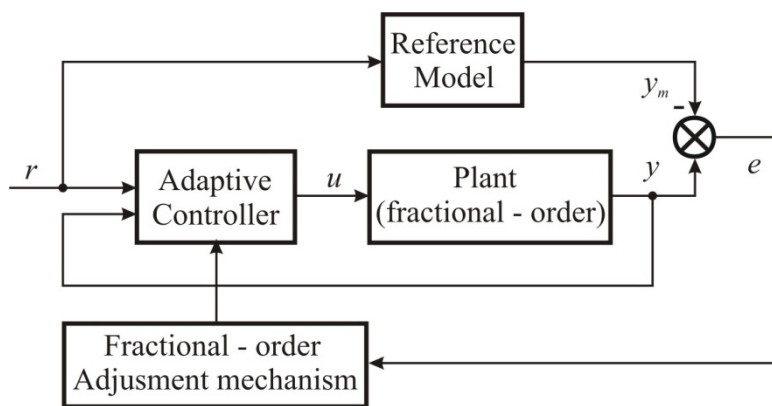


Fig. 43. Schema sistemului adaptiv cu model de referință de ordin fracționar pentru modelul insulină-glucoză.

Modelul linearizat poate fi exprimat sub forma unei funcții de transfer de ordin fracționar, care este utilizat în continuare pentru a determina parametrii regulatorului din legea de reglare adaptivă.

Răspunsul dorit al sistemului de control de ordin fracționar este dat de un model de referință care se alege în prealabil. În acest caz, se poate seta un model simplu de referință de ordinul întâi, cu o constantă de timp de 30 de minute, ceea ce înseamnă că, atunci când concentrația de glucoză din sânge este la o valoare ridicată, sistemul ar trebui să o reducă până la valoarea bazală în două până la patru ore.

Simulari și rezultate

Pentru a simula și a evalua performanțele sistemului de control în buclă închisă, s-au folosit schema Matlab-Simulink și toolboxul FOMCON.

Pentru simulări este luat în considerare modelul neliniar de ordin fracționar insulină-glucoză din (1). (Cel liniar se folosește doar pentru proiectarea regulatorului adaptiv de ordin fracționar). Scopul este de a menține nivelul de concentrație a glucozei la valori sigure după ce pacientul a luat masa. Perturbația în acest caz este rata de absorbție a glucozei în funcție de timp. Am considerat modelul de absorbție a glucozei din [69]:

$$m(t) = \frac{D_g A_g t e^{(-t/t_{\max})}}{t_{\max}^2} \quad (9)$$

Unde D_g [g] este cantitatea de carbohidrați din masă (o valoare incertă, dar în multe simulări este de 50-60 de grame), $A_g = 0.8$ este o constantă care se referă la fracțiunea de glucoză

absorbită dintr-o masă și t_{\max} este momentul când absorbția este la valoarea sa maximă, care de obicei este de aproximativ 40 de minute de la începerea mesei.

Am presupus că, concentrația inițială a glucozei din sânge a pacientului este $G_b=80$ [mg/dL] și după o masă cu $D_g = 60$ g carbohidrați această valoare va crește. (masa este luată la 60 de minute). Soluția propusă pentru sistemul nelinier de ordin fracționar în buclă închisă reduce concentrația de glucoză la valoarea inițială, G_b (figura 44).

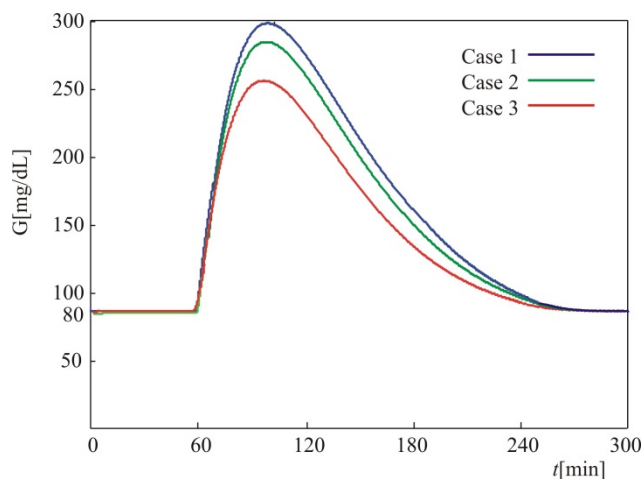


Fig. 44. Răspunsul la concentrația de glucoză

S-au folosit trei scenarii de simulare, cu diferite valori pentru derivatele de ordin fracționar [70] (răspunsurile specifice pacientului implică simulări cu diferite valori pentru α):

- cazul 1: $\alpha=1$ și $\alpha_1=0,5$;
- cazul 2: $\alpha=0,9$ și $\alpha_1=0,5$;
- cazul 3: $\alpha=0,7$ și $\alpha_1=0,5$.

Ca observație, simulările au fost efectuate pentru valorile nominale ale parametrilor modelului, folosind aceeași lege de reglare în toate cazurile, cu viteza de adaptare $\gamma=0.1$.

Răspunsul sistemului folosind regulatorul adaptiv de ordin fracționar aplicat modelului nelinier insulină-glucoză, arată că concentrația de glucoză este redusă la valoarea inițială (bazală) într-un interval de două-patru ore. Concentrația glucozei în sânge a crescut în mod diferit, chiar dacă aceeași cantitate de carbohidrați a fost consumată de toți pacienții.

De asemenea, beneficiile metodei propuse pot fi văzute prin analiza semnalului de eroare (trebuie redus la zero, așa cum se vede în figura 45).

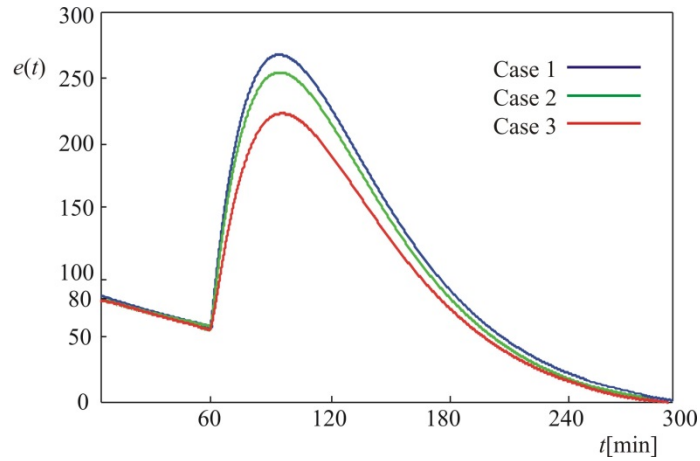


Fig. 45. Variația erorilor

Apoi, utilizând aceeași lege de reglare și menținând $\alpha=0,7$, parametrii modelului insulină-glucoză se modifică și timpul de răspuns al concentrației de glucoză pentru fiecare caz este prezentat în figura 46, iar variațiile erorii în figura 47:

Comparând răspunsurile concentrației de glucoză la cazul nominal [70], se poate concluziona că, folosind aceeași lege de reglare, în toate cazurile, concentrația de glucoză atinge nivelul bazal în intervalul de timp dorit, iar eroarea este redusă la zero, așa cum era de așteptat.

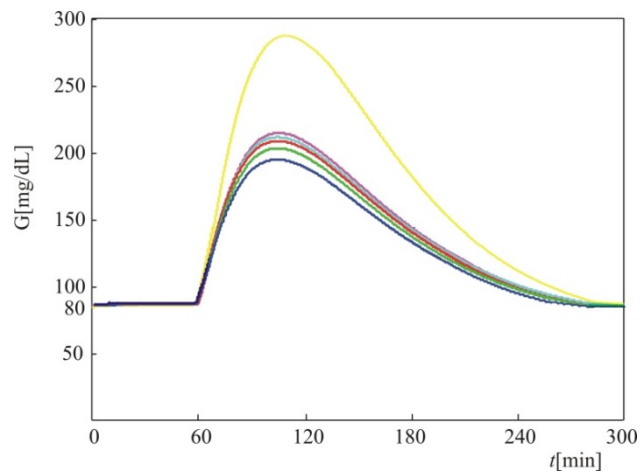


Fig. 46. Variația concentrației de glucoză pentru diferite seturi de valori ale parametrilor

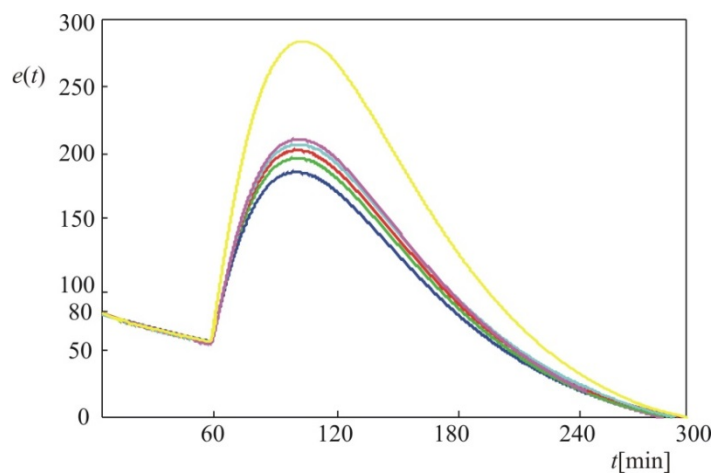


Fig. 47. Variațiile erorii pentru diferite seturi de valori ai parametrilor

Pentru pacienții cu diabet zaharat de tip 1, un dispozitiv care poate furniza în mod automat insulină pe baza valorilor măsurate ale concentrației de glucoză îmbunătățește semnificativ viața. Cu toate acestea, un astfel de dispozitiv ar trebui să funcționeze eficient pentru diferiți pacienți sau situații. Pe lângă faptul că acționează într-un interval de timp rezonabil pentru a reduce concentrația de glucoză de la valori ridicate (când a ajuns deja) la valori sigure, un astfel de dispozitiv automat ar trebui să evite întotdeauna stările de hipoglicemie. În ingineria de control, aceste două cerințe de bază se traduc în timpul de stabilire și lipsa suprareglajului.

Pentru a obține un astfel de mod de operare pentru diferiți parametri ai dinamicii modelului insulină-glucoză, ar putea fi implementat un algoritm de control adaptiv. În acest context, noi am propus o nouă abordare pentru a controla dinamica sistemului insulină-glucoză în buclă închisă. Am propus un regulator adaptiv de ordin fracționar care ajustează parametrii săi în raport cu modelul insulină-glucoză de ordin fracționar. Noul model este derivat din modelul minimal cunoscut, prin înlocuirea derivatelor de ordin întreg cu cele de ordin fracționar. Noul model captează, de asemenea, răspunsul specific fiecărui pacient adăugând un nou parametru: ordinul derivatelor de ordin fracționar.

Simulările demonstrează că intervalul dorit pentru reducerea concentrației de glucoză este atins pentru diferiți pacienți virtuali (seturi diferite de parametri), fără a se obține hipoglicemie.

III.2. DEZVOLTAREA DE METODE INOVATIVE DE DETECȚIE ÎN ȘTIINȚELE VIEȚII CU SENZORI ȘI BIOSENZORI

Data fiind formarea mea profesională de fizician, o preocupare constantă a fost dezvoltarea și integrarea tehnicilor clasice și moderne de analiză din fizică în alte domenii, de exemplu cu scopul detecției unor compuși de importanță biomedicală.

Combinarea rezultatelor științifice și aplicarea lor în cadrul proiectelor de cercetare sau educaționale în care am activat și activez, realizarea unor studii interdisciplinare, precum și transmiterea acestor abilități tinerilor studenți atât ai Facultății de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, cât și ai Facultății de Medicină din Brașov, sunt priorități ale dezvoltării mele academice.

III.2.1. Metode de detecție și analiză a micotoxinelor

Detecția ochratoxinei A (OTA) sau a aflatoxinei B1 în produsele utilizate atât pentru alimentația omului, cât și în hrana animalelor, reprezintă o importantă etapă în prevenția apariției intoxicațiilor și a complicațiilor acestora. Pentru a fi eficiente, metodele și testele utilizate în acest scop trebuie să prezinte specificitate, precum și o mare sensibilitate, dat fiind faptul că valorile concentrațiilor de micotoxine sunt extrem de mici (de ordinul ng sau ppb). De asemenea, raportul cost-eficiență este mereu luat în calcul în momentul implementării unor astfel de metode de analiză, care trebuie să fie metode ușor de utilizat. Analizele directe au drept scop determinarea cantitativă a micotoxinelor din diverse produse alimentare sau biologice (sânge, plasmă, urină).

III.2.1.1. Analize optice

S-au remarcat proprietățile fluorescente ale unor micotoxine (ochratoxine și aflatoxine), ceea ce le oferă posibilități de analiză specifice. Sistemele de analiză de fluorescență nou dezvoltate oferă avantajul portabilității și a posibilității de analiză in situ [71]. Există posibilitatea cuplării cu sisteme de cromatografie în strat subțire (TLC, HPTLC) sau în lichide (HPLC), realizându-se astfel detecția specifică a acestora [72].

Studii specifice s-au inițiat folosind o tehnică de mare noutate – rezonanța plasmonilor de suprafață (SPR)- surface plasmon resonance, pentru detecția ochratoxinei A (OTA), folosind

dispozitivul experimental de la Centrul International de Biodinamică București (prin colaborarea doamnei dr. Alina Vasilescu).

SPR este o metodă optică, care este foarte sensibilă la variații mici ale indicelui de refracție în imediata apropiere a unui strat metalic subțire și permite detectarea evenimentelor de legare în timp real [73]. Tehnica SPR a fost utilizată anterior pentru detectarea multor toxine și alergeni relevante pentru siguranța alimentară [74]. Metoda noastră de detectare [75] se bazează pe competiția dintre moleculele de OTA libere și moleculele de OTA marcate cu peroxidază de hrean (OTA-HRP) din soluție pentru site-urile de legare la anticorpii anti-OTA, imobilizați anterior pe suprafața cipului SPR. Pentru a permite imobilizarea covalentă a anticorpului anti-OTA folosind carbodiimida și pentru a preveni adsorbția nespecifică, cipul SPR a fost acoperit cu un monostrat auto-asamblat dintr-un tiol ce conține șase grupări etilenglicol și o grupare finală carboxilică. În configurația respectivă, OTA-HRP a fost adăugat pe suprafața sensorului SPR timp de 15 minute, în absența sau în prezența unor concentrații diferite de OTA libere. Concentrația mare de OTA libere în soluție, determină un semnal mai mic, mai puțin conjugat OTA-HRP fiind legat la nivelul anticorpului anti-OTA. O soluție care a conținut 11 ng OTA /mL a determinat o scădere a răspunsului sensorului (46%) comparativ cu semnalul în absența OTA. S-au realizat etape de optimizare ale metodei. Analiza extractelor de plante în diferite amestecuri de solvenți a permis identificarea amestecului acetonitril: sistem tampon fosfat ca cel mai bun sistem de extractive, cu solvent compatibil cu formatul nostru de detectare prin SPR. Procedurile de amplificare de semnal trebuie să fie luate în considerare în continuare pentru îmbunătățirea sensibilității metodei.

III.2.1.2. Metode bazate pe biosenzori

Bazându-se pe interacțiunea receptor-receptat, diferite specii biologice active se pot utiliza atât în coloane cromatografice pentru separarea/purificarea substanțelor de interes, cât și imobilizate pe traductori fizici pentru obținerea de biosenzori - anticorpi [76], aptameri [77, 78] sau polimeri imprimați molecular [79].

Imunosenzori bazați pe sisteme avidină/biotină-OTA au prezentat caracteristici de performanță îmbunătățită [80]. S-au comparat performanțele anticorpilor policlonali și monoclonali anti-OTA obținându-se valori IC(50) cu cel puțin un ordin de mărime mai mic atunci când se lucrează cu anticorpi monoclonali. S-au fost folosit ca markeri pentru anticorpii secundari - fosfataza

alcalină și peroxidaza de hrean. Metodele au fost evaluate și optimizate ca instrumente utile de screening pentru evaluarea nivelurilor de OTA în vin.

În cadrul proiectului PlantLIBRA am participat activ la dezvoltarea unui imunosenzor obținut prin imobilizarea anticorpilor anti-OTA pe electrozi de aur modificați cu albumină serică bovină [81]. S-au utilizat patru etape de lucru pentru modificarea electrodului de aur până la detecția finală a probei de OTA. Modificările corespunzătoare fiecărei etape au fost analizate cu ajutorul voltametriei ciclice (Fig. 48a), și prin spectroscopie de impedanță electrochimică (Fig. 48b). Modificarea impedanței datorită reacției specifice antigen-anticorp la suprafața imunosenzorilor, a fost utilizată pentru a detecta ochratoxina A, datorită variației liniare a rezistenței transfer de sarcină în funcție de concentrația OTA.

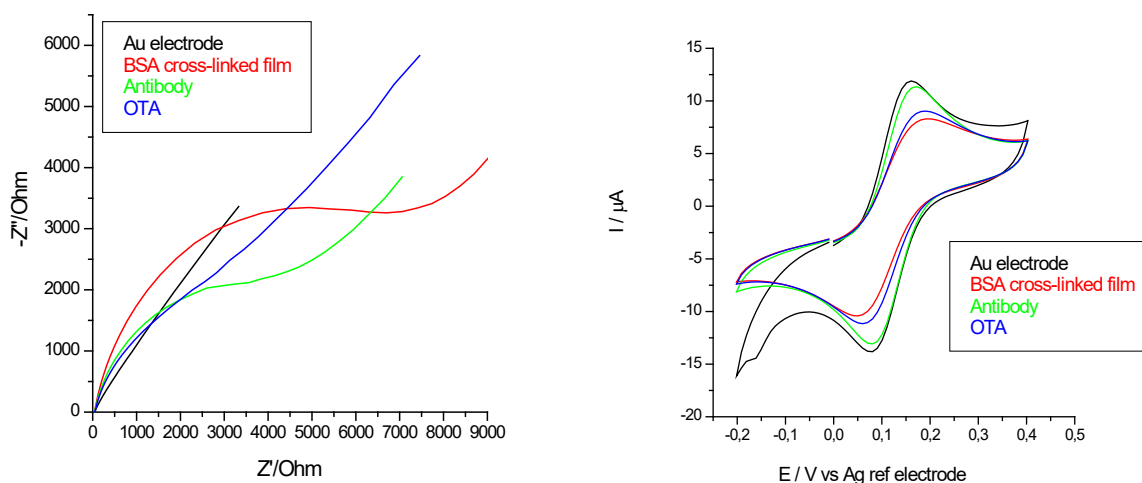


Fig. 48. Diagramele Nyquist (a) și voltamogramele (b) corespunzătoare fiecărei etape de dezvoltare a biosenzorului

Parametrii experimentali (timpul de incubare și cantitatea de anticorp / electrod) au fost optimizați pentru a obține caracteristici analitice bune, adecvate pentru detectarea ochratoxinei A din probe reale.

S-au efectuat măsurători de spectroscopie de impedanță electrochimică folosind sistemul redox clasic fericianură / ferocianură, la potențialul formal al acestui redox reversibil. Au fost testate variante de circuite electrice echivalente înainte de a alege circuitul cel mai potrivit pentru curbele experimentale. Pentru acest circuit, prin utilizarea facilităților software-ului FRA4.9, s-a analizat fiecare răspuns individual pentru fiecare etapă experimentală și s-au considerat datele în cazul în care am obținut cele mai scăzute valori Chi-pătrat. Valorile impedanțelor au fost

determinate din circuitul echivalent (Fig. 49), care include: rezistența soluției (R_s), rezistența la transfer de sarcină (R_{ct}), elementul de fază constantă (Q) și elementul de impedanță Warburg (W) și sunt afișate în tabelul 9 [82].

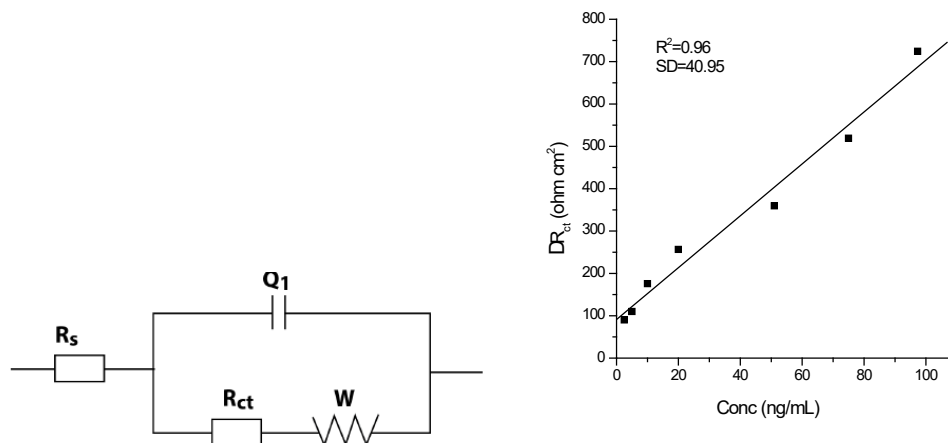


Fig. 49. Circuitul electric echivalent (a) și curba de calibrare (b)

Tabelul 9 Parametrii circuitului electric echivalent

Etape	R_s ($\Omega \text{ cm}^2$)	Q ($10^{-6} \mu\text{F}$)	n	R_{ct} ($\Omega \text{ cm}^2$)	W ($10^{-6} \Omega \text{ cm}^2$)
Electrod simplu	4.10	142	0.92	1.267	806
BSA	4.52	513	0.85	413	635
Anticorp Anti-OTA	4.29	238	0.88	157	683
OTA 10 ng/mL	3.97	122	0.86	307	724

Interacțiunea specifică dintre anticorp și OTA induce o creștere a rezistenței sensorului prin transfer de electroni la soluția de la interfață, care este corelată cu concentrația de OTA din proba de testat. Detectarea OTA a fost realizat prin EIS în domeniul liniar 2.5-100 ng / mL [83]. Rezultatele obținute prezintă avantajul pe care îl are sensorul dezvoltat, și anume acela de a lucra într-o gamă liniară mai mare, care include nivelurile maxime de OTA permise de reglementările EC în diverse produse alimentare și sunt similare cu altele din literatura de specialitate unde se folosesc imunosenzori și detectare prin SPR sau EIS [84].

Analog, împreună cu echipa de colaboratori de la facultatea de Medicină, Universitatea Transilvania din Brașov, condusă de prof. dr. Mihaela Badea s-a realizat un imunosenzor pentru testarea prezenței aflatoxinei B1 [85]. Ca variantă de comparare și validare a etapelor de lucru pentru imunosenzorul obținut, s-au utilizat voltametria ciclică (folosind facilitățile din

Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor) și respectiv tehnica AFM - atomic force microscopy (folosind facilitățile din Institutul de Cercetare-Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov). Această tehnică de înaltă performanță a permis analiza topografiei suprafeței electrodului, după fiecare etapă de modificare a electrodului. A fost utilizat un microscop atomic NT-MDT Ntegra Spectra în modul în aer și în zonele de 20 pm transvazare X 20 pm, imaginile fiind scanate cu o viteză de 20 nm/s. Curba de calibrare a fost reprezentată grafic, observându-se o creștere liniară constantă ($R^2 = 0.9925$) a ΔR_{ct} cu concentrația de aflatoxină în intervalul de 1-20 ng / mL.

III.2.2. Metode de analiză a metalelor grele

Senzori electrochimici

Cunoscând importanța aspectelor toxicologice determinate de prezența ionilor metalici, s-a identificat necesitatea utilizării unor metode specifice de detecție, care să prezinte avantajele rapidității și specificității [96]. Folosind proprietățile specifice ionilor metalici de a participa la procese electrochimice, am adus contribuții la indentificarea acestora folosind diferite tipuri de senzori și biosenzori [87, 88].

Literatura de specialitate a indicat studii în care s-au realizat determinări ale plumbului din probe din urina de 24 de ore și din sânge (recoltate de la pescari și de la țesători care țin bucăți mici de plumb în gură în timp ce manipulează plasele), folosind electrozi de carbon vitros-BiFE folosind Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry (DP-ASV) [89]. Nu s-au obținut corelații între concentrațiile din sânge și din urină. Ambele probe au fost determinate și prin spectrometrie de masă, observându-se că metoda DP-ASV a prezentat o deviație standard relativă de 4.5% față de AAS.

Biosenzori pentru detectarea metalelor grele

Beneficiind de experiențele anterioare în domeniul biosenzorilor enzimatici (design, validare, studii de inhibare), am participat activ și la studii de inhibiție enzimatică în care biosenzorii sunt folosiți pentru detectarea metalelor grele [88-90].

În general s-a utilizat un sistem de trei electrozi screen printați, realizați în cadrul Universității din Perpignan, Franța: electrod de referință (Ag/AgCl), electrod auxiliar (grafit) și electrod de

lucru (de măsură) ce conține enzima imobilizată pe un sistem de grafit ce are incorporat și un mediator electrochimic (cobalt ftalocianină-CoPTCN). Enzima utilizată a fost acetilcolinesteraza (AChE) de tip *Drosophila melanogaster* modificată genetic (B394), obținută prin inginerie genetică (pusă la dispoziție de către Prof dr Jean-Louis Marty).

Folosind un screen printer DEK 248, s-au depus în ordine mai multe straturi de materiale pe un suport de polyester, în următoarea ordine:

- strat de argint conductor;
- pat de cărbune pe partea inferioară a electrozilor, cu scopul izolării argintului;
- strat de Ag/AgCl pe electrodul de referință;
- pastă de grafit pe electrodul de lucru, pastă obținută prin amestecarea grafitului (1,5 mg/mL) cu o soluție de hidroxietilceluloză (3% w/v), cu sau fără mediatori electrochimici.

Urmând etapele expuse anterior, o placă de poliester va arăta ca în Fig. 50.

Electrodul de referință se consideră Ag/AgCl, iar electrodul auxiliar – grafit. Electrodul de măsură (de lucru) poate să conțină sau nu mediator depus pe stratul de grafit.

Pentru determinarea potențialului de lucru în determinările experimentale ulterioare s-au testat soluții tampon și respectiv a unui tiol (2-mercapto etilamina) pentru a se urmări la ce potențial are loc procesul redox. S-a pornit de la un anumit potențial inițial E_{initial} spre un alt potențial E_{final} , revenind prin scădere secvențială la potențialul inițial. S-a obținut astfel voltamograma procesului redox corespunzător sistemului analizat (Fig. 51) [88].

Analizând forma voltamogramei obținute se pot obține informații despre reversibilitatea sau ireversibilitatea procesului studiat. Un sistem reversibil (Nernstian) prezintă o diferență între picurile corespunzătoare proceselor de reducere și de oxidare de $2,3 RT/nF$. În cazul sistemelor ireversibile se obțin forme asimetrice ale voltamogramelor și diferențe mai mari între cele două picuri.

Măsurătorile amperometrice s-au realizat utilizând un sistem AUTOLAB, PGSTAT12, EcoChemie, Olanda. S-au testat: stabilitatea operațională a biosenzorului (6 determinări succesive folosind adăugări de substrat în sistem tampon, urmate de spălări ale electrozilor), stabilitatea în timp a semnalelor, s-a realizat calibrarea electrozilor (adăugări succesive de substrat, în absența compusului inhibitor de studiat) și apoi s-au realizat studiile de inhibare enzimatică (în prezența diferiților ioni metalici, pentru diferiți timpi de inhibare, cu calcularea gradului de inhibare și respectiv a activităților remanente ale enzimei după inhibare).

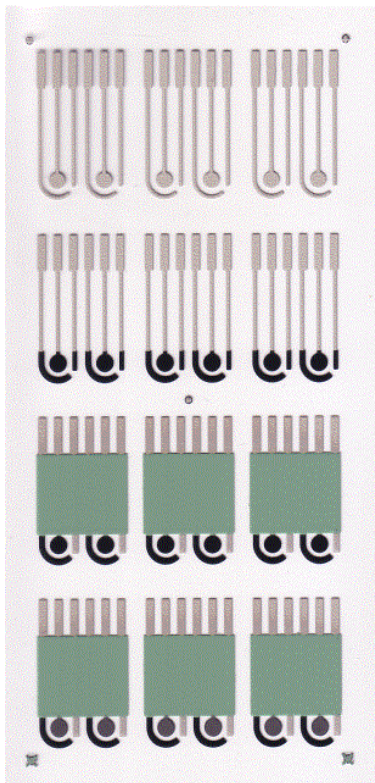


Fig. 50. Etapele depunerii straturilor de materiale pentru obținerea traductorului

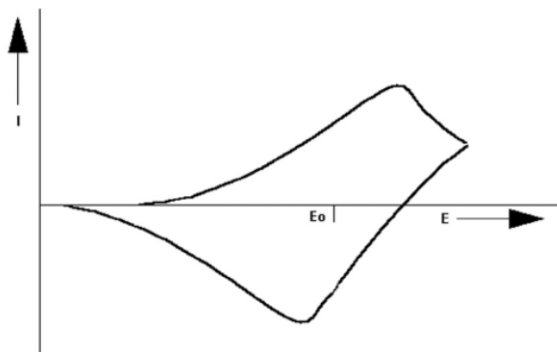


Fig. 51. Voltamograma unui proces redox

S-au identificat condiții optime de analiză pentru testarea metalelor grele (cadmiu și plumb) la pH acid –sistem tampon acetat pH=5,6 – astfel încât acestea să fie în stare ionică [88-90], spre deosebire de recomandările pentru analizele acțiunilor inhibitoare ale pesticidelor organofosforice asupra aceluiași sistem enzimatic unde recomandarea este la pH 7-7,4.

Studiile realizate sunt suport pentru exploatări analitice viitoare, pentru evidențierea

mecanismelor de acțiune, pentru utilizarea biosenzorilor enzimatici ca metode de screening sau analize (semi)cantitative, oferind astfel toxicologiei analitice metode rapide și sensibile de cuantificare.

III.3. SISTEME PENTRU TELEMEDICINĂ – TELEMONITORIZARE

Telemedicina poate determina creșterea calității serviciilor medicale, în favoarea pacienților, dar și a oamenilor sănătoși, favorizând integrarea avansată a activităților profesioniștilor din domeniul sănătății, indicând soluții pentru rezolvarea unora dintre problemele de asistență medicală. S-au obținut rezultate remarcabile în diagnosticarea de la distanță, consultarea de experți, serviciul de informare/comunicare la distanță, etc.

Sunt avantajate transferul și schimbul de informații video și audio privind datele medicale ale unui pacient la distanță (medic-pacient, medic-medic) folosind diferite facilități: telefonul mobil, camere video, computere, comunicare în rețea și transmitere de date. Datele achiziționate se pot depozita/interoga/compara/afișa în timp real sau după un timp. Toate aceste facilități ale serviciilor de telemedicină determină creșterea calității serviciilor de prevenire, asistență sanitară și îngrijire în spitale și la domiciliul pacienților [91, 92].

Studiile de telemedicină realizate au fost de un real folos și pentru stabilirea unor strategii de telemonitoring, am realizat studii de tip chestionar pentru studenți din Universitatea Transilvania din Brașov și două universități din Italia – Universita degli Studi di Milano și Universita degli Studi di Bologna privind cunoștințele studenților despre acest domeniu modern al viitorului (studii în curs de prelucrare finală în vederea publicării) și un studiu deja publicat în Buletinul Universității Transilvania din Brașov [93, 94].

IV. Inteligența Artificială aplicată în conducerea autonomă a vehiculelor

Vehiculele autonome sunt sistemele robotice care pot naviga fără intervenția umană, iar implementarea vehiculelor autonome se preconizează că va avea un impact major asupra viitorului mobilității, aducând o varietate de beneficii în viața de zi cu zi, cum ar fi simplificarea conducerii, creșterea capacității rețelei rutiere și minimizarea accidentelor vehiculare.

Tehnologia conducerii autonome integrează o varietate de sisteme avansate pentru a permite vehiculelor să navigheze și să funcționeze fără intervenția umană, sisteme care includ o fuziune de senzori, adică combină date de la mai mulți senzori (de exemplu, LiDAR, radar, camere) pentru a crea o înțelegere cuprinzătoare a mediului vehiculului.

Învățarea automată și Inteligența Artificială sunt utilizate pentru a interpreta datele acestor senzori, pentru a lua decizii și a învăța din experiențele de conducere în scopul de a îmbunătăți performanța în timp. Planificarea traseului implică dezvoltarea de rute optime și ajustări în timp real pentru a naviga prin medii dinamice, iar integrarea sistemelor în timp real asigură că toate sistemele vehiculului funcționează armonios și răspund instantaneu la schimbările din mediu.

În același timp, dezvoltarea tehnologiei conducerii autonome este intrinsec legată de progresele în robotica mobilă. Roboții mobili au servit de mult timp ca fundament experimental pentru sistemele de navigație autonomă, oferind informații esențiale despre luarea deciziilor în timp real, percepția mediului și planificarea dinamică a traseului. Tehnicile de cartografiere și înțelegere a mediilor complexe dezvoltate pentru roboții mobili sunt direct aplicabile scenariilor de conducere urbană. Algoritmii pentru evitarea obstacolelor și optimizarea traseului în roboții mobili sunt fundamentali pentru autonomia vehiculelor. Strategiile de procesare a datelor senzorilor și luarea deciziilor într-un timp foarte scurt în roboții mobili sunt esențiale pentru conducerea autonomă în siguranță.

În acest context, navigația autonomă a roboților patrupezi în medii nestructurate reprezintă încă o problemă deschisă, care necesită ca un agent inteligent să detecteze și să reacționeze la obstacole potențiale aflate în aria sa. Aceste obstacole pot varia de la vehicule, pietoni sau obiecte fixe într-un mediu structurat (cum ar fi traficul rutier urban), până la obstacole statice și dinamice imprevizibile în cazul navigației printr-un mediu nestructurat, precum un drum forestier. Acest al doilea scenariu este, de regulă, mai dificil de gestionat, din cauza nivelului mai ridicat de imprevizibilitate.

În lucrarea „A vision dynamics learning approach to robotic navigation in unstructured environments” publicată alături de colegi specialiști în domeniul Robotică, am propus o abordare

bazată pe dinamica vizuală pentru problema planificării traiectoriei și navigației unui robot patruped într-un mediu nestructurat, mai precis pe un drum forestier.

Metoda propusă se bazează pe o rețea neuronală recurentă, care utilizează un senzor RGB-D ca sursă de date, construind secvențe de observații anterioare și prezicând observații viitoare pe un orizont temporal finit. Am comparat abordarea noastră cu alte metode de ultimă generație pentru planificarea traseelor bazate pe obstacole și am efectuat studii de tip *ablation* pentru a analiza impactul modificărilor arhitecturale asupra componentelor modelului nostru, demonstrând că metoda propusă obține performanțe superioare în generarea de traiectorii fără coliziuni pentru agentul inteligent.

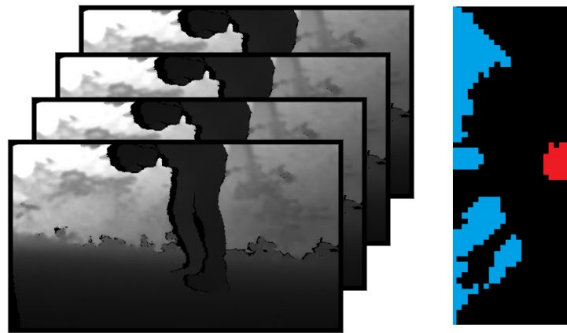
Una dintre cele mai importante sub-sarcini ale navigației autonome, în special în mediile nestructurate, este abilitatea agentului inteligent de a realiza planificarea traseului fără coliziuni. Este esențial ca mediul din jurul robotului să fie înțeles cât mai bine, astfel încât acesta să poată naviga în siguranță în condiții dificile. Abordările tradiționale se bazează pe reguli euristice și pe caracteristici proiectate manual pentru rezolvarea problemei planificării traseului. Totuși, aceste metode pot să nu se extindă suficient în contextul mediilor dinamice.

Arhitectură recurentă aleasă de noi, datorită capacității sale de a captura dependențele temporale din datele de intrare, permite codificarea dinamicii obstacolelor în straturile rețelei și utilizarea acestei informații adiționale în componenta de planificare, pentru a genera o traiectorie mai sigură pentru robotul mobil.

Am efectuat experimente cu date colectate în timpul navigației robotului mobil (figura 51a) pe un drum forestier, cu obstacole dinamice prezente în vecinătatea sa. Obstacolele dinamice au fost reprezentate de subiecți umani care se apropiau robotului în timp ce acesta naviga pe drum. Rezultatele experimentale indică o performanță superioară față de referință.



(a)



(b)

(c)

Fig. 51. Dinamica vizuală – Detecția coliziunilor. (a) Un robot patruped navigând într-un mediu nestructurat. (b) Secvență de observații RGB-D furnizate ca intrare unei rețele profunde. (c) Ieșirea de detecție a coliziunilor reprezentată ca o grilă de ocupare (birds-eye view).

Pentru controlul robotului mobil, am folosit algoritmul Punctului Moment Zero (ZMP) [20], care este descris pe scurt în cele ce urmează:

Punctul Moment Zero poate fi descris ca punctul \vec{z} de pe sol unde momentul net de-a lungul axei verticale care trece prin \vec{z} este zero:

$$\sum_i (\vec{r}_i - \vec{z}) \times \vec{f}_i = 0$$

unde \vec{r}_i este poziția celui de-al i -lea punct de contact al piciorului în raport cu \vec{z} și \vec{f}_i este forța de reacție a solului la cel de-al i -lea punct de contact al piciorului.

Presupunând că centrul de masă nu se mișcă, ZMP poate fi aproximat după cum urmează:

$$\vec{z} = \vec{p} - \frac{1}{mg} \sum_i \vec{f}_i \times \vec{r}_i$$

unde m este masa robotului, g este accelerația gravitațională și \vec{p} este poziția centrului de masă al robotului.

ZMP \vec{z} d al țintei dorite este calculată pe baza mișcării dorite (de exemplu, mersul înainte):

$$\vec{z}_d = f(\vec{p}_d, \vec{f}_1, \dots, \vec{f}_n),$$

unde f este o funcție care mapează mișcarea dorită la ZMP țintă.

Mișcarea robotului este apoi ajustată pentru a aduce ZMP-ul real aproape de ZMP-ul țintă. ZMP^{zd} dorit a fost ales pe baza rezultatului algoritmului Dynamic Window Approach (DWA), prin selectarea punctului de destinație din traiectoria optimă generată.

Implementarea noastră DWA se bazează pe un model de robot neholonomic simplificat, întâlnit în mod obișnuit în locomoția cu roți.

DWA calculează mai întâi o fereastră dinamică w pentru comenzile robotului, pe baza constrângerilor fizice privind viteza și accelerația. Fiecare comandă v_{t+1}, δ_{t+1} din fereastra dinamică generată, este utilizată pentru a produce o traiectorie candidată. Ulterior, predicțiile provenite de la rețeaua de codificare a dinamicii scenei sunt utilizate, împreună cu observațiile curente ale senzorilor, pentru a respinge traiectoriile candidate care intersectează orice obstacol (prezis sau observat). Fiecare traiectorie candidată care nu a fost respinsă în etapa anterioară este apoi analizată în raport cu mai mulți indicatori de performanță și se calculează următoarele penalizări:

- Costul țintă (ϵ_G), care reprezintă distanța dintre coordonatele carteziene ale stării finale pe traiectoria candidată și coordonatele punctului țintă situat pe traiectoria de referință globală;
- Costul orientării (ϵ_ϕ), care reprezintă diferența dintre unghiul de orientare față de starea finală a traiectoriei candidate și unghiul de orientare față de unghiul de orientare de referință;
- Costul vitezei (ϵ_v), care reprezintă diferența dintre viteza robotului mobil și viteza de referință;
- Costul netezimii (ϵ_s), care reprezintă diferența dintre comanda anterioară și comanda curentă (dacă există o diferență semnificativă între comenzile succesive atunci mișcarea robotului mobil va deveni curs);
- Costul traiectoriei (ϵ_t), care reprezintă suma distanțelor dintre coordonatele carteziene ale traiectoriei candidate și traiectoria de referință;

Metoda de respingere a coliziunilor analizează toți centroizii returnați de modulul de codificare a dinamicii scenei și respinge toate traiectoriile candidate care intersectează obstacole, fie observate în observațiile curente cu timestamp, fie prezise de rețeaua neuronală. După evaluarea costului total C pentru fiecare dintre traiectoriile candidate, se selectează cea cu costul minim și se actualizează ZMP-ul.

Pentru evaluarea algoritmului propus am folosit secvențe de date înregistrate în timpul navigației robotului mobil în mediul nestructurat — mai specific, sarcina de navigație pe un drum forestier.

Robotul mobil (ilustrat în Figura 51a) a navigat în mediu în timp ce situații potențial periculoase au fost induse; datele de la senzorul de adâncime au fost capturate în timpul navigației. A fost înregistrată și traiectoria globală de referință Z_{ref} pentru robot.

În Figura 52 se pot observa mostre din datele procesate de algoritm. Imaginile de adâncime (Figura 52b) sunt folosite împreună cu parametrii camerei pentru a obține o reprezentare 3D a scenei (Figura 52c). Apoi, punctele 3D sunt procesate, iar grila voxel 3D este calculată (Figura 52d). Această grilă voxel este ulterior proiectată în vedere top-down (Figura 52e). Date RGB și de adâncime au fost colectate în timp ce robotul patruped naviga pe drumuri forestiere și interacționa cu persoane care au jucat rolul de obstacole. În Figura 52a este prezentat un scenariu cu multiple obstacole; cele două persoane se apropie de robot în timp ce acesta înregistrează imagini RGB și de adâncime.



Fig. 52. Lanțul de procesare a datelor experimentale. Datele experimentale utilizate de algoritm. De sus în jos: (a)—date RGB, (b)—imagine de adâncime, (c)—reprezentare 3D, (d)—grilă de voxel 3D și (e)—grilă de voxel 2D.

Pragurile aplicate pe punctele 3D reconstruite pot fi observate în Figura 52c. Punctele de sol și punctele prea înalte sau prea îndepărtate sunt eliminate din norul de puncte înainte de calculul grilei voxel 3D.

Structura experimentelor:

- Datele de antrenament și test au fost obținute din scenariul de navigație.

- Rețeaua encoder a fost antrenată folosind datele procesate de antrenament.
- Algoritmul de planificare a fost evaluat pe datele de test preprocesate.

Am definit o distanță de siguranță $s=0,5$ m pentru robot. Fiecare încălcare a acestei distanțe (robotul apropiindu-se la o rază mai mică decât s față de orice obstacol) declanșa un eveniment de coliziune. Evenimentele de coliziune au fost numărate, rezultând prima metrică de calitate: n_{col} .

Pentru a reproduce situații potențial periculoase, am experimentat cu persoane care interacționau cu robotul în timpul navigației. Interacțiunile au constat în apropierea de robot din diferite unghiuri și cu viteze variate, pentru a simula obstacole dinamice.

Am simulat patru scenarii: coliziune frontală, lateral-stânga, lateral-dreapta și multiple obstacole. În primul scenariu, o singură persoană se apropie frontal de robot; pentru coliziunile laterale persoana se apropie din stânga sau din dreapta; pentru setup-ul cu multiple obstacole s-au folosit două persoane.

Am comparat abordarea noastră cu planificatorul clasic Dynamic Window Approach (DWA), configurat cu aceiași parametri de generare a ferestrei dinamice.

De asemenea, am comparat strict encoder-ul de dinamică a scenei cu un algoritm de detecție a obiectelor de ultimă generație, YOLOv7 antrenat pe dataset-ul MS COCO (implementarea originală), în termeni de acuratețe, rata de fals-pozitive (FPR) și timpul până la coliziune (t_c) pe datele noastre de test. Timpul până la coliziune este estimarea timpului scurs între prima detecție disponibilă a unui obstacol și momentul în care respectivul obstacol traversează pragul distanței de siguranță.

Rezultatele comparațiilor între algoritmii de planificare sunt rezumate în Tabelul 10, iar rezultatele comparației între arhitecturile de învățare profundă sunt în Tabelul 11.

Se observă că propunerea noastră depășește baseline-ul în toate cele patru scenarii de test, atât ca componentă de planificare a traiectoriei, cât și ca metodă de detectare a obstacolelor dinamice din scenă.

Tabelul 10. Rezultate calitative în setup-ul real al robotului mobil pentru algoritmul de planificare a traiectoriei.

Scenariul	Algoritm	n_{col}	$e_{ct}(m)$	$e_{\phi}(rad)$
Față	propus	7	0.35	0.12
	DWA	27	0.43	0.15
Stânga	propus	5	0.37	0.12
	DWA	33	0.43	0.12
Dreapta	propus	3	0.29	0.10

	DWA	32	0.39	0.11
Multiplu	propus	5	0.32	0.16
	DWA	37	0.32	0.12

Numărul de coliziuni n_{col} a fost semnificativ mai mic în toate cele patru scenarii atunci când s-a folosit metoda propusă de noi comparativ cu DWA clasic. Aceasta sugerează că includerea observațiilor prezise în pasul de generare a traiectoriei îmbunătățește capacitatea de evitare a obstacolelor a sistemului.

Eroarea cross-track e_{ct} și eroarea de orientare e_{ϕ} au fost, în general, mai mici folosind algoritmul propus decât în cazul DWA clasic. Acest lucru se datorează ajustării experimentale a parametrilor din versiunea noastră de DWA (costul traiectoriei ϵ_t și costul orientării ϵ_{ϕ}).

Valorile timpului până la coliziune (ttc), rata de fals-pozitive (FPR) și acuratețea (A) au fost mai bune în metoda noastră comparativ cu YOLOv7 deoarece, în propunerea noastră, algoritmul dispune de mai multe date decizionale prin includerea predicțiilor pentru grilele voxel viitoare. În plus, folosirea informației de adâncime (depth) în locul imaginilor 2D aduce beneficii deoarece nu este necesară recunoașterea obiectelor, operație predispusă la erori.

Tabelul 11. Rezultatele comparației între arhitecturile de învățare profundă

Scenariul	Algoritm	ttc	FPR(%)	A(%)
Față	propus	2.5	10	95
	DWA	2.3	12	92
Stânga	propus	1.2	10	93
	DWA	1.3	11	92
Dreapta	propus	1.3	11	92
	DWA	1.0	11	92
Multiplu	propus	1.7	14	88
	DWA	1.3	13	82

Lucrări viitoare pot explora utilizarea unor arhitecturi neuronale mai complexe, precum și integrarea unor intrări senzoriale adiționale (de ex. imagini RGB sau date LiDAR) pentru a îmbunătăți și mai mult acuratețea și robustețea modelului.

B.3. Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

Din primăvara anului 2018 am devenit directorul centrului de cercetare Sisteme pentru Controlul Proceselor din cadrul Institutului de Cercetare – Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov. Trebuie să precizez aici că, în cadrul Universității Transilvania din Brașov, cercetarea științifică este considerată una din căile importante de creștere și dezvoltare instituțională. Drept urmare, construirea Institutului de Cercetare-Dezvoltare în perioada 2009-2013 cu finanțare din fonduri structurale europene, fonduri naționale și fondurile proprii ale universității, a apărut ca o necesitate stringentă. El conține 11 clădiri cu autonomie energetică ridicată și concentrează o infrastructură complexă și modernă de cercetare, utilizată în cadrul a 30 de centre de cercetare. Există o paletă foarte largă de arii de cercetare, specifice sau interdisciplinare, adaptate la dinamica mediului economic și industrial și focalizate pe colaborarea academică națională și internațională.

În acest context, centrul de cercetare C09, Sisteme pentru Controlul Proceselor, al cărui coordonator sunt din 2018, are o echipă formată din 23 cadre didactice și 31 doctoranzi cu frecvență, și dezvoltă în prezent cercetări în următoarele arii tematice:

- Sisteme de detecție și control cu aplicații în electronică și medicină;
- Integrarea soluțiilor de planificare, scheduling și rutare bazate pe rețele neurale adânci, într-o arhitectură orientată pe servicii flexibilă și reutilizabilă;
- Dezvoltarea sistemului de conducere al autovehiculelor autonome;
- Urmărirea și reconstrucția 3D a formelor rigide în scene dinamice;
- Contorizarea inteligentă a unor parametri energetici;
- Obținerea și caracterizarea sistemelor performante de energie regenerabilă;
- Sisteme de comutare și poziționare pentru resurse de energie regenerabilă;
- Monitorizarea omogenă și centralizată a diversilor parametrii electrici, ambientali și de funcționare a sistemelor de producere și distribuție a energiei regenerabile;
- Comutarea automată între sursele de energie termică – o centrală pe gaz, o pompă de căldură și colectoare solar termice, pentru reducerea consumurilor de gaz. Realizarea algoritmului și a programului de calcul, precum și implementarea, testarea și optimizarea soluției;

- Măsurări electronice pe straturi subțiri destinate aplicațiilor în electronică și medicină;
- Utilizarea automatelor programabile în cadrul sistemelor de control al proceselor de producție;
- Arhitectură orientată pe servicii pentru planificarea și controlul aplicațiilor industriale.

Infrastructura pe care o are la dispoziție centrul este formată din 11 linii de echipamente achiziționate în cadrul proiectului inițial de dezvoltare a institutului, dar și din echipamentele individuale achiziționate de către colegi în decursul anilor, din finanțarea altor proiecte de cercetare. Toate acestea susțin cercetarea în ariile tematice mai sus amintite.

Mai mult, în cadrul unui proiect de tip PNRR câștigat anul trecut de Universitatea Transilvania din Brașov, au fost achiziționate echipamente performante, în valoare de circa 500.000 euro, și anume:

- Sistem avansat de imagistică pentru preluare și procesare semnale video;
- Platformă de dezvoltare robot umanoid;
- Linie integrată pentru dezvoltarea de senzori și nanosenzori cu aplicații în medicină, mediu și agricultură;
- Linie integrată pentru microlitografie laser, pentru dezvoltarea de microelectrozi, chipuri, etc.

Ele vor fi foarte utile studenților de la programele de studii ale departamentului de Automatică și Tehnologia Informației și de la Medicină, în aprofundarea cunoștințelor teoretice dobândite la cursuri și în crearea deprinderilor de lucru cu echipamente speciale, dar vor fi utilizate și în cercetare, ca și scop secundar.

Astfel, centrul nostru poate asigura pentru viitorii doctoranzi un mediul propice pentru învățare prin cercetare (doctorală), în cadrul unui colectiv de cercetare (din care se poate constitui, în mod firesc, comisia de îndrumare). În același timp, se obișnuiește ca doctoranzii să fie integrați în echipele de cercetare ale proiectelor aflate în derulare, ceea ce mărește gradul lor de asimilare a informațiilor și deprinderilor de cercetare, dar totodată constituie și un sprijin financiar pentru ei. Se manifestă disponibilitate pentru angajarea absolvenților stagiului doctoral în cadrul departamentului didactic Automatică și tehnologia informației sau în cadrul centrului de cercetare.

În ceea ce privește planurile personale, temele de cercetare pe care îmi voi focaliza atenția în următorii ani, sunt:

B.3.1. Dezvoltarea de Sisteme Inteligente Reconfigurabile - Suport modern pentru abordarea analizelor din medicină, industria alimentară sau monitorizarea mediului

În contextual actual al dezvoltărilor tehnice, în special în domeniile circuitelor electronice și IT-ului, tehnicilor de transmitere a datelor la distanță (GSM, GPRS, wireless, Internet), serviciilor de tip cloud (IoT – Internet of Things), s-au dezvoltat în ultimii ani diverse aplicații științifice de tip interdisciplinar. O mare dezvoltare au cunoscut-o aplicațiile din domeniul științelor vieții (medicină, siguranța alimentelor și controlul calității mediului), cele care integrează procedurile clasice (de la diverse analize și monitorizări ale compușilor de interes, până la operațiile chirurgicale complexe) cu noile performanțe tehnologice ale echipamentelor electronice moderne. Utilizând tehnici moderne care au la bază colaborări multi/interdisciplinare (electronică, automatică, chimie analitică, biochimie, biofizică, nutriție, siguranța alimentelor) este posibil a primi feedback-ul proceselor și al rezultatelor în timp real, cu impact direct asupra științelor vieții aplicate: (tele)monitorizări la domiciliu sau în secțiile spitalelor [95], operații în timp real [96], (tele)monitorizări ale consumului de alimente [97], ale depozitelor de alimente privind umiditatea, temperatura, compoziția [98], ale factorilor de mediu [99].

La ora actuală, conceptele gen IoT – Internet of Things sau wearable gears – echipamente portabile/mobile cu posibilitatea de monitorizare și control de la distanță sau sincronizarea echipamentelor medicale cu tablete, smartphone-uri, respectiv domeniile comunicațiilor wireless și de tip Bluetooth nu au fost încă implementate la nivel practic cu aparatura medicală de specialitate sau se află în etapa de testare sau implementare rudimentară. Până în prezent, orice astfel de încercare/implementare s-a soldat cu costuri nejustificate pentru achiziția de echipament și tehnologii.

Pornind de la ideea de miniaturizare și de comunicații wireless sau prin Internet, direcția de cercetare pe care o propun încercă **dezvoltarea și realizarea unor sisteme funcționale care să înlocuiască aparatele pentru analizele de laborator, mari și voluminoase și care necesită conexiune continuă la un PC, iar prin telemonitorizare, să reducă timpul de analiză sau timpul de intervenție în cazul unor procese din medicină, industria alimentară sau legate de**

monitorizarea mediului. Prezentul proiect este astfel important și prin impactul său socio-economic.

Având experiențe benefice anterioare prin proiectele la care am participat, mi-am propus să contribui activ la dezvoltarea unor sisteme inteligente de tip universal, având fiecare la bază câte un anumit tip de microcontroler, care să fie reprogramabil în vederea utilizării în diverse analize specifice. În funcție de analiza dorită pentru a fi efectuată, la microcontrolerul respectiv se conectează un senzor capabil să monitorizeze parametrul de interes (reconfigurabilitate) și imediat se poate începe analiza propriu-zisă.

B.3.2. Dezvoltarea unui demonstrator de celulă fotovoltaică p-i-n și/sau tandem bazat pe materiale avansate

Pentru ca energia electrică produsă de sistemele fotovoltaice să atingă pe termen lung o poziție competitivă din punct de vedere economic, este necesară creșterea eficienței celulelor fotovoltaice simultan cu dezvoltarea unor tehnologii de producție ieftine, capabile să susțină producția la scară industrială a sistemelor PV.

Tehnica structurilor tandem (multi-jonctiune), în care subcelule fabricate din materiale având lărgimi diferite ale benzii interzise (E_g) sunt asamblate în lungul direcției de absorbție a radiației și conectate electric în serie, este cea mai promițătoare metodă de a crește eficiența celulelor fotovoltaice, întrucât astfel de structuri ar putea absorbi eficient radiația solară pe întreg domeniul spectral solar. Aliajele nitrurilor grupei III, precum InGaN și InAlN, prezintă un interes deosebit în acest sens. Spre exemplu, lărgimea benzii interzise a $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ poate parcurge cea mai mare parte a spectrului solar, de la 0.7 eV la 3.4 eV [101-103], în funcție de compoziția x a materialului. Eficiența de conversie a radiației solare în energie electrică a structurilor PV tandem bazate pe aceste materiale ar putea atinge valori de peste 50% [104]. În plus, materialul $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ prezintă caracteristici fotovoltaice superioare precum: banda interzisă directă pe tot domeniul compozițional (x), coeficient de absorbție de valoare ridicată ($\sim 10^5/\text{cm}$), mobilitate mare a purtătorilor de sarcină, viteză de drift mare, stabilitate chimică sub acțiunea radiațiilor solare [105].

Aceste caracteristici fac ca InGaN să fie unul dintre materialele ideale pentru dezvoltarea sistemelor PV. Studii intense în acest sens au început odată cu descoperirea valorii benzii interzise de aprox. 0.7 eV a InN, concentrându-se îndeosebi asupra sistemelor PV bazate pe

compusul $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ cu conținut bogat în Ga ($x < 0.25$) [106], datorită dificultăților tehnologice de creștere a filmelor epitaxiale $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ cu compoziție intermediară ($0.2 < x < 0.80$).

În acest sens, propun utilizarea tehnicii de Pulverizare Magnetron în Impulsuri de Mare Putere (HiPIMS) pentru creșterea filmelor epitaxiale de InGaN cu grad ridicat de incorporare a indului deoarece:

- HiPIMS permite obținerea unor rate de depunere mari per puls
- HiPIMS permite compensarea temperaturii scăzute a substratului prin controlul energiei adatomilor la suprafața de creștere. Energia adatomilor este data de temperatura substratului și de energia cu care aceștia sosesc la substrat. Speciile pulverizate sunt eficient ionizate în plasma HiPIMS și accelerate controlat către suprafața de creștere a filmului, prin polarizarea substratului.
- Metoda a fost folosită cu succes în creșterea epitaxială a filmelor GaN [107-109]

B.3.3. Studiul unui tandem nanostructurat absorber / emiter pentru îmbunătățirea eficienței sistemelor termo-fotovoltaice solare

Principalele obstacole în calea utilizării pe scară largă a sistemelor fotovoltaice sunt costul ridicat de producție și eficiența scăzută a conversiei celulelor solare existente, ceea ce conduce la un cost ridicat al energiei electrice produse. Celulele fotovoltaice low cost cu o singură bandă nu pot absorbi eficient radiația pe întreg spectrul solar. Celulele fotovoltaice tandem (cu bandă interzisă multiplă) sunt proiectate să absoarbă mai bine pe intervale de lungimi de undă mai mari, dar sunt în prezent dispozitive prea scumpe. Modulele fotovoltaice tipice transformă în electricitate doar 6 - 20% din radiația solară incidentă, în funcție de tipul celulei, restul de radiație incidentă fiind transformată în căldură a celulei. Dar eficiența celulelor PV este scăzută drastic odată cu creșterea temperaturii celulei.

Sistemele termo-fotovoltaice solare (STPV) sunt dispozitive promițătoare care pot mări eficiența celulelor fotovoltaice prin utilizarea unor materiale cu un coeficient de absorbție ridicat asupra întregii radiații solare incidente. Sistemele STPV sunt plasate în fața celulelor fotovoltaice, radiația solară este concentrată pe suprafața absorbantului și radiația termică

emisă de absorbantul încălzit este adaptată în apropierea decalajului benzii unei celule PV prin emițător. Celulele fotovoltaice cu bandă redusă trebuie utilizate.

Scopul general pe această direcție ar fi proiectarea, simularea, fabricarea și implementarea a două sisteme STPV pentru transformarea eficientă a radiației solare în energie electrică prin fotoni radiați termic la lungimi de undă adaptate (Fig. 45), situația putând fi abordată în două moduri, și anume prin:

- Un STPV constând dintr-un absorber nanostructurat cu suprafața ca o rețea de piramide sau nanocavități de tungsten, un cristal fonic 1D de Si / SiO₂ folosit ca emiter și o celulă fotovoltaică de ultimă generație InGaAsSb;
- Un STPV format dintr-un absorber / emiter din cristale fonice 2D de tantal și o celulă fotovoltaică de ultimă generație InGaAsSb.

Modulele de absorber- emiter produse în acest mod pot fi utilizate cu celule solare ieftine cu bandă unică. Întreaga radiație solară concentrată ar putea fi transformată în radiații termice emise în apropierea benzii interzise a celulei, conducând la creșterea eficienței conversiei. Astfel, prețul electricității produs de sistemele STPV propuse poate fi mult mai mic.

Un prototip a fost propus de H-J Lee et all [110] pentru a spori extracția energiei din radiația solară utilizând atât caracteristicile termice, cât și cele optice ale spectrului solar.

Noul sistem dezvoltat are un dispozitiv de absorbție-emițător cu două straturi, realizat din materiale noi precum nanotuburile de carbon și cristalele fonice, care este plasat în fața celulelor fotovoltaice. În acest fel, radiația solară care este concentrată pe suprafața absorbantului este acumulată sub formă de căldură. Radiația termică emisă de absorberul încălzit este adaptată de emițător la lungimi de undă în apropierea lungimii de undă a benzii interzise a celulei fotovoltaice, evitând astfel încălzirea celulei și, de asemenea, sporind eficiența conversiei sistemului. Se utilizează celule PV cu bandă mică de energie (0,5 - 0,75 eV).

Sistemul STPV (fig. 52) are un concentrator solar care concentrează radiația asupra absorbentului selectiv. Acest lucru transformă radiația în căldură, reducând în același timp pierderile de căldură. Prin creșterea nivelului concentrației optice, lumina soarelui este trimisă cu unghiuri de incidență crescute. Mai mult, concentratorii optici actuali dau radiații difuze la absorber din cauza imperfecțiunilor și considerentelor practice de proiectare [110]. Absorberele solare ideale au unghiuri mari de acceptare pentru absorbția lungimilor de undă mai mici decât o

lungime de undă de decuplare ($\lambda < \lambda_c$) și mențin o emisivitate joasă la lungimi de undă peste limita de decuplare ($\lambda > \lambda_c$).

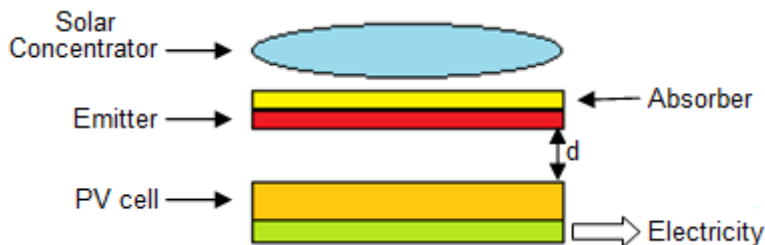


Fig. 52. Reprezentarea schematică a unui sistem STPV

În partea opusă absorberului este emiterul selectiv care emite termic energia absorbită către o celulă fotovoltaică normală. Prin potrivirea spectrului emițătorului cu lungimea de undă a celulei fotovoltaice (λ_g), cantitatea de radiație ne-convertită de către celula PV este redusă semnificativ. Pentru a maximiza eficiența conversiei energiei și densitatea de putere a STPV, emițătorii ideali ar trebui să prezinte o emisivitate mai mare sub λ_g și să mențină unghiuri mari pentru selectivitatea spectrală.

Deși STPV-urile au un mare potențial de dezvoltare, au fost raportate foarte puține rezultate practice / experimentale.

Combinății absorber / emiter selective spectral au fost obținute anterior din cristale fotonice metalice 1D [111], 2D [112] și 3D [113]. Structura 2D are dintre acestea cel mai mare potențial de a fi un absorber / emițător selectiv din punct de vedere al stabilității în ceea ce privește temperatura de funcționare [114] și scalabilitatea în fabricație [115].

Sistemele solare termo- fotovoltaice anterioare au operat cu o eficiență înregistrată între 1% și 3,2% [116]. Pentru a fi viabile din punct de vedere comercial, se așteaptă o eficiență de până la 20%.

Celulele fotovoltaice solare convenționale au o eficiență teoretică limitată la 33,7%. Folosind sistemul STPV, eficiența ar trebui să crească semnificativ, în mod ideal până la 80% în funcție de simulări [117]. Mai sunt încă multe de pus la punct pentru a obține eficiența maximă:

- Îmbunătățirea performanțelor spectrale ale cristalelor fotonice;
- Incorporarea celulelor fotovoltaice cu bandă multiplă;
- Creșterea raportului dintre suprafața emiterului și cea a absorberului prin proiectarea de sisteme ne-planare.

Referințe:

1. Dorcioman, G., Socol, G., Craciun, D., Argibay, N., et. al., Wear tests of ZrC and ZrN thin films grown by pulsed laser deposition, *Appl Surf Sci* 306 33-36. (2014).
2. Craciun, V.E., McCumiskey, M. Hanna, C.R. Taylor, Very hard ZrC thin films grown by pulsed laser deposition, *J Eur Ceram Soc* 33, 2223–2226 (2013).
3. Popescu-Pelin, G., Craciun, D., Socol, G., Cristea, D., **Floroian, L.**, et al, Investigations of pulsed laser deposited TiN thin films for titanium implants, *Romanian Reports in Physics*, 67, 1491–1502 (2015).
4. **Floroian, L.**, Craciun, D., Socol, G., Dorcioman, G., et al, Titanium implants' surface functionalization by pulsed laser deposition of TiN, ZrC and ZrN hard films, *Applied Surface Science*, vol 417, 175-183 (2017).
5. Socol, G., Craciun, D., Craciun, V., Dorcioman, G., **Floroian, L.**, et.al., Mechanical and electrochemical properties of titanium implants coated with hard coatings by PLD, The 8th International Conference on Advanced Materials: ROCAM 2015, 7-10 July, Bucharest, Romania, <http://rocam.unibuc.ro/rocam2015/index.php>.
6. Kokubo, T., Kushitani, H., Sakka, S., Kitsugi, T., Yamamuro, T., Solutions able to reproduce in vivo surface-structure changes in bioactive glass-ceramic A-W3, *J Biomed Mater Res* 24, 721-734 (1990).
7. http://www.ecochemie.nl/download/GPESFRA/Release_Notes_4.9.006.pdf
8. Cotfas, D.T., *Celule fotovoltaice*, ed. Univ. Transilvania din Brașov, ISBN 978-973-598-771-8 (2010).
9. **Floroian, L.**, Floroian, D., Cotfas, D.T., Cotfas, P.A., et al., Behaviour of solar cells study in high concentrated solar radiation, *New Trends in Sensing- Monitoring-Telediagnosis for Life Sciences*, Brasov, Romania, September 3-5, <http://www.healthfoodenviron.unitbv.ro/2015/> (2015)
10. D.T. Cotfas; D. Floroian, P.A Cotfas ; **L. Floroian**, Rubin, R., Lieberman, D., The study of the photovoltaic cells parameters in concentrated sunlight, *IEEEExplore*, mai 2014, DOI: 10.1109/OPTIM.2014.6850916, Print ISSN: 1842-0133, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6850916>
11. Socol, M., Preda, Breazu N.C., Stanculescu, A., et. al, G. Socol, Flexible organic heterostructures obtained by MAPLE, *Applied Physics A*, 124:602 (2018).

12. Stanculescu, A., Socol, M., Socol, G., Mihailescu, I.N., Stanculescu, F., Girtan, M., Maple prepared organic heterostructures for photovoltaic applications, *Appl. Phys. A* 104, 921 (2011).
13. Iftimie, S., Mallet, R., Merigeon, J., Ion, L., et al., On the structural, morphological and optical properties of ITO, ZnO, ZnO:Al and NiO thin films obtained by thermal oxidation, *Biostruct.*, 10, 221 (2015).
14. Stanculescu, A., Stanculescu, F., Tugulea, L., Socol, M., Optical properties of 3, 4, 9, 10-perylenetetracarboxylic dianhydride and 8-hydroxyquinoline aluminum salt films prepared by vacuum deposition, *Mater. Sci. Forum* 514–516, 956 (2006).
15. Floroian D., **Floroian L.**, Rubin R., Lieberman, D., Cotfas, P., Cotfas, D., Ursutiu, D., Samoila, C., Measurements in Concentrated Sun using a Remote Controlled Robot, *International Journal of Online Engineering*, 9 (3), pp. 50-54, DOI: 10.3991/ijoe.v9iS3.2544, WOS:000422502400008 (2013).
16. Baxter, D., Yeh, J., The use of polymethyl methacrylate (PMMA) in neurosurgery, in: L. Ambrosio, E. Tanner (Eds.), *Biomaterials for Spinal Surgery*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 365-384 (2012).
17. Zhang, L., Wu, D., Chen, Y., Wang, X., Zhao, G., et al., Surface modification of polymethyl methacrylate intraocular lenses by plasma for improvement of antithrombogenicity and transmittance, *Appl. Surf. Sci.* 255 6840-6845 (2009).
18. Owens, G.J., Singh, R.K. Alqaysi, F.F., Sol–gel based materials for biomedical applications, *Prog. Mater. Sci.* 77 1-79 (2016).
19. **Floroian, L.**, Savu, B., Sima, F., Mihailescu, I.N., Tanaskovic, D., Janackovic, D. Synthesis and characterisation of bioglass thin films, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol 2, nr 3, p. 285-291, (2007).
20. **Floroian, L.**, Mihailescu, I.N., Sima, F., Stanciu G., Savu, B., Evaluation of biocompatibility and bioactivity for pmma – bioactive glass nanocomposite films obtained by MAPLE, *Scientific Bulletin University Politehnica of Bucharest, Series A*, Vol. 72, Iss.2, 133-148, (2010).
21. **Floroian, L.**, Savu, B., Stanciu, G., Popescu, A.C., Sima, F., Mihailescu, I.N., Mustata, R., Sima, L.E., Petrescu, S.M., Tanaskovic, D., Janackovic, D. Nanostructured bioglass thin

- films synthesized by pulsed laser deposition: CLSM, FTIR investigations and in vitro biotests, *Applied Surface Science*, vol 255, 3056-3062 (2008).
22. **Floroian, L.**, Sima, F., Florescu, M., Badea, M., Popescu, A.C., Serban, N., Mihailescu, I.N., Double layered nanostructured composite coatings with bioactive silicate glass and polymethylmetacrylate for biomimetic implant applications, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 648, 111-118 (2010).
23. **Floroian, L.**, Florescu, M., Munteanu, D., Badea, M., Popescu-Pelin, G., Ristoscu, C., Sima, F., Chifiriuc, C.M., Mihailescu, I.N., A new concept of stainless steel medical implant based upon composite nanostructures coating, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol 9, nr 4, oct-dec, 1555-1568 (2014).
24. **Floroian, L.**, Samoila, C., Badea, M., Munteanu, D., et al., Stainless steel surface biofunctionalization with PMMA-bioglass coatings: compositional, electrochemical corrosion studies and microbiological assay, *J. Mater. Sci.: Mater. Med.* 26 195-209 (2015).
25. Hench, L.L., Jones, J.R., and Sepulveda, P., Bioactive materials for tissue engineering scaffolds, in J.M. Polak, L.L. Hench, P. Kemp (Eds.), *Future Strategies for Tissue and Organ Replacement*, Imperial College Press, London, UK (2002).
26. **Floroian, L.**, Florescu, M., Munteanu, D., Badea, M., Popescu-Pelin, G., Ristoscu, C., Sima, F., Chifiriuc, C.M., Mihailescu, I.N., A new concept of stainless steel medical implant based upon composite nanostructures coating, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol 9, nr 4, oct-dec, 1555-1568 (2014).
27. **Floroian, L.**, Ristoscu, C., Mihailescu, I.N., Negut, I., Badea, M., Ursutiu, D., et al., Functionalized antimicrobial composite thin films printing for stainless steel implant coatings, *Molecules*, 21, 740-758 (2016).
28. Ribeiro, M., Monteiro, F.J., Ferraz, M.P., Infection of orthopedic implants with emphasis on bacterial adhesion process and techniques used in studying bacterial-material interactions, *Biomatter*. 2 176-194 (2012).
29. Grumezescu, A.M., Essential oils and nanotechnology for combating microbial biofilms, *Curr. Org. Chem.* 17 90–96 (2013).
30. Sanpo, N., Tan, M.L., Cheang, P., Khor, K.A., Antibacterial property of cold-sprayed HAAg/PEEK coating, *J. Therm. Spray. Techn.* 18 10-15 (2009).

31. **Floroian, L.**, Ristoscu, C., Candiani, G., Pastori, N., Moscatelli, M., et al., Antimicrobial thin films based on ayurvedic plants extracts embedded in a bioactive glass matrix, *Applied Surface Science*, vol 417, 224-234 (2017).
32. Cotfas, D.T., **Floroian, L.**, Cotfas, P.A., Floroian, D., Rubin, R., Lieberman, D., The study of the photovoltaic cells parameters in concentrated sunlight, *IEEEExplore*, DOI: 10.1109/OPTIM.2014.6850916 (2014).
33. Cotfas, D., **Floroian, L.**, Cotfas, P., Floroian, D., Rubin, R., Lieberman, D., The study of the photovoltaic cells parameters in concentrated sunlight, 14th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment OPTIM 2014, 22 - 24 May 2014, Brasov, Romania, <http://www.info-optim.ro/index.php>, (2014).
34. Floroian, D., **Floroian, L.**, Rubin, R., Lieberman, D., Cotfas, P., Cotfas, D., Ursutiu, D., Samoila, C.,: Remote Controlled Robot for Automatic Measurements in Concentrated Sun, 10th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV 2013, 6 - 8 February 2013, Sydney, Australia, www.rev-conference.org/REV2013/ (2013).
35. Cotfas, D.T., Cotfas, P.A., Ursutiu, D., and Samoila, C., Current-Voltage Characteristic Raising Techniques for Solar Cells. Comparisons and Applications, Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2010 12th International Conference on Brasov, 1115 - 1120, *IEEE Xplore*, 10.1109/OPTIM.2010.5510373 (2010).
36. Chan, D. and Phang, J., Analytical methods for the extraction of solar cell single and double diode model parameters from I-V characteristics, *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 34, no. 2, 286– 293 (1987).
37. Cotfas, D.T., Cotfas, P.A. and Kaplanis, S., Methods to determine the dc parameters of solar cells: A critical review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, 588– 596 (2013).
38. Paire, M., Lombez, L., Péré-Laperne, N., Collin, S., et al., Microscale solar cells for high concentration on polycrystalline Cu(In,Ga)Se₂ thin films, *Applied Physics Letters*, vol. 98, 264102 (2011).
39. Cotal, H., Fetzer, C., Boisvert, J., Kinsey, G., et al., III–V multijunction solar cells for concentrating photovoltaics, *Energy & Environmental Science*, vol. 2, 174–192 (2009).

40. Green, M.A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., Dunlop, E.D., Solar cell efficiency tables (version 44), *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 22, 701–710 (2014).
41. Escobar, L.A., Meeker, W.Q., A Review of Accelerated Test Models, *Statistical Science*, vol. 21, no. 4, 552–577 (2006).
42. Osterwald, C.R., McMahon, T.J., History of Accelerated and Qualification Testing of Terrestrial Photovoltaic Modules: A Literature Review, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 17, 11–33 (2009).
43. Algora, C., Reliability of III–V concentrator solar cells, *Microelectronics Reliability*, vol. 50, 1193–1198 (2010).
44. González, J.R., Vázquez, M., Núñez, N., Algora, C., et al., Reliability analysis of temperature step-stress tests on III–V high concentrator solar cells, *Microelectronics Reliability*, vol. 49, 673–680 (2009).
45. Petrasch, J., Coray, P., Meier, A., Brack, M., et al., A Novel 50 kW11,000 Suns High-Flux Solar Simulator Based on an Array of Xenon Arc Lamps, *ASME J. Sol. Energy*, vol. 129, no. 4, 405–411 (2007).
46. Kuhn, P., Hunt, A., A New Solar Simulator to Study High Temperature Solid-State Reactions With Highly Concentrated Radiation, *Sol. Energy Mater.*, vol. 24, 742–750 (1991).
47. American Society for Testing and Material, ASTM G173–03, Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiance: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface, ASTM International, www.astm.org.
48. Alxneit, I., Schmit, H., Spectral Characterization of PSI’s High-Flux Solar Simulator, *ASME Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 134, 011013 (2012).
49. Cotfas, D.T., Cotfas, P.A., Floroian, D., **Floroian, L.**, Metodă și dispozitiv de testare accelerată a timpului de îmbătrânire a celulelor fotovoltaice – ARCL, CBI A/00557/31.07.15 (BI RO 130952 A0) (2015).
50. Cotfas, D.T., Cotfas, P.A., Floroian, D., **Floroian, L.**, Accelerated life test for photovoltaic cells using concentrated light, *International Journal of Photoenergy*, Volume 2016 (2016), Article ID 9825683, 7 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/98256832016> (ISI Journal impact factor: 1,226) (2016).

51. Cotfas, D.T., Cotfas, P.A., Floroian, D., **Floroian, L.**, Cernat, M., Ageing of Photovoltaic Cells Under Concentrated Light, IEEExplore, mai 2015, DOI: 10.1109/OPTIM.2015.7427048, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7427048> (2015).
52. Oustaloup, A., *La Dérivation non Entière: Theorie, Synthèse, et Applications*, Hermes, Paris (1995).
53. Podlubny, I., *Fractional-Order Systems and Fractional-Order Controllers*, Inst. Exp. Phys., Slovak Acad. Sci., UEF-03-94, Kosice (1994).
54. Das, S., Pan, I., *Fractional Order Signal Processing. Introductory Concepts and Applications*, Springer (2012).
55. Monje, C.A., Chen, Y.Q., Vinagre, B.M., Xue, D., Feliu-Batlle, V., *Fractional-order Systems and Controls. Fundamentals and Applications*, Advances in Industrial Control series, Springer-Verlag London (2010).
56. Petras, I., *Fractional-Order Nonlinear Systems. Modeling, Analysis and Simulation*, Ed. Springer (2011).
57. Bensafia, Y., and Ladaci, S., Adaptive Control with Fractional Order Reference Model, *International Journal of Science and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering IJ-STA*, Vol. 5, No.2, 1614-1623 (2011).
58. Li, Z., *Fractional order modeling and control of multi-input-multi-output processes*, Dissertation Paper, University of California, Merced (2015).
59. Astrom, K., and Wittenmark, B., *Adaptive Control*, USA, Courier-Dover (2008).
60. Palumbo, P., Ditlevsen, S., Bertuzzi, A., and DeGaetano, A., Mathematical modeling of the glucose-insulin system: A review, *Mathematical Biosciences*, Vol. 244, Issue 2, Aug. p. 69–81 (2013).
61. Bergman, R.N., Phillips, L.S., and Cobelli, C., Physiologic evaluation of factors controlling glucose tolerance in man. Measurement of insulin sensitivity and β -cell glucose sensitivity from the response to intravenous glucose, *Journal of Clinical Investigations*, Vol. 68, Dec. 1456–1467 (1981).
62. Cobelli, C., Toffolo, G., and Ferrannini, E., A model of glucose kinetics and their control by insulin, compartmental and noncompartmental approaches, *Mathematical Biosciences*, Vol. 72, Dec. 291-315 (1984).

63. Chen, J., Cao, K., Sun, Y., Xiao, Y., and Su, X.K., Continuous Drug Infusion for Diabetes Therapy: A Closed Loop Control System Design, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 2008, Article ID 495185, 1-10 (2008).
64. Kaveh, P., and Shtessel, Y., High Order Sliding Mode Control for Blood Control Regulation, *Proc. of the 2006 Int. Workshop on Variable Structure Systems, Italy*, 11-16 (2006).
65. Nimri, R., and Phillip, M., Artificial pancreas: fuzzy logic and control of glycemia, *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes, and Obesity*, Vol. 21 (4), Aug. p. 251-256 (2014).
66. N'Doye, I., Voos, H., Darouach, M., Schneider, J., Statioc Output Feedback H-inf Control for a Fractional-Order Glucose-Insuline System, *International Journal of Control, Automation and Systems*, 798-807 (2015).
67. Owren, M., Automatic Blood Glucose Control in Diabetes, Master Thesis at Norwegian University of Science and Technology (2009).
68. Lunze, K., Singh, T., Waltera, M., Brendelc, M.D., and Leonhardt, S., Blood glucose control algorithms for type-1 diabetic patients: a methodological review, *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol. 8 (2), Mar. 107-119 (2013).
69. Doyle, F.J., Huyett, L.M., Lee, J.B., Zisser, H.C., and Dassau, E., Closed-Loop Artificial Pancreas Systems: Engineering the Algorithms, *Diabetes Care*. Vol. 37, May 1191-1197 (2014).
70. Chee, F., Savkin, A.V., Fernando, T.L., and Nahavandi, S., Optimal H-inf Insulin Injection Control for Blood Glucose Regulation in Diabetic Patients, *IEEE Trans. on Biomed. Eng.*, vol. 52, no. 10, Oct. 1625-1631 (2005).
71. Hovorka, R., et al, Nonlinear model predictive control of glucose concentration in subjects with type 1 diabetes, *In Physiological Measure-ment*, Vol. 25, 905-920 (2004).
72. Coman, S., Boldisor, B., **Florioan, L.**, Fractional adaptive control for a fractional - order insuline - glucose dynamic model, *IEEEExplore*, DOI: 10.1109/OPTIM.2017.7975082 (2017).
73. Bueno, D., Mishra, R.K., Hayat, A., Catanante, G., Sharma, V., Muñoz,R., Marty, J.L., Portable and low cost fluorescence set-up for in-situ screening of Ochratoxin A., *Talanta*. Oct 1;159:395-400 (2017).

74. Iqbal, S.Z., Asi, M.R., Hanif, U., Zuber, M., Jinap, S., The presence of aflatoxins and ochratoxin A in rice and rice products; and evaluation of dietary intake., *Food Chem.* Nov 1;210:135-40 (2016).
75. Somorin, Y., Akinyemi, A., Bertuzzi, T., Pietri, A., Co-occurrence of aflatoxins, ochratoxin A and citrinin in egusi melon (*Colocynthis citrullus* L.) seeds consumed in Ireland and the United Kingdom. *Food Addit Contam Part B Surveill*, 9(3):230-235 (2016).
76. Homola, J., Present and future of surface plasmon resonance biosensors, *Anal Bioanal Chem*, 377, 528 (2003).
77. Vasilescu, A., Purcarea, C., Popa, E., Zamfir, M., Mihai, I., Litescu, S., David, S., Gaspar, S., Gheorghiu, M., Marty, J.L., Versatile SPR aptasensor for detection of lysozyme dimer in oligomeric and aggregated mixtures. *Biosens Bioelectron*, 83, 353-360 (2016).
78. Vasilescu, A., **Floroian, L.**, Moga, M., Badea, M., Development of a surface plasmon resonance method for OTA in plant extracts, Project meeting Vienna, mai (2014).
79. Ha, T.H., Recent Advances for the Detection of Ochratoxin A. *Toxins (Basel)*. Dec 4;7(12):5276-300 (2015).
80. Nameghi, M.A., Danesh, N.M., Ramezani, M., Hassani, F.V., Abnous, K., Taghdisi, S..M., A fluorescent aptasensor based on a DNA pyramid nanostructure for ultrasensitive detection of ochratoxin A. *Anal Bioanal Chem*. Aug; 408(21):5811-8 (2016).
81. Sharma, A., Catanante, G., Hayat, A., Istamboulie, G., Ben Rejeb, I., Bhand, S., Marty, J.L., Development of structure switching aptamer assay for detection of aflatoxin M1 in milk sample. *Talanta*. Sep 1;158:35-41 (2016).
82. Pichon, V., Combès, A., Selective tools for the solid-phase extraction of Ochratoxin A from various complex samples: immunosorbents, oligosorbents, and molecularly imprinted polymers. *Anal Bioanal Chem*, 408(25), 6983-99 (2016).
83. Prieto-Simón B., Campàs M., Marty J.L., Noguer T., Novel highly-performing immunosensor-based strategy for ochratoxin A detection in wine samples., *Biosens Bioelectron.*, 23(7): 995-1002 (2008).
84. Badea, M., **Floroian, L.**, Restani, P., Cobzac, S.C., Moga, M., Ochratoxin A Detection on Antibody- Immobilized on BSA-Functionalized Gold Electrodes, *PLoS One.*, 11(7): 16-21.
85. Zamfir, G., Geana, I., Bourigua, S., Rotariu, L., Bala, C., Errachid, A., Jaffrezic-Renault, N., Highly sensitive label-free immunosensor for ochratoxin A based on functionalized

- magnetic nanoparticles and EIS/SPR detection *L Sensors and Actuators B: Chemical*, 159, 178–184 (2011).
86. Badea, M., **Floroian, L.**, Restani, P., Moga, M., Simple surface functionalization strategy for immunosensing detection of aflatoxin B1, *International Journal of Electrochemical Science*, Volume: 11, Pages: 6719 – 6734, (2016).
87. Radu, G., Condrea, S., Plotogea, A., Vadanuta-Plotogea, A., Haba, B., Badea, M., Dima, L., Leasu, F., Coman, Gh., Taus, N., Marty, J.L., Potrovita, M., Roman, M., Heavy metals toxicity and some detection techniques, 10th CEEPUS – Biomedicine Students' Council Summer University, Multidisciplinary approach: kidney function in health and disease, Zadar Croatia 23-30 iulie, .74; ISBN 978-953-6256-41-9 (2007).
88. Badea, M., **Floroian, L.**, Chelmea, L., Faraian, C., Moga, M., Rogozea, L., Marty, J.L., Restani, P., Studii experimentale folosind biosenzori enzimatici pentru detecția electrochimică a metalelor grele, *Jurnal Medical Brasovean*, 2: 22-26 (2013).
89. Faraian, C., **Floroian, L.**, Coman, Gh., Nunes, G.S., Moga, M., Badea, M., Cadmium and lead detection using electrochemical methods, In *Sensing-Monitoring-Telediagnosis for Life Sciences*, Vol. 2. Food and Environment, Badea M., **Floroian L.**, Moga M. (Editori), . 156-167 (2014).
90. Florescu, M., Badea, M., Coman, Gh., Marty, J.L., Mitrica, M., Screen printed electrodes used for detection of heavy metals, *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*, 16(51) 49-54; ISSN: 2065-2216 (2009).
91. Chelmea, L., Faraian, C., **Floroian, L.**, Coman, Gh., Nunes, G.S., Badea, M., Heavy metals detection using electrochemical and enzyme-catalysed methods (P.2.5.), *International Conference New Trends on Sensing-Monitoring-Telediagnosis for Life Sciences*, NT SMT-LS 2014, 24-26 iulie, Brasov, Book of Abstracts, Ed Lux Libris, ISBN 978 - 973 - 131 – 280 (2014).
92. Florescu, M., David, M., **Floroian, L.**, Badea, M., Development and characterization of electrochemical enzyme based biosensors used in heavy metal detection, 12th International Balkan Workshop on Applied Physics, IBWAP, 06-08 iulie, Constanta, Romania, <http://www.univ-ovidius.ro/ibwap2011/home.htm> (2011).
93. **L. Floroian**, Data management application in a smart hospital, *Jurnal Medical Braşovean*, nr.2/2021, pp. 59-65, Braşov, 2021, ISSN: 1841-0782, eISSN: 2247-4706,

94. Floroian, D., **Floroian, L.**, Moldoveanu, F., Multiagent System for Monitoring Chronic Diseases, Vol. 36, 2011, Springer, Heidelberg, Germany, IFMBE (The International Federation for Medical and Biological Engineering) Proceedings 00360067, S. Vlad, R.V. Ciupa, A. I. Nicu (Eds.), pp. 26-31, ISSN: 1680-0737, DOI: 10.1007/978-3-642-22586-4-7,
95. Badea, M., **Floroian, L.**, Floroian, D., Moga, M., Rogozea, L., Telemedicine and telediagnosis – general perception of young students from Romania, revista: Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series VI: Medical Sciences, Vol. 7 (56) No. 1 – (2014).
96. Badea, M., Rogozea, L., Marty, J.L., Telemonitoring and Telediagnostic for life Sciences, Ed. Lux Libris, ISBN: 978-973-131-231-6 (2013).
97. Ursuțiu, D., Samoilă, C., Moga, M., Jinga, V., (2014): New hardware (beta testing) with potential to be used in medical care using wireless technology and Virtual Instrumentation, Proceedings of ICMERA 2014 Conference (București, România) – Monitoring, Controlling and Architecture of Cyber Physical Systems, pag. 606 – 614, ISSN 1660-9336 (2014).
98. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK45445/> (Telemedicine: A Guide to Assessing Telecommunications in Health Care)
99. Ravariu, C., Ursuțiu, D., Babarada, F., Arhip, J., Sorin Arama, S., Radulian, G., Samoilă, C., Remote measurements of the electrical gastric signals – between theory and practice, Proceedings of REV 2014 Conference (26 – 28 February 2014, Porto – Portugal) (2014).
100. Jinga, V., Oros, R., Samoilă, C., Ursuțiu, D.: New technology – WITAG for temperature and pressure monitoring in critical areas of chemical equipment, Proceedings of METAL 2010 Conference, ISBN 978-87294-15-4, Republica Cehă (2010).
101. Sekyoung Youm, Seung-Hun Park (2014): Development and Evaluation of a Mobile Application for Personal Lifestyle Check-Up and Improvement, Journal of Telemedicine and e-Health vol., ISSN: 1530-5627 (2014).
102. <http://www.wearable-technologies.com/>
103. Manoj Thosar, Manish Mathew, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) ISSN: 2278-1676 Volume 4, Issue 1, 01-04 (2013).
104. Melton, A.G., Kucukgok, B., Wang, B-Z., Dietz, N., Lu, N., and Ferguson, I.T., Mater. Res. Soc. Proc. Vol. 1493, E15.02, 1-6 (2013).

105. Correia, M.R., Pereira, S., Alves, E., and Arnaudov, B.: Superlattice Microstruct., vol. 40 (4–6), 452–57 (2006).
106. Neufeld, C.J., Toledo, N.G., Cruz, S.C., Iza, M., DenBaars, S.P., and Mishra, U.K., Appl. Phys. Lett. 93(14), 143502 (2008).
107. Husberg, O., Khartchenko, A., As, D.J., Lischka, K., Silveira, E., Noriega, O.C., et al. Phys. Status Solidi C, vol. 0 (1), 293–97 (2003).
108. Kondo¹, T., Ohta, J., Inoue, S., Kobayashi, A., and Fujioka, H., Improvement in crystalline quality of GaN prepared by pulsed sputtering by the use of SiN_x islands 4th International Symposium on Growth of III-Nitrides, Mo-76p, July 16-19, St. Petersburg, Russia (2012).
109. McLaughlin, D.V.P. Pearce, J.M., Progress in Indium Gallium Nitride Materials for Solar Photovoltaic Energy Conversion, Metall. Mater. Trans. A 44, 1947-1954 (2013).
110. Lee, H-J., Smyth, K., Bathurst, S., Chou, J., Ghebrebrhan, M., et al.: Hafnia-plugged microcavities for thermal stability of selective emitters, Appl. Phys. Lett. 102, 241904 (2013).
111. Lenert, A. et al. A nanophotonic solar thermophotovoltaic device, Nat. Nanotechnol. 9, 126-130 (2014).
112. Celanovic, I., O'Sullivan, F., Ilak, M., Kassakian, J., Perreault, D., Design and optimization of one-dimensional photonic crystals for thermophotovoltaic applications, Opt. Lett. 29(8), 863 – 865 (2004).
113. Yeng, Y.X., Ghebrebrhan, M., Bermel, P., Chan, W.R., J.D. Joannopolous, Moljacic, M., Celanovic, I., Enabling high-temperature nanophotonics for energy applications, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 109(7), 2280-2285 (2012).
114. Kirikae, D., Suzuki, Y., Kasagi, N., A silicon microcavity selective emitter with smooth surfaces for thermophotovoltaic power generation, J. Micromech. Microeng. 20(10), 104006 (2010).
115. Rinnerbauer, V., Ndao, S., Xiang Yeng, Y., Senkevich, J.J. et al. Large-area fabrication of high aspect ratio tantalum photonic crystals for high-temperature selective emitters, J. Vac. Sci. Technol. B31(1), 011802 (2013).
116. Lin, S.Y., Moreno, J., Fleming, J.G., (2003): Three-dimensional photonic-crystal emitter for thermal photovoltaic power generation, Appl. Phys. Lett. 83(2), 380-382

117. Schlemmer, C., Aschaber, J., Boerner, V., Luther, J., Thermal stability of micro-structured selective tungsten emitters, AIP Conf. Proc. 653(1), 164-173 (2003).
118. Lee, H.J., Smyth, K., Bathurst, S., Chou, J., et al. Hafnia-plugged microcavities for thermal stability of selective emitters, Appl. Phys. Lett. 102(24), 241904 (2013).
119. http://www.theengineer.co.uk/energy-and-environment/news/mit-devices-uses-heat-store-to-crank-up-solar-panel-power/1017842.article?cmpid=tenews_105601
120. Bermel, P. et al. Design and global optimization of high-efficiency thermophotovoltaic systems, Opt. Express 18 Suppl 3, A314–34 (2010).