

**RECEPȚIONAT**

Ministerul Educației și Cercetării

\_\_\_\_\_ 2025

**AVIZAT**

Secția Academiei de Științe a Moldovei

\_\_\_\_\_ 2025

**UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA**

(denumirea organizației de drept public din domeniile cercetării și inovării)

**INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ**

(denumirea unității de cercetare)

**RAPORT ȘTIINȚIFIC ANUAL****pentru etapa 2024****privind realizarea subprogramului de cercetare în cadrul  
programului instituțional de cercetare al organizației (2024-2027)****Titlul subprogramului MATERIALE ȘI STRUCTURI ÎN BAZA ELEMENTELOR  
ABUNDENTE PENTRU DETECTAREA RADIAȚIILOR ȘI CONVERSIA EFICIENTĂ  
A ENERGIEI****Prioritatea strategică Tehnologii inovative, energie sustenabilă, digitalizare****Codul subprogramului 011207**

Directorul unității de cercetare

ȘIKIMAKA Olga

(numele, prenumele)

\_\_\_\_\_ (semnătura)

Coordonatorul subprogramului  
de cercetareVATAVU Sergiu

(numele, prenumele)

\_\_\_\_\_ (semnătura)

Chișinău, 2025

## CUPRINS:

|     |                                                                                                                                                  |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Scopul și obiectivele etapei 2024                                                                                                                | 3  |
| 2.  | Acțiunile planificate pentru etapa 2024                                                                                                          | 3  |
| 3.  | Acțiunile realizate în 2024                                                                                                                      | 3  |
| 4.  | Rezultatele obținute                                                                                                                             | 3  |
| 5.  | Impactul științific, social și/ sau economic al rezultatelor științifice obținute                                                                | 6  |
| 6.  | Diseminarea rezultatelor obținute în subprogram în formă de publicații                                                                           | 7  |
| 7.  | Diseminarea rezultatelor obținute în subprogram în formă de prezentări la foruri științifice                                                     | 7  |
| 8.  | Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în subprogram în mass-media                                                                        | 7  |
| 9.  | Colaborare la nivel național și internațional                                                                                                    | 7  |
| 10. | Teze de doctorat/ postdoctorat susținute și confirmate în anul 2024 de membrii echipei subprogramului                                            | 7  |
| 11. | Dificultăți în realizarea subprogramului (financiare, organizatorice, legate de resursele umane etc.)                                            | 7  |
| 12. | Concluzii                                                                                                                                        | 8  |
| 13. | Anexe                                                                                                                                            | 9  |
|     | Anexa nr. 1. <i>Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în subprogram în anul 2024 (în limba română și în limba engleză)</i>            | 9  |
|     | Anexa nr. 2. <i>Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice publicate în anul 2024 în cadrul subprogramului de cercetare</i> | 11 |
|     | Anexa nr. 3. <i>Componența echipei de cercetare a subprogramului</i>                                                                             | 14 |

## 1. Scopul și obiectivele etapei 2024

Elaborarea și optimizarea tehnologiei de preparare a oxizilor NiO, VO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO, ZnO:Al prin metoda metalorganic aerosol deposition pe substraturi amorse și cristaline, conductibile și dielectrice reieșind din proprietățile structurale, morfologice și optice.

## 2. Acțiunile planificate pentru etapa 2024

- Va fi elaborată tehnologia oxizilor NiO, VO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> prin metoda metalorganic aerosol deposition (MAD) pe diferite substraturi reieșind din proprietățile structurale (XRD), morfologice (AFM).
- Va fi elaborată tehnologia de preparare a NiO prin metoda DC reactive magnetron sputtering și efectuată analiza comparativă a proprietăților fizice în funcție de tehnologia de preparare.
- Va fi elaborată și optimizată tehnologia de preparare a ZnO și ZnO:Al prin metoda MAD reieșind din proprietățile structurale, morfologice, optice, luminescente și de transport.

## 3. Acțiunile realizate în 2024

- A fost elaborată și optimizată tehnologia oxizilor NiO:(Ga, V, La, In), VO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO și ZnO:Al prin metoda metalorganic aerosol deposition (MAD) pe substraturi de Si/SiO<sub>x</sub>, safir și sticlă
- Au fost studiate proprietățile structurale (XRD), morfologice (AFM, SEM) și compoziționale (EDXS, XPS)
- A fost elaborată tehnologia de preparare a NiO prin metoda DC reactive magnetron sputtering și efectuată analiza comparativă a proprietăților fizice în funcție de tehnologia de preparare
- A fost optimizată tehnologia pentru prepararea ZnSnN<sub>2</sub> și ZnGeN<sub>2</sub> și studiate proprietățile structurale și compoziția în funcție de variațiile tehnologice.

## 4. Rezultatele obținute

A fost elaborată instalația și optimizată tehnologia de preparare a nanostraturilor subțiri de oxizilor NiO:(Ga, V, La, In), VO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO și ZnO:(Al, Ga) prin metoda Metalorganic Aerosol Deposition (MAD) ce permite rate de creștere ale straturilor de 0,1-10 nm/s (Fig.1).

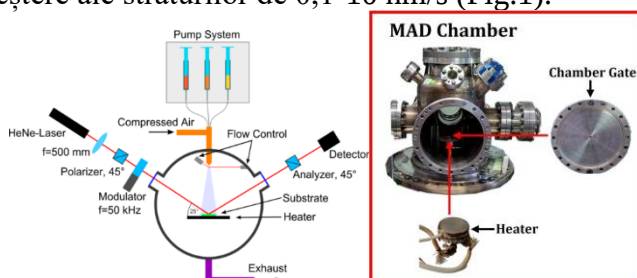


Fig.1. Schema instalației de preparare a filmelor oxidice prin MAD.

Variațiile tehnologice includ dirijarea cu concentrațiile dopandului în soluțiile destinate aplicării, tipul dopantului, temperatura suportului și tipul suportului. *De exemplu*, în cazul preparării oxidului de Ni (NiO), în vederea dopării, în calitate de precursor s-a folosit Vanadium (III) acetylacetonate (V(acac)<sub>3</sub>), Gallium (III) 2,4 pentanedionate (Ga(acac)<sub>3</sub>), Lanthanum (III) acetylacetonate hydrate (La(acac)<sub>3</sub>), Indium (III) acetylacetonate (In(acac)<sub>3</sub>) ce au fost adăugate în soluția de Ni(acac)<sub>2</sub>. Doparea cu Ga a oxidului de nichel a fost realizată prin variația concentrației acestuia în soluții de la 0,1 la 6,0 %at. Ceilalți dopanți folosiți pentru filmele de NiO - In, V, La au avut concentrația de 1%at în soluție. Dimethylformamide, în calitate de principalul agent de transport a fost folosit datorită compatibilității depline a acestuia cu cerințele pentru MAD. SiO<sub>x</sub>/Si(111) și r-cut Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> au fost folosite

în calitate de suporturi. Temperatura suportului a variat între 450-650°C. O tehnologie similară a fost folosită pentru depunerea celorlalți oxizi.

Analiza de fază cantitativă și precizarea parametrilor rețelei cristaline a presupus utilizarea difracției de raze X în configurație Grazing Incidence și folosirea metodei Rietveld, considerându-se: factorul de scară, factorul de polarizare Lorentz, factorul de multiplicitate, factorul de structură, funcția de profil a maximumului provenit de la reflexia de la planul dat, (în calitate de funcție de profil s-a utilizat funcția Pseudo-Voight), factorul de absorbție, intensitatea fondului, factorul de texturare, în aproximația March-Dollase. Pentru determinarea dimensiunii cristalitelor și a microstrain-ului s-a utilizat metoda Williamson-Hall modificată pentru funcția de profil Pseudo-Voight. A fost folosită pentru comparație și baza de date ICDD PDF 5+. Pentru caracterizarea morfologiei suprafețelor oxizilor au fost folosite SEM și AFM. Analiza compozițională a fost realizată cu folosirea EDXS și XPS. În particular structurile selectate au fost analizate compoziționale și prin XRF. Proprietățile electronice ale straturilor formate au fost caracterizate prin folosirea Kelvin Probe (KP) și Photoelectron Yield Spectroscopy (PYS).

Astfel a fost stabilită corelarea dintre parametrii tehnologici de preparare și evoluția strucural morfologică a filmelor subțiri de NiO (Fig.2).

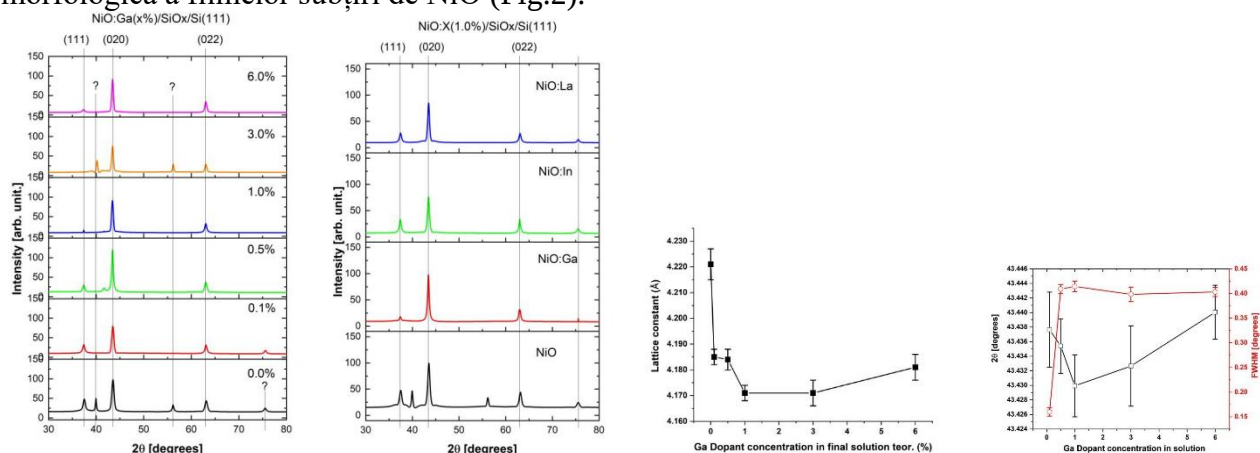


Fig.2. GI-XRD pattern pentru straturile de NiO și evoluția constantei cristaline și a maximumului de difracție (020)

Straturile subțiri de NiO sunt policristaline (cu structură rock salt) fiind preparate pe substraturi de  $\text{SiO}_x/\text{Si}(111)$ . Analiza AFM a demonstrat valori RMS 10-12 nm (Fig.3).

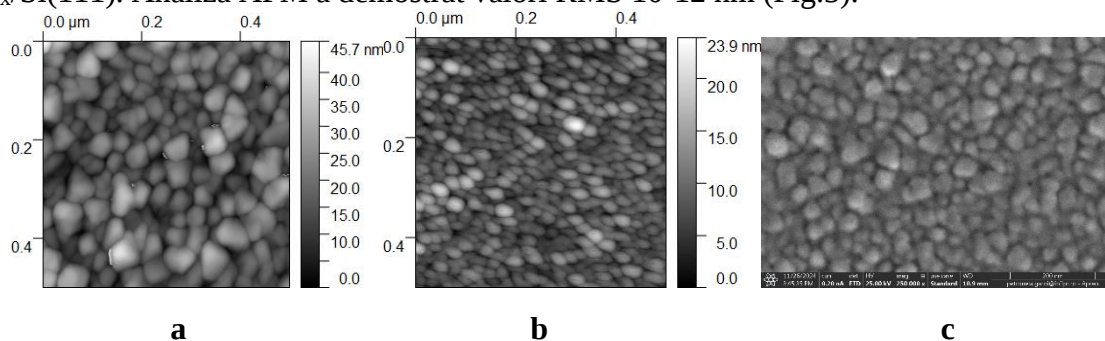


Fig.3. Imagini NCM AFM pentru NiO nedopat preparat pe  $\text{SiO}_x/\text{Si}(111)$  (a) și r-sapphire (b) precum și imagini SEM NiO preparat pe  $\text{SiO}_x/\text{Si}(111)$

Analize similare au fost realizate și pentru ceilalți oxizi cercetați.

În vederea utilizării în dispozitive fotovoltaice și în sistemele de detectare a radiațiilor electromagnetice au fost preparate filme subțiri de  $\text{ZnSnN}_2$ , constând din elemente chimice pe larg răspândite, cu proprietăți fizice remarcabile. A fost realizată o analiză detaliată a structurii, morfologiei și proprietăților electronice ale filmelor subțiri de  $\text{ZnSnN}_2$  preparate în funcție de raportul

[Zn]/([Zn]+[Sn]) în filme și condițiile de sinteză. Filmele subțiri de  $\text{ZnSnN}_2$  au preparate pe substraturi de sticlă prin utilizarea DC reactive magnetron sputtering în plasmă  $\text{N}_2$  prin utilizarea țintelor cu diferite rapoarte [Zn]/[Sn] ( $x=0,15-0,85$ ) la temperaturi ale substratului cuprinse între  $30^\circ\text{C}$  și  $350^\circ\text{C}$ . Procesul de preparare este urmat de tratare termică post-depunere in situ la  $350^\circ\text{C}$  în vid, și în Ar. Filmele subțiri preparate și tratate in situ au fost analizate structural reieșind din descrierile de mai sus și suplimentar cu XRR. Compoziția elementală a probelor a fost analizată prin numai prin XRF. Proprietățile electronice în funcție de temperatura suportului și compoziția țintei au fost investigate prin Kelvin Probe și Photoelectron Yield Spectroscopy. Analiza structurală a filmelor de  $\text{ZnSnN}_2$  (cu grosimi de 15-44 nm determinate din XRR) a demonstrat formarea unei structuri monofazate de tip Wurtzite ( $\text{P6}_3\text{mc}$ ), parametrii rețelei fiind dependenți de temperatura substratului ( $a=b=3.370-3.414 \text{ \AA}$ ;  $c=5.467-5.600 \text{ \AA}$ ;  $\alpha=\beta=90^\circ$ ;  $\gamma=120^\circ$ ); Cu toate acestea, microdeformarea, dimensiunea cristalitelor (9,8-54,0 nm) și proprietățile electronice depind de temperatura substratului, precum și de mediul de tratare. Analiza compoziției elementale a arătat o influență mare a compoziției țintei asupra stoichiometriei filmului. Filme de stoichiometrie aproape de 1:1:2 au fost preparate la o temperatură a substratului de  $200^\circ\text{C}$  prin utilizarea țintei  $\text{Zn}_{0,50}\text{Sn}_{0,50}$ . Proprietățile electronice depind de temperatura substratului și de recoacere post-depunere aplicată. Pentru filmele așa cum sunt preparate, energia de ionizare atinge o valoare maximă de 5,7 eV la o temperatură a substratului de  $150^\circ\text{C}$  în cazul utilizării țintei  $\text{Zn}_{0,50}\text{Sn}_{0,50}$ , care corespunde compoziției filmului de [Zn]/([Zn]+[Sn])=0,6. Energia de ionizare a filmelor tratate termic post-depunere se modifică între 5,45 eV și 5,60 eV odată cu creșterea temperaturii substratului de la  $150^\circ\text{C}$  la  $350^\circ\text{C}$ . Lucrul de ieșire a filmelor tratate în vid crește de la 4,6 eV la 4,9 eV, în timp ce pentru straturile tratate în Ar, acest parametru scade de la 5,0 eV la 4,7 eV pentru variația temperaturii substratului între  $150^\circ\text{C}$  și  $350^\circ\text{C}$ . În limita adâncimii de caracterizare a metodei PYS, a fost observată schimbarea tipului de conductibilitate a straturilor subțiri din  $p$  în  $n$ . Modificarea tipului de conductibilitate din  $p$  în  $n$ -type este influențat de raportul [Zn]/([Zn]+[Sn]) și temperatura suportului. Straturi subțiri cu compoziția stoichiometrică 1:1:2 au fost preparate la  $T_{\text{suport}} = 200^\circ\text{C}$  și au conductibilitate de tip  $p$ -în timp ce filmele preparate la  $T_{\text{suport}} > 300^\circ\text{C}$  și supuse tratamentului termic la  $350^\circ\text{C}$  în Ar sunt de tip  $n$ .

Cercetarea proprietăților fotoluminescente ale materialelor peliculare AIBVI și a soluțiilor solide ale acestora, ce vor fi utilizate în etapele imediat următoare ale proiectului, în vederea stabilirii evoluției stărilor energetice din banda interzisă, a permis să se ajungă la un model teoretic al tranzițiilor luminescente în regiunea impuritară și ce excitonică ce explică bine rezultatele experimentale. În particular, natura a două maxime excitonice (1,587 eV și 1,592 eV) din spectrul FL al telurului de cadmiu se datorează anihilării radiative a excitonului în starea fundamentală ( $n=1$ ) și, respectiv, în starea excitată ( $n=2$ ). Conform modelului excitonului hidrogenoid, energia de legătură în CdTe ar trebui să fie de 11 meV. Totuși, luând în considerare ecranarea Coulomb, energia de legătură în apropierea tranziției Mott este de 7-9 meV, iar banda interzisă la 5 K - 1,591 eV. Raza stării excitonului, calculată ca parametru variațional al energiei de legătură a excitonului în starea fundamentală, trebuie de asemenea utilizată pentru a determina starea excitată, deoarece funcțiile de undă trebuie să fie ortonormale. Atunci energia de legătură a stării excitate  $n=2$  este de ordinul a 2 meV. Intensitățile benzilor excitonice ar trebui să se micșoreze ca  $n^{1/3}$ . Cu toate acestea, analiza funcțiilor de undă, ținând cont de potențialul Yukawa în cadrul teoriei perturbațiilor, arată că raportul de intensitate crește la o valoare de ordinul a 0,4 conform experimentului. Rata recombinării radiative în aproximarea Debye-Waller depinde de funcția de corelare - media deplasărilor pe nuclee. Forma-funcția emisiei radiative excitonice:  $F = \sqrt{\omega} e^{-\tilde{\omega}\tau(W+\hbar/k_0T)}$ . Astfel, modelul excitonilor liberi este în acord cu experimentul. Tranziția Mott de la mecanismul excitonic la cel de emisie bandă-bandă este controlată atât de temperatură, cât și de puterea laser de excitare. La 4,7 K, se observă anihilarea radiativă a excitonilor liberi  $n=1$  și  $n=2$ . În intervalul de temperatură  $T=4,7-30 \text{ K}$  intensitatea benzii impuritate descrește, însă creșterea de mai departe a temperaturii 30-45 K duce la mărirea intensității tranzițiilor radiative dar și la dispariția structurii fononice a benzii. Acest lucru poate fi asociat cu tranziția Mott.

A fost efectuată o analiză teoretică a structurii fononice a benzilor de fotoluminescență excitonică și impuritară. Factorul Huang-Rhys (HR) pentru interacțiunea exciton-fonon în CdTe a fost calculat prin utilizarea datelor experimentale de FL pentru filmele subțiri de CdTe. Factorul HR nu poate fi găsit experimental într-un număr de cazuri din cauza autoabsorbției în FL benzii nul-fononice. Natura celor două maxime excitonice din spectrul FL al CdTe la 4,7K se datorează anihilării radiative a excitonilor legați la acceptor (1,587 eV) și donor (1,592) în starea  $n=1$ . Conform datelor experimentale, replicile fononice ale excitonilor, atât liberi, cât și legați, sunt mai puțin intense decât replicile fononice ale benzii impuritate (1,450 eV). În consecință, dacă constanta de cuplare în cazul benzii (1,450 eV) este mai mare decât unitatea, atunci pentru maximele excitonice numărul de fononi emiși per foton este mai mic decât unitatea. Calculul form-funcției benzii FL ia în considerație tranzițiile multicuantice, interacțiunea Froehlich a excitonilor, electroni din benzi și golurile legate de acceptori (fononi LO) în cadrul funcțiilor lui Green dependente de temperatură. În aproximația cu două benzi, replicile fononice ale excitonilor legați și liberi sunt caracterizate de elementul de matrice al interacțiunii Fröhlich  $M_{1s}(q) = \langle 1S(e^{iqr_h} - e^{iqr_e})1S \rangle$ . Aici  $\psi_{1s}(r) = e^{-r/a_B}(\pi a_B^3)^{-1/2}$ .

Factorul HR al interacțiunii excitonului cu fononii LO este determinat astfel:

$$N_{1s} = \sum_{q \leq q_c} \frac{2\pi e^2 \omega_{LO}^{-1}}{(q^2 + \lambda_D^{-2})} \frac{M_{1s}^2(q)}{\hbar \varepsilon^* V}, M_{1s}(q) = \frac{2\pi}{\pi a_B^3} \int_0^\infty dr \cdot r^2 \int_{-1}^1 dx (e^{iqra_h} - e^{-iqra_e}) e^{-\frac{r}{a_B}}.$$

Estimarea obținută arată că numărul de fononi optici emiși de excitoni  $N_{1s}$  per foton este mai mic decât unitatea, în timp ce recombinarea radiativă impuritară este caracterizată printr-o cuplare puternică cu fononi la  $N_A > 1$ . În aproximarea interacțiunii Fröhlich,  $N_{1s}$  este determinată de ecuația:

$$N_{1s} = \frac{G}{\hbar \omega_{LO}} \frac{5m_e + m_h}{8} \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty}{\varepsilon_\infty} F(\gamma) = 0.24 \left( 1 + \gamma - \frac{3.2}{(1 - \gamma^2)^2} \left( \gamma^4 + \gamma - \frac{4\gamma^2(\gamma - \gamma^2)}{(1 - \gamma^2)} \right) \right) \#(2)$$

Întrucât pentru banda 1,437 eV:

$$N_{eA} = \frac{e^2 \lambda_D}{\pi \hbar \omega_{LO} \varepsilon^*} I_A, I_A = \int_0^\infty \frac{x^2}{1 + x^2} \left( \frac{1}{(1 + x^2 \beta_h^2)^2} \right)^2 dx, \beta_h = \frac{m_h}{m_e + m_h} \frac{a_A}{2\lambda_D}, a_A = \frac{\hbar^2 \varepsilon_0}{m_h e^2} \#(3)$$

contribuția principală este determinată de interacțiunea golurilor cu polarizarea rezultată din vibrațiile cristalului. Ținând cont de polarizare și  $\gamma = \gamma_e/\gamma_h = m_e/m_h = 0.274$ , factorul HR este  $N_{eA} = 1.85 \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty}{\varepsilon_\infty} = 0.74$ . Considerând că  $N_{BA} = 0.74$ ,  $a_B = a_B^{exc} m_r/m_h$ ,  $a_A = 0.37 a_B \cong 0.1 a_B^{exc}$ , factorul HR  $N_{eA} = 2$  a fost găsit fiind în acord cu experimentul.

## 5. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute

Impactul rezultatelor obținute este evidențiat prin:

- realizarea materialelor noi, inovative cu performanțe remarcabile și dezvoltarea de noi procese tehnologice sustenabile pentru materiale aplicabile în detectarea radiațiilor electromagnetice (eg. NiO, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> etc.);
- elaborarea materialelor cu proprietăți avansate pentru exploatare în condiții speciale (eg. ZnSn(Ge)N<sub>2</sub>);
- elaborarea dispozitivelor detectoare de radiații electromagnetice low-cost cu utilizare nemijlocită în sectoarele economiei naționale, având parametri funcționali superiori celor existenți la moment,
- elaborarea materialelor cu proprietăți termo- (VTiO) și electrocromice (NiO), avantajoase din punct de vedere a tehnologiilor folosite în particular materiale inteligente pentru ferestre ce vor reduce consumul de energie.

- cercetătorii tineri, la început de carieră, doctoranzii au posibilitate și sunt implicați în cercetare într-un grup de savanți experimentați în vederea obținerii experienței științifice.

## **6. Diseminarea rezultatelor obținute în subprogram în formă de publicații**

Lista integrală a publicațiilor din anul 2024 în care se reflectă rezultatele obținute în subprograme este prezentată în Anexa nr. 2.

Articole cu factor de impact publicate – **3**

Articole cu factor de impact pregătite pentru publicare – **1**

Prezentări la conferințe internaționale (înafara RM) – **4** (1 oral talk)

Prezentări la conferințe internaționale (în RM) – **8** (1 oral talk)

Brevete de invenții – **1**

## **7. Diseminarea rezultatelor obținute în subprogram în formă de prezentări la foruri științifice. (comunicări, postere – pentru cazurile când nu au fost publicate în materialele conferințelor)**

N/A

## **8. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în subprogram în mass-media**

➤ Emisiuni radio/TV de popularizare a științei

N/A

➤ Articole de popularizare a științei

N/A

## **9. Colaborare la nivel național și internațional**

Colaborări la nivel național:

Laboratorul Fizica și Ingineria Nanomaterialelor „E. Pokatilov”

Laboratorul Fizica Compușilor Semiconductori "Sergiu Rădăușan"

Laboratorul Materiale pentru Fotovoltaică și Fotonică

Colaborări la nivel internațional:

Institutul National pentru Fizica Laserilor, Plasmei si Radiatiei (INFLPR), Romania

Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences (FZU), Czechia

Helmholtz Zentrum Berlin fuer Materialien und Energie (HZB), Germany

## **10. Teze de doctorat/ postdoctorat susținute și confirmate în anul 2024 de membrii echipei subprogramului**

N/A

## **11. Dificultăți în realizarea subprogramului (financiare, organizatorice, legate de resursele umane etc.)**

Mod achizițiilor necesită modificări cardinale prin efectuarea modificărilor legislative.

## 12. Concluzii

A fost elaborată instalația și optimizată tehnologia de preparare a nanostraturilor subțiri de oxidilor NiO:(Ga, V, La, In), VO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO și ZnO:(Al, Ga) prin metoda Metalorganic Aerosol Deposition (MAD) ce permite rate de creștere ale straturilor de 0,1-10 nm/s. Variațiile tehnologice permit dirijarea cu concentrațiile dopandului în soluțiile destinate aplicării, tipul dopantului, temperatura suportului și tipul suportului. Dimethylformamide, în calitate de principalul agent de transport a fost folosit datorită compatibilității depline a acestuia cu cerințele pentru MAD. SiO<sub>x</sub>/Si(111) și r-cut Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> au fost folosite în calitate de suporturi. Temperatura suportului a variat între 450-650°C.

Analiza de fază cantitativă și precizarea parametrilor rețelei cristaline a presupus utilizarea difracției de raze X în configurație Grazing Incidence și folosirea metodei Rietveld, considerându-se factorii ce aduc un aport în tabloul de difracție și funcția Pseudo-Voight. Pentru caracterizarea morfologiei suprafețelor oxidilor au fost folosite SEM și AFM. Analiza compozițională a fost realizată cu folosirea EDXS, XRF și XPS. Proprietățile electronice ale straturilor formate au fost caracterizate prin folosirea Kelvin Probe (KP) și Photoelectron Yield Spectroscopy (PYS).

Au fost preparate filme subțiri nanometrice de ZnSnN<sub>2</sub>, utilizând DC reactive magnetron Sputtering. A fost realizată o analiză detaliată a structurii, morfologiei și proprietăților electronice ale filmelor subțiri de ZnSnN<sub>2</sub> preparate în funcție de raportul [Zn]/([Zn]+[Sn]) în filme și condițiile de sinteză. În limita adâncimii de caracterizare a metodei PYS, modificarea tipului de conductibilitate din *p* în *n*-type este influențat de raportul [Zn]/([Zn]+[Sn]) și temperatura suportului. Straturi subțiri cu compoziția stoichiometrică 1:1:2 au fost preparate la T<sub>suport</sub> = 200°C și au conductibilitate de tip *p*-în timp ce filmele preparate la T<sub>suport</sub> > 300°C și supuse tratamentului termic la 350°C în Ar sunt de tip *n*. Filmele tratate post-depunere demonstrează proprietăți fizice aplicabile în dispozitive fotovoltaice și fotodetectoare.

A fost elaborat un model teoretic al tranzițiilor luminescente în regiunea impuritară și cea excitonică ce explică bine rezultatele experimentale. În particular, form-funcția emisiei radiative excitonice este:  $F = \sqrt{\omega} e^{-\tilde{\omega}\tau(W+\hbar/k_0T)}$ . A fost efectuată o analiză teoretică a structurii fononice a benzilor de fotoluminescență excitonică și impuritară. Factorul Huang-Rhys (HR) pentru interacțiunea exciton-fonon în CdTe a fost calculat prin utilizarea datelor experimentale de FL pentru filmele subțiri de CdTe. În aproximația a două benzi, replicile fononice ale excitonilor legați și liberi sunt caracterizate de elementul de matrice al interacțiunii Fröhlich  $M_{1s}(q) = \langle 1S(e^{iqr_h} - e^{iqr_e})1S \rangle$ . Factorul HR al interacțiunii excitonului cu fononii LO este determinat astfel:

$$N_{1s} = \sum_{q \leq q_c} \frac{2\pi e^2 \omega_{LO}^{-1} M_{1s}^2(q)}{(q^2 + \lambda_D^{-2}) \hbar \epsilon^* V}, M_{1s}(q) = \frac{2\pi}{\pi a_B^3} \int_0^\infty dr \cdot r^2 \int_{-1}^1 dx (e^{iqra_h} - e^{-iqra_e}) e^{-r \frac{2}{a_B}}.$$

Estimarea obținută arată că numărul de fononi optici emiși de excitoni  $N_{1s}$  per fonon este mai mic decât unitatea, în timp ce recombinarea radiativă impuritară este caracterizată printr-o cuplare puternică cu fononi la  $N_A > 1$ . În aproximarea interacțiunii Fröhlich,  $N_{1s}$  este determinată de ecuația:

$$N_{1s} = \frac{G}{\hbar \omega_{LO}} \frac{5 m_e + m_h}{8 m_e} \frac{\epsilon_0 - \epsilon_\infty}{\epsilon_\infty} F(\gamma) = 0.24 \left( 1 + \gamma - \frac{3.2}{(1 - \gamma^2)^2} \left( \gamma^4 + \gamma - \frac{4\gamma^2(\gamma - \gamma^2)}{(1 - \gamma^2)} \right) \right)$$

Coordonatorul subprogramului  
de cercetare

VATAVU Sergiu  
(numele, prenumele)

\_\_\_\_\_  
(semnătura)

Data: 30.01.2025

**Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în subprogram în anul 2024**  
**MATERIALE ȘI STRUCTURI ÎN BAZA ELEMENTELOR ABUNDENTE PENTRU**  
**DETECTAREA RADIAȚIILOR ȘI CONVERSIA EFICIENTĂ A ENERGIEI**  
(denumirea subprogramului)

Codul subprogramului **011207**

A fost elaborată instalația și optimizată tehnologia de preparare a nanostraturilor subțiri de oxizilor NiO:(Ga, V, La, In), VO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO și ZnO:(Al, Ga) prin metoda Metalorganic Aerosol Deposition (MAD) ce permite rate de creștere ale straturilor de 0,1-10 nm/s. Variațiile tehnologice permit dirijarea cu concentrațiile dopandului în soluțiile destinate aplicării, tipul dopantului, temperatura suportului și tipul suportului. Dimethylformamide, în calitate de principalul agent de transport a fost folosit datorită compatibilității depline a acestuia cu cerințele pentru MAD. SiO<sub>x</sub>/Si(111) și r-cut Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> au fost folosite în calitate de suporturi. Temperatura suportului a variat între 450-650°C.

Analiza de fază cantitativă și precizarea parametrilor rețelei cristaline a presupus utilizarea difracției de raze X în configurație Grazing Incidence și folosirea metodei Rietveld, considerându-se factorii ce aduc un aport în tabloul de difracție și funcția Pseudo-Voight. Pentru caracterizarea morfologiei suprafețelor oxizilor au fost folosite SEM și AFM. Analiza compozițională a fost realizată cu folosirea EDXS, XRF și XPS. Proprietățile electronice ale straturilor formate au fost caracterizate prin folosirea Kelvin Probe (KP) și Photoelectron Yield Spectroscopy (PYS).

Au fost preparate filme subțiri nanometrice de ZnSnN<sub>2</sub>, utilizând DC reactive magnetron Sputtering. A fost realizată o analiză detaliată a structurii, morfologiei și proprietăților electronice ale filmelor subțiri de ZnSnN<sub>2</sub> (cu grosimi de 15-44 nm) preparate în funcție de raportul [Zn]/([Zn]+[Sn]) în filme și condițiile de sinteză. În limita adâncimii de caracterizare a metodei PYS, modificarea tipului de conductibilitate din *p* în *n*-type este influențat de raportul [Zn]/([Zn]+[Sn]) și temperatura suportului. Straturi subțiri cu compoziția stoichiometrică 1:1:2 au fost preparate la T<sub>suport</sub> = 200°C și au conductibilitate de tip *p*-în timp ce filmele preparate la T<sub>suport</sub> > 300°C și supuse tratamentului termic la 350°C în Ar sunt de tip *n*. Filmele tratate post-depunere demonstrează proprietăți fizice aplicabile în dispozitive fotovoltaiice și fotodetectoare.

A fost elaborat un model teoretic al tranzițiilor fotoluminescente (FL) în regiunea impuritară și cea excitonică pentru filmele subțiri de CdTe. A fost efectuată o analiză teoretică a structurii fononice a benzilor de fotoluminescență excitonică și impuritară. Factorul Huang-Rhys (HR) pentru interacțiunea exciton-fonon în CdTe a fost calculat prin utilizarea datelor experimentale de FL. În aproximația a două benzi, replicile fononice ale excitonilor legați și liberi sunt caracterizate de elementul de matrice al interacțiunii Fröhlich  $M_{1S}(q) = \langle 1S(e^{iqr_h} - e^{iqr_e})1S \rangle$ . Factorul HR al interacțiunii excitonului cu fononii LO este:

$$N_{1S} = \sum_{q \leq q_c} \frac{2\pi e^2 \omega_{LO}^{-1}}{(q^2 + \lambda_D^{-2})} \frac{M_{1S}^2(q)}{\hbar \epsilon^* V}, M_{1S}(q) = \frac{2\pi}{\pi a_B^3} \int_0^\infty dr \cdot r^2 \int_{-1}^1 dx (e^{iqr a_h} - e^{-iqr a_e}) e^{-r \frac{2}{a_B}}$$

În aproximarea interacțiunii Fröhlich,  $N_{1S}$  este determinată de ecuația:

$$N_{1S} = \frac{G}{\hbar \omega_{LO}} \frac{5 m_e + m_h}{8 m_e} \frac{\epsilon_0 - \epsilon_\infty}{\epsilon_\infty} F(\gamma) = 0.24 \left( 1 + \gamma - \frac{3.2}{(1 - \gamma^2)^2} \left( \gamma^4 + \gamma - \frac{4\gamma^2(\gamma - \gamma^2)}{(1 - \gamma^2)} \right) \right)$$

Coordonatorul subprogramului  
de cercetare

VATAVU Sergiu  
(numele, prenumele)

\_\_\_\_\_  
(semnătura)

Data: 30.01.2025

**Summary of Activity and Results Obtained in Subprogram in 2024**  
**MATERIALS AND STRUCTURES BASED ON ABUNDANT ELEMENTS FOR**  
**RADIATION DETECTION AND EFFICIENT ENERGY CONVERSION**  
(Subprogram Name)

Subprogram Code **011207**

The experimental set-up and the technology for preparing thin nanolayers of NiO:(Ga, V, La, In), VO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO and ZnO:(Al, Ga) by the Metalorganic Aerosol Deposition (MAD) was developed and the method was optimized. Growth rates of 0.1-10 nm/s have been achieved. Technological variations allow to control the dopant concentrations in the solutions, the type of dopant, the substrate temperature and the type of support. Dimethylformamide, as the main transport agent, was used due to its full compatibility with the requirements for MAD. SiO<sub>x</sub>/Si(111) and r-cut Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were used as supports. The substrate temperature varied between 450-650°C.

The quantitative phase analysis and the crystal lattice parameters' value tuning involved the use of X-ray diffraction in Grazing Incidence configuration and the Rietveld method, considering the factors that contribute to the diffraction pattern and the Pseudo-Voight function. SEM and AFM were used to characterize the morphology of the oxide surfaces. The compositional analysis was performed using EDXS, XRF and XPS. The electronic properties of the layers were characterized using Kelvin Probe (KP) and Photoelectron Yield Spectroscopy (PYS).

Nanometer-sized thin films of ZnSnN<sub>2</sub> were prepared using DC reactive magnetron sputtering. A detailed analysis of the structure, morphology and electronic properties of ZnSnN<sub>2</sub> thin films (with thicknesses of 15-44 nm) prepared as a function of the [Zn]/([Zn]+[Sn]) ratio in the films and the synthesis conditions was performed. Within the characterization depth limit of the PYS method, the change in conductivity type from p to n-type is influenced by the [Zn]/([Zn]+[Sn]) ratio and the substrate temperature. Thin layers with the stoichiometric composition 1:1:2 were prepared at T<sub>substrate</sub>=200°C and have p-type conductivity, while films prepared at T<sub>substrate</sub> >300°C and subjected to heat treatment at 350°C in Ar are n-type. The post-deposition treated films demonstrate physical properties applicable in photovoltaic devices and photodetectors.

A theoretical model of photoluminescent (FL) transitions in the impurity and excitonic regions for CdTe thin films was developed. A theoretical analysis of the phonon structure of the excitonic and impurity photoluminescence bands was performed. The Huang-Rhys (HR) factor for the exciton-phonon interaction in CdTe was calculated using experimental FL data. In the two-band approximation, the phonon replicas of bound and free excitons are characterized by the matrix element of the Fröhlich interaction  $M_{1S}(q) = \langle 1S(e^{iqr_h} - e^{iqr_e})1S \rangle$ . The HR factor of the interaction of the exciton with LO phonons is determined as:

$$N_{1S} = \sum_{q \leq q_c} \frac{2\pi e^2 \omega_{LO}^{-1}}{(q^2 + \lambda_D^{-2})} \frac{M_{1S}^2(q)}{\hbar \epsilon^* V}, M_{1S}(q) = \frac{2\pi}{\pi a_B^3} \int_0^\infty dr \cdot r^2 \int_{-1}^1 dx (e^{iqr\alpha_h} - e^{-iqr\alpha_e}) e^{-r \frac{2}{a_B}}$$

In the Fröhlich interaction approximation,  $N_{1S}$  is determined by the equation:

$$N_{1S} = \frac{G}{\hbar \omega_{LO}} \frac{5 m_e + m_h}{8 m_e} \frac{\epsilon_0 - \epsilon_\infty}{\epsilon_\infty} F(\gamma) = 0.24 \left( 1 + \gamma - \frac{3.2}{(1 - \gamma^2)^2} \left( \gamma^4 + \gamma - \frac{4\gamma^2(\gamma - \gamma^2)}{(1 - \gamma^2)} \right) \right)$$

Research Subprogram

Coordinator

VATAVU Sergiu

(surname, first name)

\_\_\_\_\_

(signature)

Date: 30.01.2025

**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice  
publicate în anul 2024 în cadrul subprogramului de cercetare**

**MATERIALE ȘI STRUCTURI ÎN BAZA ELEMENTELOR ABUNDENTE PENTRU  
DETECTAREA RADIAȚIILOR ȘI CONVERSIA EFICIENTĂ A ENERGIEI**  
(denumirea subprogramului)

Codul subprogramului **011207**

**4. Articole în reviste științifice**

4.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS (cu indicarea factorului de impact IF)

- BRINZARI, V., KOROTCENKOV, G., SHAPOVAL, O. BORIS, I., VATAVU, S., NIKA, D.L. XRD Study of Structure Transformations in Zn-In-O Nanocomposite Thin Films Prepared by Spray Pyrolysis Method. In: *Physics of the Solid State*. 2024, vol. 66 (2), pp.31-37. ISSN 1063-7834.  
<https://doi.org/10.1134/S1063783424600596> (IF=0,9)
- NIKA, D.L., COCEMASOV, A.I., KLUYKANOV, A.A. Electron-phonon coupling from first principles. In: *Semiconductors*. 2024, vol. 58(12), pp.960-963. ISSN 1063-7826.  
<https://doi.org/10.1134/S1063782624602541> (IF=0,6)
- SIRKELI, V.P. YILMAZOGLU, O., HAJO, A.S., NEDEOGLO, N.D., NEDEOGLO, D.D., KÜPPERS, F., HARTNAGEL, H.L. High Performance ZnSe-Based Metal–Semiconductor–Metal Ultraviolet Photodetectors with Different Schottky Contacts. In: *Physics of the Solid State*. 2024, vol.66, pp.257-264. ISSN 1063-7834.  
<https://doi.org/10.1134/S1063783424601164> (IF=0,9)

**7. Teze ale conferințelor științifice**

7.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

- NAROLSCHI, I., GHILEȚCHII, G., ROTARU, C., SHAPOVAL, O., BELENCHUK, A., GURIEVA, G., UNOLD, T., SCHORR, S., VATAVU, S., RUSU, M. Structural and electronic properties of ZnSnN<sub>2</sub> thin films as function of composition and synthesis conditions. In: *European Materials Research Society (EMRS-2024) Spring Meeting Symposium O: Future photovoltaics based on earth abundant materials*, #02798, May 27-31, 2024, Strasbourg, France.  
<https://www.european-mrs.com/future-photovoltaics-based-earth-abundant-materials-emrs>
- VARZARI, A., CLIUCANOV, A.A., VATAVU, S. Radiative annihilation of the excitons in CdTe and the Mott transition. In: *European Materials Research Society (EMRS-2024) Spring Meeting Symposium O: Future photovoltaics based on earth abundant materials*, #19\_2693, May 27-31, 2024, Strasbourg, France.  
<https://www.european-mrs.com/future-photovoltaics-based-earth-abundant-materials-emrs>
- VARZARI, A., CLIUCANOV, A.A., VATAVU, S. Bose-Einstein condensate of excitons and coupled phonon-roton modes. In: *European Materials Research Society (EMRS-2024) Spring Meeting Symposium Q: Polaritonics for next generation materials*, #32\_2697, May 27-31, 2024, Strasbourg, France.  
<https://www.european-mrs.com/polaritonics-next-generation-materials-emrs>
- SPOIALA, D., GHILEȚCHII, G., VATAVU, E., DMITROGLO, L., RUSU, M., VATAVU, S. Structural and electronic properties of Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub> thin films for use in electromagnetic radiation

detection devices. In: *European Materials Research Society (EMRS-2024) Spring Meeting Symposium I: Nano-engineered coatings and thin films: from fundamentals to applications*, #63\_02999, May 27-31, 2024, Strasbourg, France.

<https://www.european-mrs.com/nano-engineered-coatings-and-thin-films-fundamentals-applications-emrs>

7.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale din Republica Moldova

- VARZARI, A., CLIUCANOV, A. A., VATAVU, S. Mott transition of excitons to electron-hole plasma state in CdTe. In: *10<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS SCIENCE AND CONDENSED MATTER PHYSICS*, 1-4 October 2024. Chișinău, Moldova, 2024, Book of abstracts, p.51. Chișinău, 2024 (CEP USM) – 220 p. ISBN 978-9975-62-763-4. [https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024\\_Book\\_Abstracts.pdf](https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf)
- CLIUCANOV, A. A., VARZARI, A., VATAVU, S. Phonon structure of defect band and exciton photoluminescence spectra in CdTe and the Huang-Rhys factor. In: *10<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS SCIENCE AND CONDENSED MATTER PHYSICS*, 1-4 October 2024. Chișinău, Moldova, 2024, Book of abstracts, p.65. Chișinău, 2024 (CEP USM) – 220 p. ISBN 978-9975-62-763-4. [https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024\\_Book\\_Abstracts.pdf](https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf)
- GHILEȚCHII, Gh., NAROLSCHI, Ig., UNOLD, T., SCHORR, S., RUSU, M., VATAVU, S. Development and tuning of chemical composition, crystal structure and electronic properties of ZnSnN<sub>2</sub> thin films. In: *10<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS SCIENCE AND CONDENSED MATTER PHYSICS*, 1-4 October 2024. Chișinău, Moldova, 2024, Book of abstracts, p.161. Chișinău, 2024 (CEP USM) – 220 p. ISBN 978-9975-62-763-4. [https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024\\_Book\\_Abstracts.pdf](https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf)
- CHIRITA, A., HUSTUC, A., NASEDCHINA, N., VATAVU, S. Polymer/chalcogenide semiconductor structure for X-ray imaging. In: *10<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS SCIENCE AND CONDENSED MATTER PHYSICS*, 1-4 October 2024. Chișinău, Moldova, 2024, Book of abstracts, p.165. Chișinău, 2024 (CEP USM) – 220 p. ISBN 978-9975-62-763-4. [https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024\\_Book\\_Abstracts.pdf](https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf)
- CHETRUS, P.M., GORCEAC, L., CHETRUS, P.I., GAUGAȘ, P., VATAVU S. Photodetection devices based on indium phosphide heterojunction. In: *10<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS SCIENCE AND CONDENSED MATTER PHYSICS*, 1-4 October 2024. Chișinău, Moldova, 2024, Book of abstracts, p.166. Chișinău, 2024 (CEP USM) – 220 p. ISBN 978-9975-62-763-4. [https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024\\_Book\\_Abstracts.pdf](https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf)
- SPOIALĂ, D., VATAVU, E., DMITROGLO, L., GHILEȚCHII, Gh., RUSU, M., VATAVU, S. Technology tuning and electronic properties of gallium sulphide thin films for photodetectors. In: *10<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS SCIENCE AND CONDENSED MATTER PHYSICS*, 1-4 October 2024. Chișinău, Moldova, 2024, Book of abstracts, p.167. Chișinău, 2024 (CEP USM) – 220 p. ISBN 978-9975-62-763-4. [https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024\\_Book\\_Abstracts.pdf](https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf)
- SUSHKEVICH, K.; SIMINEL, N., NEDEOGLO, N.; SIMINEL, A., IURIEVA, T., NEDEOGLO, D. Edge photoluminescence of CdSe single crystals in the temperature range between 15 and 200 K. In: *10<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS SCIENCE AND CONDENSED MATTER PHYSICS*, 1-4 October 2024. Chișinău, Moldova, 2024, Book of abstracts, p.80. Chișinău, 2024 (CEP USM) – 220 p. ISBN 978-9975-62-763-4. [https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024\\_Book\\_Abstracts.pdf](https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf)

- SIRKELI, V., YILMAZOGLU, O., HAJO, A., NEDEOGLO, N., NEDEOGLO, D., PREU, S., KÜPPERS, F., HARTNAGEL, H.L. High performance ZnSe-based ultraviolet photodetectors with Cr/Au, Ni/Au and hybrid Ag-nanowire contacts. In: *Conferința "NANO-2024: "Quo Vadis– Ethics of the Scientific Research"*", Chișinău, Moldova, 15-18 aprilie 2024, Book of Abstracts, p.31.  
[https://ibn.idsi.md/collection\\_view/2928](https://ibn.idsi.md/collection_view/2928)

## 9. Brevete de invenții și alte obiecte de proprietate intelectuală

9.2. eliberate de Agenția de Stat pentru Proprietatea Intelectuală

- BOTNARIUC Vasile; GORCEAC Leonid; RAEVSCHI Simion; ROTARU Corneliu; VATAVU Sergiu, Procedeu de obținere a straturilor epitaxiale subțiri de TiO<sub>2</sub>; MD 1740 Z 2024.08.31. Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2024.01.31, BOPI nr. 1/2024.

Coordonatorul subprogramului  
de cercetare

VATAVU Sergiu  
(numele, prenumele)

\_\_\_\_\_  
(semnătura)

Data: 30.01.2025

**Componenta echipei de cercetare**

**MATERIALE ȘI STRUCTURI ÎN BAZA ELEMENTELOR ABUNDENTE PENTRU  
DETECTAREA RADIAȚIILOR ȘI CONVERSIA EFICIENTĂ A ENERGIEI  
(denumirea subprogramului)**

Codul subprogramului **011207**

| <b>Echipa subprogramului pentru 2024</b> |                      |                      |                          |                                   |                       |                       |                         |
|------------------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>Nr</b>                                | <b>Nume, prenume</b> | <b>Anul nașterii</b> | <b>Titlul științific</b> | <b>Funcția</b>                    | <b>Norma de muncă</b> | <b>Data angajării</b> | <b>Data eliberării*</b> |
| 1.                                       | BELENCIUC Alexandr   | 1960                 | Dr.                      | cercetător științific coordonator | 0.50                  | 02.01.2024            |                         |
| 2.                                       | BERCU Elena          | 1975                 |                          | cercetător științific             | 0.50                  | 02.01.2024            |                         |
| 3.                                       | CHETRUS Petru Ion    | 1944                 | Dr.                      | cercetator științific superior    | 0.25                  | 02.01.2024            |                         |
| 4.                                       | CHETRUS Petru Mihai  | 1944                 | Dr.                      | cercetator științific superior    | 0.25                  | 02.01.2024            |                         |
| 5.                                       | CHIRIȚA Arcadi       | 1964                 | Dr.                      | șef de laborator                  | 1.0                   | 02.01.2024            |                         |
| 6.                                       | CLIUCANOV Alexandr   | 1944                 | Dr. hab.                 | cercetator științific principal   | 0.25                  | 02.01.2024            |                         |
| 7.                                       | DMITROGLO Liliana    | 1978                 | Dr.                      | cercetător științific coordonator | 0.25                  | 02.01.2024            |                         |
| 8.                                       | DUTOV Alexandr       | 1979                 |                          | cercetător științific             | 0.50                  | 15.10.2024            |                         |
| 9.                                       | GAUGAȘ Petru         | 1945                 | Dr. hab.                 | cercetator științific superior    | 0.25                  | 02.01.2024            |                         |
| 10.                                      | GHILEȚCHII Gheorghe  | 1998                 |                          | cercetător științific             | 0.50                  | 02.01.2024            |                         |
| 11.                                      | GOGLIDZE Tatiana     | 1947                 |                          | cercetător științific             | 0.25                  | 02.01.2024            |                         |
| 12.                                      | GORCEAC Leonid       | 1942                 | Dr.                      | cercetător științific coordonator | 0.25                  | 02.01.2024            |                         |
| 13.                                      | GRAMOVICI Vasile     | 2002                 |                          | inginer                           | 0.25                  | 16.09.2024            |                         |
| 14.                                      | GURĂU Virginia       | 1965                 | Dr.                      | cercetator științific superior    | 0.50                  | 02.01.2024            |                         |
| 15.                                      | IURIEVA Tatiana      | 1966                 |                          | cercetător științific             | 0.50                  | 02.01.2024            |                         |
| 16.                                      | LECA LUDMILA         | 1998                 |                          | cercetator științific stagiar     | 0.50                  | 02.01.2024            |                         |
| 17.                                      | MAISTRUC Irina       | 1996                 |                          | cercetator științific stagiar     | 1.0                   | 02.01.2024            |                         |
| 18.                                      | Matei Leonid         | 1957                 |                          | laborant superior                 | 1.0                   | 02.01.2024            |                         |
| 19.                                      | MOȘNEAGA Alisa       | 1989                 | Dr.                      | cercetator științific superior    | 0.50                  | 01.04.2024            |                         |
| 20.                                      | NAROLSCHI Igor       | 1969                 |                          | cercetător științific             | 0.50                  | 02.01.2024            |                         |
| 21.                                      | NASEDCHINA Nadejda   | 1947                 |                          | cercetător științific             | 0.25                  | 02.01.2024            |                         |

|    |                          |      |          |                                      |      |            |  |
|----|--------------------------|------|----------|--------------------------------------|------|------------|--|
| 22 | NEDEOGLO<br>Dumitru      | 1942 | Dr. hab. | cercetator științific<br>principal   | 0.25 | 02.01.2024 |  |
| 23 | NEDEOGLO<br>Natalia      | 1974 | Dr.      | cercetător științific<br>coordonator | 0.50 | 02.01.2024 |  |
| 24 | NICORICI<br>Valentina    | 1952 | Dr.      | cercetator științific<br>superior    | 0.25 | 02.01.2024 |  |
| 25 | OLIFEROV<br>Alexandr     | 1976 |          | laborant superior                    | 0.50 | 02.01.2024 |  |
| 26 | OPREA Viorel-<br>Daniel  | 1975 |          | inginer                              | 0.50 | 16.09.2024 |  |
| 27 | PALAMARCIUC<br>Oleg      | 1985 | Dr.      | cercetător științific<br>coordonator | 1.0  | 02.01.2024 |  |
| 28 | POSTOLACHE<br>Silvia     | 1958 |          | inginer superior                     | 0.50 | 02.01.2024 |  |
| 29 | ROSTOVȚEV<br>Oxana       | 2003 |          | tehnician                            | 0.50 | 02.01.2024 |  |
| 30 | ȘAPOVAL Oleg             | 1963 | Dr.      | cercetător științific<br>coordonator | 1.0  | 02.01.2024 |  |
| 31 | SPINEI Eugeniu           | 1997 |          | cercetator științific<br>stagiar     | 0.50 | 02.01.2024 |  |
| 32 | SPOIALĂ Dorin            | 1968 |          | cercetător științific                | 1.0  | 02.01.2024 |  |
| 33 | SUȘCHEVICI<br>Constantin | 1943 | Dr.      | cercetător științific<br>coordonator | 0.25 | 02.01.2024 |  |
| 34 | VARZARI<br>Alexandru     | 1999 |          | cercetător științific                | 0.50 | 02.01.2024 |  |
| 35 | VASILIEV<br>Alexei       | 2004 |          | tehnician                            | 0.50 | 02.01.2024 |  |
| 36 | VATAVU Sergiu            | 1977 | Dr.      | cercetător științific<br>coordonator | 0.50 | 02.01.2024 |  |
| 37 | VATAVU Elmira            | 1978 | Dr.      | cercetător științific<br>coordonator | 0.50 | 02.01.2024 |  |

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor | 27% |
|----------------------------------------------------------|-----|

Directorul unității de cercetare

ȘIKIMAKA Olga  
(numele, prenumele)

\_\_\_\_\_  
(semnătura)

Coordonatorul subprogramului  
de cercetare

VATAVU Sergiu  
(numele, prenumele)

\_\_\_\_\_  
(semnătura)

Data: 30.01.2025