

**RECEȚIONAT**

Agenția Națională pentru Cercetare

și Dezvoltare \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2024

**AVIZAT**

Secția AȘM \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2024

## **RAPORT ȘTIINȚIFIC ANUAL**

### **pentru etapa 2023**

**privind implementarea proiectului din cadrul**

**Programului de Stat (2020–2023)**

Proiectul MATERIALE ȘI STRUCTURI MULTIFUNCȚIONALE PENTRU DETECTAREA  
RADIĂȚILOR ELECTROMAGNETICE

Cifra proiectului 20.80009.5007.12

Prioritatea Strategică V: Competitivitate economică și tehnologii inovative

Rectorul USM

\_\_\_\_\_  
ȘAROV Igor

Consiliul științific

\_\_\_\_\_  
STEPANOV Georgeta

Conducătorul proiectului

\_\_\_\_\_  
VATAVU Sergiu



L.Ș.

## 1. Scopul etapei 2023 conform proiectului depus la concurs

Prepararea structurilor pilot în baza compușilor II-VI, III-V, III-VI și II-IV-N<sub>2</sub> sensibile la radiații X, UV, VIS, IR, și elaborarea design-ului optim al structurii AlGa<sub>x</sub>N/GaN pentru radiații THz.

## 2. Obiectivele etapei 2023

A. Cercetarea proceselor de înregistrare a imaginilor fazice în domeniile VIS și X. Testarea multilaterală a detectoarelor de radiații în domeniile X, UV, VIS și IR. Studiarea proceselor de interacțiune a impurităților d-elementelor cu defectele native a cristalelor CdSe și impuritățile de fon.

B. Prepararea heterojoncțiunilor detectoare GaN/ZnO/Si, GaN/strat intermediar/Si(GaAs), CdS/Cd(Se)Te/CdTe a structurilor nanocompozite Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/GaSe:(Bi, Zn).

C. Simularea proceselor fizice în structurile 1D AlGa<sub>x</sub>N/GaN cu 2,3,4 gropi cuantice. Modelarea numerică a geometriei contactelor pentru detectoare în dependență de lungimea de undă.

## 3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei 2023

1. Va fi elaborat dispozitivul și obținut purtătorul de informație în baza sistemului semiconductor fotosensibil – polimeri și oligomeri pentru înregistrarea imaginilor fazice în domeniile de raze X și VIS. Vor fi propuse spre implementare metode și instalații pentru înregistrarea informațiilor în domeniile de raze X și VIS. Vor fi elaborate detectoare-pilot de raze X în baza CdTe, CdZnTe, și testată funcționalitatea structurii detectorului matricial în baza acestor materiale cu dimensiunea (1x1 cm<sup>2</sup>). Va fi cercetată interacțiunea ionilor de elemente de tip *d* cu defectele native și impuritățile de fon asupra proprietăților radiative și optice a cristalelor de CdSe în vederea perspectivei utilizării în detectoare QD de radiații ionizante. Va fi elaborat un model fizic a proceselor de interacțiune a ionilor de elemente de tip *d* cu impuritățile de fon și defectele structurale.

2. Va fi elaborat sistemul optim de contactare a detectorilor UV în baza GaN/ZnO (strat intermediar)/Si cu utilizarea Ni, Ti. Vor fi preparați receptorii UV cu straturi micrometrice de oxid de Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Va fi stabilită grosimea stratului din nanoformațiuni de β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> la care nivelul de fond a semnalului la iluminare cu radiație solară să fie mai mic de 1% față de maximul de fotosensibilitate în regiunea  $\lambda < 320$  nm. Va fi demonstrată posibilitatea utilizării nanocompozitelor Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/GaSe, Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-oxid propriu în prezența gazelor CO, CO<sub>2</sub> a vaporilor de combustibil lichid și de apă.

3. Vor fi preparate heterojoncțiuni cu straturi subțiri multifuncționale în baza ZnSiN<sub>2</sub> și Si/InP cu fotosensibilitatea absolută de 500 μA/mW.

4. Vor fi stabilite profilurile de dopare a regiunii active ale structurilor THz polare *m*-plane AlGa<sub>x</sub>N/GaN cu diapazon de lucru 230-300K.

## 4. Acțiunile realizate

A fost elaborat și confecționat dispozitivul și purtătorul de informație în baza sistemului semiconductor fotosensibil – polimeri și oligomeri pentru înregistrarea imaginilor fazice în domeniile de raze X și VIS. Au fost preparate și studiate structuri multistrat polimer/As-Se-S dopate cu Bi în intervalul 0,5-1,5%at

(polyepoxypropylcarbazole/67at%(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>0,985</sub>(Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>)<sub>0,015</sub>:33at.% As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>). Au fost realizată înregistrarea informațiilor în domeniile de raze X și VIS.

Au fost cercetate proprietățile fizice ale cristalelor semiconductoare pentru detectori s CdTe, CdSe, Cd<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Te (x variază între 0,50 și 0,95 cu pasul 0,05), Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te<sub>0,98</sub>Se<sub>0,02</sub>, Cd<sub>0,95</sub>Zn<sub>0,05</sub>Te<sub>0,98</sub>Se<sub>0,02</sub>, Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te<sub>0,95</sub>Se<sub>0,05</sub>, Cd<sub>0,95</sub>Zn<sub>0,05</sub>Te<sub>0,95</sub>Se<sub>0,05</sub> atât as-grown cât și preparate pentru utilizare în detectoare. Au fost propuse modele teoretice de explicare a particularităților diagramei energetice ale cristalelor reieșind din cercetarea experimentală și teoretică a spectrelor de fotoluminescență.

A fost determinat mecanismul de incorporare a ionilor de elemente de tip d în dependență de metoda și condițiile de dopare a cristalelor și nanopulberilor de CdSe. A fost cercetată influența interacțiunii ionilor elementelor de tip d cu defectele native și impuritățile de fon asupra proprietăților radiative și optice ale cristalelor și nanopulberilor de CdSe. Au fost studiate spectrele de FL și optice ale cristalelor și nanopulberilor de CdSe cu diferit conținut de impurități și diferită concentrație a ionilor elementelor dopante de tip d. A fost elaborat un model fizic al proceselor de interacțiune a ionilor elementelor de tip d cu impuritățile de fon și defectele structurale.

Au fost preparate contacte electrice cu rezistență electrică joasă pe structurile GaN/.../Si obținute anterior cu aplicarea unor metale standard (In... Ti) și cercetate proprietățile fizice ale lor.

Au fost preparați detectori UV, solar-blind având și sensibilitate în raze X, cu structura Me(Au-Ti)/β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

A fost elaborată tehnologia de preparare a straturilor ZnSiN<sub>2</sub> cercetate proprietățile structural morfologice.

Au fost elaborate/preparate structuri fotodectoare ITO-TiO<sub>2</sub>-i-pInP (100, 111) aplicand tehnologiile HVPE si MOCVD.

Au fost studiate proprietățile electronice ale straturilor de ZnSnN<sub>2</sub> în funcție de temperatura suportului și de temperatura de tratare termică în vid și în atmosferă de Ar. Au fost studiate proprietățile straturilor as-deposited pentru Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub> și GaSe pe diferite suporturi.

Au fost obținute profilurile de dopare ale regiunii active ale structurilor THz nepolare m-plane AlGaN/GaN cu 2 și 3 bariere cuantice și cu diapazon de lucru 230-300K.

## 5. Rezultatele obținute

- Au fost preparate și studiate structuri multistrat polimer/As-Se-S dopate cu Bi în intervalul 0,5-1,5%at. Structura multistrat în baza As-S dopată cu Bi, prezintă cele mai bune rezultate ce țin de înregistrarea imaginilor în raze X având compoziția polyepoxypropylcarbazole/67at%(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>0,985</sub>(Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>)<sub>0,015</sub>:33at.% As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>. Grosimea stratului semiconductor a fost de 4,2 pm, iar stratul termoplastic pe bază de poliepoxiopropilcarbazole a fost de 0,6 um. Pentru iradierea probelor a fost folosită instalație de raze X pe bază de tub cu anod de W ( 50 kV, 50 mA). Pentru înregistrarea în regiunea vizibilă a spectrului a fost utilizată radiația laser 447 nm. Microfirele cu diametru de 30 μm și 6 μm au fost folosite ca măști pentru înregistrarea imaginilor cu raze X. Microfirul a fost plasat pe suprafața stratului termoplastic și

iradiat cu raze X sau radiații vizibile. Pentru vizualizarea imaginilor înregistrate în raze X, a fost elaborată și asamblată o instalație experimentală bazată pe microcontrolere programabile pentru temperatură și timp, încărcător de înaltă tensiune și o celulă pentru purtătorii sistemului polimer/As-Se-S dopați cu Sn, Te și Bi. După iradierea cu raze X, purtătorul este îndepărtat din camera de raze X și încălzit în întuneric până la starea plastică a polimerului termoplastic. Suprafața stratului termoplastic este încărcată cu dispozitiv de înaltă tensiune (7,5 – 8 kV) timp de 2,5 – 3,8 s. Ca rezultat, se formează o imagine fază-relief a obiectului înregistrat. Imaginile cu raze X ale micro-obiectelor sunt examinate folosind un microscop optic la o mărire de 1200<sup>x</sup>. Imagini de contrast ale unui microfir de W cu diametru de 30 μm au fost obținute la doză absorbită de 1,82 Gy. Vizualizarea a fost efectuată la temperatură de 78°C, tensiune înaltă de 7,7 kV și timpul de încărcare de t=2,4 s. Imagini cu raze X ale microfir de cupru cu un diametru de 6 μm au fost obținute la doză absorbită de 1,78 Gy. Aceleași imagini cu contrast bun au fost obținute pentru radiația laser λ=447 nm la expunere de 230 mJ/cm<sup>2</sup>.

- Monocristale sintetizate de CdTe, Cd<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Te (x variază între 0,50 și 0,95 cu pasul 0,05), Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te<sub>0,98</sub>Se<sub>0,02</sub>, Cd<sub>0,95</sub>Zn<sub>0,05</sub>Te<sub>0,98</sub>Se<sub>0,02</sub>, Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te<sub>0,95</sub>Se<sub>0,05</sub>, Cd<sub>0,95</sub>Zn<sub>0,05</sub>Te<sub>0,95</sub>Se<sub>0,05</sub>, monocristalele preparate pentru fabricarea detectorilor precum și pelicule subțiri preparate în baza materialelor A2B6 (precum CdTe) au fost studiate într-un interval de temperaturi 15-90K în vederea stabilirii diagramei energetice a nivelelor impuritate. Puterea radiației incidente a variat cu minim 2 ordine de mărime (de ex. 0,01-30 mW). Spectrul de fotoluminescență al CdTe constă din tranziții radiative impuritate cu un număr mare de replici fononice, și tranziții excitonice (excitoni liberi și legați). Reieșind din necesitatea elucidării fizicii proceselor radiative s-a recurs la propunerea unui model teoretic, ce ar permite explicarea atât teoretică cât și experimentală a spectrelor de fotoluminescență măsurate experimental și simularea spectrelor de fotoluminescență teoretice cu efectuarea analizei comparative. În cazul fotoluminescenței straturilor subțiri de CdTe la temperaturi joase (5-15K), pentru un interval larg a puterii de excitare a fotoluminescenței, se observă o modificare a structurii echidistante multifononice caracteristice pentru banda impuritară (1,4 eV) odată cu creșterea nivelului de excitare a plasmei electronice. Astfel se propune un model teoretic a luminescenței impuritate în semiconductori AIBVI în cadrul metodei funcției lui Green, a teoremei fluctuație-disipație și ținând cont de interacțiunea purtătorilor de neechilibru cu perechile fonon-plasmon legate. Form-funcția  $F_{lm}(\omega, \omega_p)$  a luminescenței impuritate în CdTe are forma:

$$F_{lm}(\omega, \omega_p) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z_1 \omega_{nm})^n}{n!} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(z_2 \omega_{nm})^m}{m!} \sum_{l=0}^{\infty} \frac{(z_3 \omega_{nm})^l}{l!} \left( 1 + \exp\left(\frac{\hbar\omega_{LO}}{k_B T_e}(\omega_{nm} - \mu)\right) \right)^{-1} (\omega_{nm})^{1/2} (1 + v\omega_{nm})^{-4} \Theta(\omega_{nm})$$

La niveluri joase de excitare, intervalul de energie dintre replici este de 21 meV determinat de fononi LO. Odată cu creșterea puterii de excitare, crește concentrația purtătorilor de neechilibru și frecvența plasmei. Deci, în timpul interacțiunii purtătorilor cu perechile fonon-plasmon legate, distanța dintre replici scade pe măsură ce nivelul de excitație crește. Fiecare replica se datorează emisiei de fotoni, emisiei de fononi LO și absorbției aceluiași număr de plasmoni cuplați cu fononi. Fononii și plasmonii participă în perechi, ceea ce înseamnă că procesele de emisie și absorbție nu sunt independente. Perechile sunt emise simultan, dar nu secvențial. Un astfel de mecanism este de mare probabilitate și se caracterizează printr-o constantă mare de cuplare.



Cuplarea modului este semnificativă la niveluri ridicate de excitare, când frecvența plasmonului se apropie de frecvența fononului.

- Sunt stabiliți parametri tehnologici optimi de obținere a pulberilor de CdSe de dispersie fină prin metoda solvotermală și doparea lor în procesul de sinteză cu metale de tranziție (Cu, Co, Ni) și elementul de pământuri rare (Er). Dimensiunea medie a nanocristalelor în conținutul pulberilor de modificare structurală atât hexagonală, cât și cubică, varia în limitele de la 4,4 nm până la 13 nm.

La 293K sunt cercetate spectrele de fotoluminescență (FL) a seriilor de pulberi ultrafine de CdSe, CdSe:Cu, CdSe:Co, CdSe:Ni și CdSe:Er cu diversă concentrație a impurităților dopante. Pentru toate probele cercetate spectrele de FL sunt cu structură de același tip și prezintă benzi ce cuprind regiunea 500-725 nm. Maximele benzilor clar conturate lipsesc. Este stabilit că caracterul distribuției spectrale a intensității FL pentru pulberile dopate cu Er și Cu, practic coincide cu distribuția spectrală a FL pentru pulberile nedopate.

Prin metoda depunerii hidrochimice în comun cu metoda solvotermală sunt obținute structuri semiconductoare de tipul nucleu-înveliș. În calitate de material al nucleului servește nanocristalul de CdSe sintetizat prin metoda solvotermală. Materialul învelișului a fost sintetizat prin metoda depunerii hidrochimice, ceea ce a asigurat acoperirea uniformă a nucleului cu un strat de substanță a învelișului. În calitate de înveliș au fost utilizați compuși de ZnO sau CdS, cu o lățime mai mare a benzii întezise comparativ cu materialul nucleului

Au fost optimizate regimurile tehnologice de obținere a monocristalelor de CdSe prin metodele Bridgman și transfer fizic al vaporilor cu doparea lor ulterioară cu impurități de V, Cr, Fe, Cl prin tratarea termică în topitură de Cd cu adaos de impuritate dopantă sunt obținute serii de probe cu diversă concentrație a impurităților dopante.

O serie de nanopulberi de CdSe:Cr este obținută prin metoda sintezei solvotermale. Este demonstrat că, în intervalul lungimilor de undă de la 500 nm până la 750 nm spectrul de FL a pulberilor obținute prezintă o singură bandă largă cu maxim la 620 nm și semilățimea 135 nm. Intensitatea acestei benzi, semilățimea ei și poziția spectrală nu depind de concentrația impurității dopante.

În intervalul de temperaturi de la 15K până la 300K este studiată evoluția spectrelor de FL în funcție de temperatură în diapazonul lungimilor de undă de la 650 nm până la 780 nm, atât a probelor de CdSe dopate, cât și celor nedopate. S-a stabilit că la 15K spectrul de FL al CdSe nedopat constă dintr-o serie de benzi de FL excitonică (680-704 nm) și impuritară D-A (719-760 nm). Banda îngustă de FL a excitonilor liberi cu energia de legătură  $\sim 39$  meV este localizată la 681,4 nm. Se observă deasemenea benzi de FL ale complexelor exciton-impuritate (CEI) de tip donor (685,5 nm) și acceptor (692,5 nm). Este prezentă o bandă largă de FL D-A cu maxim la 719 nm și replici fononice a acestei, localizate la 729,5 nm și 741 nm. Odată cu mărirea temperaturii se observă stingerea termică a intensității benzilor atât a FL excitonice, cât și FL impuritare.

S-a stabilit că tratarea termică a monocristalelor de CdSe în topitură de Cd+0,15%CrCl<sub>3</sub> rezultă în stingerea totală a intensității benzilor FL D-A impuritare (720-800 nm) în tot intervalul de temperaturi cercetat, pe fonul micșorării bruște a intensității benzilor de FL excitonică.

- A fost măsurate și analizate proprietățile electronice ale straturilor subțiri de Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/Si prin intermediul Kelvin Probe (KP) și Photoelectron Yield Spectroscopy (PYS) în funcție de

temperatura suportului (500-700°C). A fost stabilit după semnalul SPV că probele preparate sunt de tip *n*, tipul de conductibilitate nefiind influențat de temperatura suportului. Energia de ionizare fiind în limitele 5,7-5,8 eV nu este influențată de temperatura suportului, pe când lucrul de ieșire la iluminare (3,06 eV) - are valoare maximă la 650°C - 4,7 eV. Evoluția poziției  $E_{V_{bm}} - E_F$  (= -1,27 eV) are un maxim la aceeași temperatură. Analiza morfologică (AFM) prezintă particularități de creștere specifice cu rms maxim de până la 600 nm și o dependență esențială a morfologiei de temperatura suportului.

- Straturi subțiri ale  $ZnSnN_2$  au fost preparate prin metoda DC reactive magnetron sputtering în atmosferă de  $N_2$  (99,9995%). În calitate de suport s-au utilizat sticla. Temperatura suportului a variat între 30°C și 350°C. Țintele reprezintă un aliaj compus din Zn și Sn cu următoarele concentrații atomare:  $Zn_{0,30}Sn_{0,70}$ ;  $Zn_{0,45}Sn_{0,55}$ ;  $Zn_{0,50}Sn_{0,50}$ ;  $Zn_{0,55}Sn_{0,45}$ ;  $Zn_{0,70}Sn_{0,30}$ ;  $Zn_{0,85}Sn_{0,15}$ . Pentru studiul proprietăților structurale a filmelor s-a utilizat difractometrul de raze X cu anod de Cu ( $\lambda_{K\alpha 1}=1,54060\text{Å}$ ,  $\lambda_{K\alpha 2}=1,54439\text{Å}$ ) în configurația GI-XRD sub unghiul de incidență  $\omega=0,5^\circ$  și XRR. Analiza tablourilor de difracție a fost realizată prin metoda Rietveld. Pentru a stabili structura cristalină a filmelor au fost simulate tablourile de difracție care corespund rețelei cristaline de tip wurtzite ( $P6_3mc$ ) cu parametrii  $a=b=3,400\text{ Å}$ ;  $c=5,500\text{ Å}$ ;  $\alpha=\beta=90^\circ$ ;  $\gamma=120^\circ$  și ortorombică ( $Pna2_1$ ) cu parametrii  $a=5,900\text{ Å}$ ;  $b=6,800\text{ Å}$ ,  $c=5,540\text{ Å}$ ;  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ , după care au fost comparate cu tablourile de difracție experimentale prin metoda Rietveld. Astfel, analiza structurală a filmelor a demonstrat formarea straturilor subțiri policristaline de  $ZnSnN_2$  cu structura cristalină hexagonală ( $P6_3mc$ ) cu parametrii rețelei cristaline  $a=b=3,392\text{ Å}$ ;  $c=5,489\text{ Å}$ ;  $\alpha=\beta=90^\circ$ ;  $\gamma=120^\circ$  care depind de temperatura suportului și de stoichiometria ținte pentru toate țintele utilizate. A fost realizat ciclul tehnologic de tratament termic la 350°C in-situ în vid și în atmosferă de Ar. Proprietățile electronice (cercetate prin KP și PYS) se modifică după tratamentul termic, astfel un semnal SPV extram de slab se observă, iar energia de ionizare își ia valoarea maximă de 5,7 eV în cazul folosirii ținte de  $Zn_{0,50}Sn_{0,50}$  ce corespunde compoziției  $[Zn]/([Zn]+[Sn])=0,6$  (Temperatura suportului 150°C). Energia de ionizare se mărește odată cu mărirea temperaturii suportului.

Au fost elaborate tehnologiile de preparare a straturilor nano/micrometrice *n*, pInP, nCdS, nZnO, ITO, și a heterojoncțiunilor în baza lor, pentru fotodetectori, aplicând metodele HVPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy), CSS, pirolizei din spray, tehnica depunerii din aerosoli metalografici. Fotodetectorii în baza heterojoncțiunilor nCdS-pInP pe substraturi cu  $\rho=3\text{-}4,9\cdot 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ , sensibilitatea este maximă pentru structurile preparate pe substraturi cu direcția cristalografică (111)A, având valoarea de 0,41 A/W, micșorându-se până la cca 0,19 A/W pentru substraturile cu  $\rho = 3,38\cdot 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ , direcția cristalografică (111)A. Heterojoncțiunile tip ZnO-InP, ITO-TiO<sub>2</sub>-InP permit extinderea fotosensibilității absolute în intervalul lungimilor de undă de 400-950nm.

- Structuri de tipul non-polar *m*-plane  $Al_xGa_{1-x}N/GaN$  RTD având o groapă de potențial și bariere cuantice duble au fost studiate numeric. Conținutul de Al (*x*) în barierele  $Al_xGa_{1-x}N$  este  $x=0,40$ , ce corespunde înălțimii barierei de 0,524 eV. Structura pe straturi pentru o astfel de structură cuantică este următoarea (începând cu emiterul): 100 nm GaN (emitter)/10 nm UID GaN (spacer)/ 2nm  $Al_xGa_{1-x}N$  (QB)/3nm GaN (QW)/2nm  $Al_xGa_{1-x}N$  (QB)/ 10 nm UID GaN (spacer)/100 nm GaN (collector). În absența tensiunii aplicate (0 V) structurile non-polar *m*-plane RTD au diagrama de benzii de conducție simetrică datorită lipsei câmpurilor piezoelectrice interne, în comparație cu diagrama benzii de conducție asimetrică în cazul structurii polar *c*-

plane. Nivelul de dopare a colectorului și emitorului au variat de la  $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  la  $1 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ . A fost stabilit că mărirea nivelului de dopare a contactelor colectorului și emitorului la  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  reduce înălțimea barierei și mărește densitatea curentului, valoarea maximă fiind de  $1,7 \text{ A/cm}^2$ . Primul maxim în transmisie corespunde tensiunii aplicate de  $0,74 \text{ V}$ .

Structuri RTD non-polar m-plane  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  cu două gropi de potențial și bariere cuantice triple au fost studiate numeric la  $300 \text{ K}$ . Conținutul de Al (x) în barierele cuantice  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  este fixat la  $x=0,15$ , ce corespunde înălțimii barierei de  $0,321 \text{ eV}$ . Structura pe straturi (stack) pentru o astfel de structură cuantică este următoarea:  $100 \text{ nm GaN}$  (emitter)/ $10 \text{ nm UID GaN}$  (spacer)/  $2 \text{ nm Al}_{0,25}\text{Ga}_{0,75}\text{N}$  (QB)/ $3 \text{ nm GaN}$  (QW)/ $2 \text{ nm Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N}$  (QB)/  $3 \text{ nm GaN}$  (QW)/ $2 \text{ nm Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N}$  (QB)/  $10 \text{ nm UID GaN}$  (spacer)/ $100 \text{ nm GaN}$  (collector). Un maxim rezonant la  $0,88 \text{ V}$  este prezent în caracteristica curent-tensiune pentru structuri RTD non-polar m-plane  $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,75}\text{N}/\text{GaN}$  cu bariere cuantice triple. A fost stabilit că nivelul de dopare a colectorului și emitorului de  $3 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  în structuri RTD non-polar m-plane  $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N}/\text{GaN}$  cu bariere cuantice simetrice mărește densitatea de curent în maxim la  $4,1 \cdot 10^5 \text{ A/cm}^2$ , iar pentru structuri asimetrice densitatea curentului în maxim este de  $5,8 \cdot 10^5 \text{ A/cm}^2$ .

## **6. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului**

Structurile multistrat polyepoxypropylcarbazole/67at%( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) $_{0,985}$ ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) $_{0,015}$ :33at.%  $\text{As}_2\text{Se}_3$  dezvoltate au făcut posibilă înregistrarea imaginilor în raze X ale micro-obiectelor (microfirile cu diameter  $30 \mu\text{m}$  și  $6 \mu\text{m}$ ) în timp real ( $3,8 \text{ s}$ ). Aceste dezvoltări pot fi utilizate cu succes în știință și tehnică pentru studiile ale micro-obiectelor în raze X.

Au fost elaborați fotodetectori UV în bază de  $\text{ZnSe}$  cu contacte hibride care pot fi utilizate în medicină pentru UV Tomography.

Straturile nanodimensionale de  $\text{ZnO}$  depuse prin metoda cvasi hidrotermală au efect de barieră la difuzia siliciului din substrat, permit obținerea structurilor  $\text{GaN}/\text{Si}$  prin metoda HVPE,  $\text{GaN}$  fiind o componentă importantă a electronicii dispozitivelor de putere mare.

Detectorii de radiații ionizante în baza semiconductorilor  $\text{CdTe}$ ,  $\text{CdZnTe}$ ,  $\text{CdSeTe}$ ,  $\text{CdZnSeTe}$  sunt alternativă pentru detectorii de Si folosiți în prezent în tomografie, având un avantaj esențial – lipsa practică a degradării. Fotodetectoarele în baza heterojoncțiunilor  $\text{TiO}_2/\text{pInP}$  și  $\text{GaN}$  sunt de perspectivă pentru detectare radiațiilor UV. Fotodetectoarele în baza heterojoncțiunilor  $\text{nCdS}$ ,  $\text{nZnO}/\text{pInP}$  au rezistență sporită de degradare la influența radiației corpusculare (fluxuri de electroni, protoni) și perspectivă de aplicare la detectarea radiației în UV. Structurile în bază de  $\text{Ga}_2\text{S}_3$  și  $\text{GaSe}$  precum și aliajele în baza lor sunt destinate detectării radiațiilor electromagnetice în domeniul UV-VIS.

Rezultatele analizei numerice ce ține de RTD în bază de  $\text{AlGaN}$ -based fiind axate pe cercetarea influenței conținutului de of Al, dopării colectorului și a emitorului n-type asupra dependențelor curent-tensiune a permis optimizarea THz emitters în baza  $\text{AlGaN}$  ce poate fi folosit direct pentru THz Tomography și aplicații de securitate.

## **7. Colaborare la nivel național și internațional în cadrul implementării proiectului**

#### Colaborări naționale:

Laboratoare și unități de cercetare științifică din cadrul USM:

- Laboratorul de Cercetări Științifice FIZICA ȘI INGINERIA NANOMATERIALELOR "E. POKATILOV"

- Institutul de Fizică Aplicată

#### Colaborări internaționale:

Institut für Mikrowellentechnik und Photonik, Technische Universität Darmstadt, Germania

Helmholtz Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Berlin, Germania

National Institute for Lasers, Plasma and Radiation Physics, Magurele, Romania

National Institute of Materials Physics, Magurele, Romania

Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Germania

#### 8. Dificultățile în realizarea proiectului (financiare, organizatorice, legate de resursele umane etc.)

Una din dificultățile semnificative este timpul excesiv de mare de la momentul depunerii cererilor de brevet până la recepționarea hotărârii de acordare a brevetului.

#### 9. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de publicații

**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice  
publicate în anul 2023 în cadrul proiectului din Programul de Stat**

#### **MATERIALE ȘI STRUCTURI MULTIFUNCȚIONALE PENTRU DETECTAREA RADIĂȚILOR ELECTROMAGNETICE**

##### 1. Monografii (recomandate spre editare de consiliul științific/senatul organizației din domeniile cercetării și inovării)

1.1. monografii internaționale

1.2. monografii naționale

##### 2. Capitole în monografii naționale/internaționale

2.1. KOROTCENKOV, G., VATAVU, S. (2023). Features of Single-Crystal Growth of CdTe and  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  Compounds Designed for Radiation Detectors. In: Korotcenkov, G. (eds) *Handbook of II-VI Semiconductor-Based Sensors and Radiation Detectors*. Springer, Cham. pp.215-232. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_9) Print ISBN 978-3-031-19530-3, Online ISBN 978-3-031-19531-0

2.2. KOROTCENKOV, G., VATAVU, S. (2023). Medical Applications of II-VI Semiconductor-Based Radiation Detectors. In: Korotcenkov, G. (eds) *Handbook of II-VI Semiconductor-Based Sensors and Radiation Detectors*. Springer, Cham. pp.137-157 [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24000-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24000-3_5) Print ISBN 978-3-031-23999-1, Online ISBN 978-3-031-24000-3

### 3. Editor culegere de articole, materiale ale conferințelor naționale/internaționale

#### 4. Articole în reviste științifice

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

4.1.1. BELENCHUK, A., SHAPOVAL, O., RODDATIS, V., STROH, K., VATAVU, S., WAWRA, J., MOSHNYAGA, V. Spinodal decomposition introduces strain-enhanced thermochromism in polycrystalline  $V_{1-x}Ti_xO_2$  thin films. In: *Nanoscale*, 2023, vol.15, pp.11592-11602, ISSN 2040-3372 (Online) URL: <https://doi.org/10.1039/D3NR01350B> (IF = 6,7)

4.1.2. SUSHKEVICH, K., SIMINEL, N., SIRKELI, V., NEDEOGLO, N., SIMINEL, A., VATAVU, S., GHILEȚCHII, Gh., IURIEVA, T., KULYUK, L., NEDEOGLO, D. Luminescent properties of ZnSe crystals doped with group V elements and iodine. In: *Physica B: Condensed Matter*, 2023, vol. 666, p. 415137 (5 pages). ISSN: 0921-4526. URL: <https://doi.org/10.1016/j.physb.2023.415137> (IF = 2,8)

4.1.3. CHIRITA, A., HUSTUC, A., NASEDCHINA, N., VATAVU, S. The structure polymer/As-Se-S doped by Bi for X-ray imaging. In: *Chalcogenide Letters*. 2023, vol.20, nr.11, pp. 803-809. ISSN 1584-8663. URL: <https://doi.org/10.15251/CL.2023.2011.803> (IF=0,855)

4.2. în alte reviste din străinătate recunoscute

4.3. în reviste din Registrul National al revistelor de profil, cu indicarea categoriei

4.4. în alte reviste naționale

4.4.1. GOGLIDZE, T., GONCEARENCO, E., DEMENTIEV, I., NEDEOGLO, N., IURIEVA, T., NEDEOGLO, D. Luminescent properties of low-dimensional ZnO:Ag powders obtained by chemical deposition from aqueous solution. În: *Moldavian Journal of the Physical Sciences*. 2023, vol.22, pp.43-50. ISSN 2537-6365. DOI: <https://doi.org/10.53081/mjps.2023.22-1.02>

#### 5. Articole în culegeri științifice naționale/internaționale

5.1. culegeri de lucrări științifice editate peste hotare

5.2 culegeri de lucrări științifice editate în Republica Moldova

#### 6. Articole în materiale ale conferințelor științifice

6.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

6.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

6.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

6.3.1. GHILEȚCHII, Gh., NAROLSCHI, Ig., ROTARU, C., RUSU, M., VATAVU, S., Particularități structurale ale filmelor  $ZnSnN_2$ . In: *Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare", Atelierul FIZICĂ ȘI INGINERIE: Rezumate ale comunicărilor, 9-10 noiembrie 2023*. Chișinău: Universitatea de Stat din Moldova, 2023, p. xxx-xxx. Acceptat, in press 5p.

6.3.2. SIRKELI, V. P., NEDEOGLO, N. D., NEDEOGLO, D. D., VATAVU, S. A., YILMAZOGLU, O., HAJO, A. S., PREU, S., HARTNAGEL, H. L., KÜPPERS, F. Recent advances in ZnSe-based devices: from UV to terahertz applications. In: *Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare", Atelierul FIZICĂ ȘI INGINERIE: Rezumate ale comunicărilor, 9-10 noiembrie 2023*. Chișinău: Universitatea de Stat din Moldova, 2023, p. xxx-xxx. Acceptat, in press 5p.

6.3.3. ROTARU, C. Proprietățile electronice a suprafeței straturilor de CdS depuse pe suporturi de ZnO și SnO<sub>2</sub>. In: *Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare", Atelierul FIZICĂ ȘI INGINERIE: Rezumate ale comunicărilor, 9-10 noiembrie 2023*. Chișinău: Universitatea de Stat din Moldova, 2023, p. xxx-xxx. Acceptat, in press 5p.

6.3.4. КЛЮКАНОВ, А., ВАРЗАРЬ, А., НИКА, Д., ВАТАВУ, С. Примесная фотолюминесценция в теллуриде кадмия и фононплазмонные повторения. In: *Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare", Atelierul FIZICĂ ȘI INGINERIE: Rezumate ale comunicărilor, 9-10 noiembrie 2023*. Chișinău: Universitatea de Stat din Moldova, 2023, p. xxx-xxx. Acceptat, in press 5p.

6.3.5. ROTARU, C. Particularități structurale ale formării nanostraturilor de CdS pe substraturi de ZnO și SnO<sub>2</sub>. In: *Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare", Atelierul FIZICĂ ȘI INGINERIE: Rezumate ale comunicărilor, 9-10 noiembrie 2023*. Chișinău: Universitatea de Stat din Moldova, 2023, p. xxx-xxx. Acceptat, in press 5p.

6.3.6. ГРАБКО, Д., НИКОРИЧ, В., ТОПАЛ, Д., ШИКИМАКА, О., ГУБАНОВА, А. Механические свойства кристаллов на основе халькогенидов свинца. In: *Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare", Atelierul FIZICĂ ȘI INGINERIE: Rezumate ale comunicărilor, 9-10 noiembrie 2023*. Chișinău: Universitatea de Stat din Moldova, 2023, p. xxx-xxx. Acceptat, in press 5p.

6.3.7. ГОГЛИДЗЕ, Т., НЕДЕОГЛО, Н., ЮРЬЕВА, Т., НЕДЕОГЛО, Д. Люминесцентные свойства нанопорошков CdSe, легированных переходными металлами и редкоземельными элементами. In: *Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare", Atelierul FIZICĂ ȘI INGINERIE: Rezumate ale comunicărilor, 9-10 noiembrie 2023*. Chișinău: Universitatea de Stat din Moldova, 2023, p. xxx-xxx. Acceptat, in press 5p.

6.3.8. CHIRITA, A., NASEDCHINA, N., MAISTRUC, I. SANDU, M. Înregistrarea imaginilor în raze X ale microobiectelor pe structuri polimer/As-Se-S dopate cu Sn, Te și Bi. In: *Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare", Atelierul FIZICĂ ȘI INGINERIE: Rezumate ale comunicărilor, 9-10 noiembrie 2023*. Chișinău: Universitatea de Stat din Moldova, 2023, p. xxx-xxx. Acceptat, in press 5p.

6.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

## 7. Teze ale conferințelor științifice

7.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

7.1.1. VATAVU, S., NAROLSCHI, IG., GHILEȚCHII, GH., ROTARU, C., SHAPOVAL, O., BELENCHUK A., GURIEVA, G., SCHORR, S., RUSU, M., UNOLD, T. ZnSnN<sub>2</sub> thin films: Physical properties vs. Technology. In: *European Materials Research Society (EMRS-2023) Spring Meeting Symposium B*, 08\_2665: Materials for energy conversion systems: fundamentals, designs, and applications, May 29- June 02, 2023, Strasbourg, France. URL: <https://www.european-mrs.com/materials-energy-conversion-systems-fundamentals-designs-and-applications-emrs>

7.1.2. VARZARI, A., KLYUKANOV, A.A., NIKA, D., VATAVU, S. Multiquantum band-to-impurity optical transitions in CdTe luminescence and phonon-plasmon replicas. In: *European Materials Research Society (EMRS-2023) Spring Meeting Symposium B*, 02\_2119: Materials for energy conversion systems: fundamentals, designs, and applications, May 29- June 02, 2023, Strasbourg, France. URL: <https://www.european-mrs.com/materials-energy-conversion-systems-fundamentals-designs-and-applications-emrs>

7.1.3. GHILEȚCHII, Gh., SPOIALĂ, D., VATAVU, E., ROTARU, C., SHAPOVAL, O., BELENCHUK, A., RUSU, M., NAROLSCHI, Ig., DMITROGLO, L., VATAVU, S. Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub> thin films in UV detector applications: physics vs. Technology. In: *European Materials Research Society (EMRS-2023) Spring Meeting Symposium B*, 25\_2722: Materials for energy conversion systems: fundamentals, designs, and applications, May 29- June 02, 2023, Strasbourg, France. URL: <https://www.european-mrs.com/materials-energy-conversion-systems-fundamentals-designs-and-applications-emrs>

7.1.4. SHAPOVAL, O., BELENCHUK, A., VATAVU, E., PALAMARCIUC, O., VATAVU, S. Multi-solvent method for doping oxide thin films in solution-based techniques. In: *European Materials Research Society (EMRS-2023) Spring Meeting Symposium C*, 29\_2205: Advanced materials for environmental challenges, May 29- June 02, 2023, Strasbourg, France. URL: <https://www.european-mrs.com/advanced-materials-environmental-challenges-emrs>

7.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

7.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

7.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

## **8. Alte lucrări științifice** (recomandate spre editare de o instituție acreditată în domeniu)

8.1. cărți (cu caracter informativ)

8.2. enciclopedii, dicționare

8.3. atlase, hărți, albume, cataloage, tabele etc. (ca produse ale cercetării științifice)

## **9. Brevete de invenții și alte obiecte de proprietate intelectuală, materiale la saloanele de invenții**

9.1. CHIRIȚA, A. Purtător pentru înregistrarea imaginilor în raze X. Brevet de invenție MD 1681 Z 2023.10.31.

9.2. CHIRIȚA, A. Purtător pentru înregistrarea imaginilor în raze X și în regiunea vizibilă a spectrului. Brevet de invenție MD 1709 Y 2023.07.31

9.3. BOTNARIUC, V., GORCEAC, L., RAEVSCHI, S., ROTARU C., VATAVU S. Procedeu de creștere a straturilor epitaxiale TiO<sub>2</sub>. Hotărârea nr. 10352 din 2023.11.17 de ACORDARE a BREVETULUI de invenție.

9.4. RAEVSCHI, S., GORCEAC, L., BOTNARIUC, V., VATAVU S. Procedeu de obținere a straturilor de titan. Cerere de brevet nr. a 20230025 din 15.08.2023.

## 10. Lucrări științifico-metodice și didactice

10.1. manuale pentru învățământul preuniversitar (aprobate de ministerul de resort)

10.2. manuale pentru învățământul universitar (aprobate de consiliul științific /senatul instituției)

10.3. alte lucrări științifico-metodice și didactice

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

**11. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în proiect în mass-media (Opțional):**

- Emisiuni radio/TV de popularizare a științei
- Articole de popularizare a științei

**12. Teze de doctorat / postdoctorat susținute și confirmate în anul 2023 de membrii echipei proiectului**

## 13. Concluzii

Structuri multistrat polyepoxypropylcarbazole/  $67\text{at}\%(\text{As}_2\text{S}_3)_{0,985}(\text{Bi}_2\text{Se}_3)_{0,015}:33\text{at}\% \text{As}_2\text{Se}_3$  pot fi cu succes utilizate pentru înregistrarea imaginilor micro-obiectelor în radiații de raze X. Structuri propuse nu necesită o tratare chimică pentru a vizualiza imagini cu raze X, dar formează imagini fază-relief în timp real - până la 3,8 s. Structurile polyepoxypropylcarbazole/  $67\text{at}\%(\text{As}_2\text{S}_3)_{0,985}(\text{Bi}_2\text{Se}_3)_{0,015}:33\text{at}\% \text{As}_2\text{Se}_3$  pot fi utilizate cu succes în holografia cu raze X în studiile ale micro-obiectelor.

A fost elaborat un model teoretic reieșind din metoda funcției lui Green, a teoremei fluctuație-disipație și ținând cont de interacțiunea purtătorilor de neechilibru cu perechile fonon-plasmon legate ce rezultă în form-funcția analitică a fotoluminescenței impuritate în CdTe atât sub formă de straturi cât și sub formă de monocristale.

Sunt optimizate regimuri tehnologice de obținere a nanopulberilor de CdSe prin metoda solvothermală și a monocristalelor de CdSe prin metoda Bridgman și transferului fizic al vaporilor, cu doparea lor ulterioară cu metale de tranziție și elemente de pământuri rare. Benzile de FL depistate la 15K în spectrele de FL a monocristalelor de CdSe sunt atribuite emisiei radiative a complexelor exciton-impuritate de tip donor (685,5 nm) și acceptor (692,5 nm), a perechilor de tip donor-acceptor (719 nm) și replicilor fononice (729,5 nm și 741 nm). Sunt preparate structuri de tipul nucleu-înveliș (shell). În calitate de material al nucleului sunt utilizate nanocristale de CdSe, iar în calitate de înveliș – compușii ZnO sau CdS, transparenti pentru emisia nucleului.

Au fost măsurate și analizate proprietățile electronice ale straturilor subțiri de  $\text{Ga}_2\text{S}_3/\text{Si}$  prin KP și PYS în funcție de temperatura suportului (500-700°C). A fost stabilit că straturile sunt de tip  $n$ , tipul de conductibilitate nefiind influențat de temperatura suportului. Energia de ionizare fiind în limitele 5,7-5,8 eV nu este influențată de temperatura suportului, pe când lucrul de ieșite



la iluminare (3,06 eV) - are valoare maximă la 650°C - 4,7 eV. Evoluția poziției  $E_{vbm} - E_F$  (= -1,27 eV) are un maxim la aceeași temperatură.

Straturi subțiri ale  $ZnSnN_2$ /Sticlă au fost preparate prin metoda DC reactive magnetron sputtering în atmosferă de  $N_2$  (99,9995%). Temperatura suportului a variat între 30°C și 350°C. Țintele reprezintă un aliaj compus din Zn și Sn. Analiza structurală a filmelor a demonstrat formarea straturilor subțiri policristaline de  $ZnSnN_2$  cu structura cristalină hexagonală ( $P6_3mc$ ) cu parametrii rețelei cristaline  $a=b=3,392 \text{ \AA}$ ;  $c=5,489 \text{ \AA}$ ;  $\alpha=\beta=90^\circ$ ;  $\gamma=120^\circ$  care depind de temperatura suportului și de stoichiometria ținte pentru toate țintele utilizate. A fost realizat ciclul tehnologic de tratament termic la 350°C in-situ în vid și în atmosferă de Ar. Proprietățile electronice (cercetate prin KP și PYS) se modifică după tratamentul termic, energia de ionizare își ia valoarea maximă de 5,7 eV în cazul folosirii ținte de  $Zn_{0,50}Sn_{0,50}$  ce corespunde compoziției  $[Zn]/([Zn]+[Sn])=0,6$  (Temperatura suportului 150°C). Energia de ionizare se mărește odată cu mărirea temperaturii suportului.

Au fost elaborate tehnologiile de preparare a straturilor nano/micrometrice n, pInP, nCdS, nZnO, ITO. Fotodetectorii în baza heterojoncțiunilor nCdS-pInP pe substraturi cu  $\rho=3-4,9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , sensibilitatea este maximă pentru structurile preparate pe substraturi cu direcția cristalografică (111)A, având valoarea de 0,41 A/W, micșorându-se până la cca 0,19 A/W pentru substraturile cu  $\rho = 3,38 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , direcția cristalografică (111)A.

A fost determinat, că pentru structuri RTD non-polar m-plane  $Al_xGa_{1-x}N/GaN$  cu o singură groapă de potențial și bariere cuantice duble, nivelul de dopare optimal a colectorului și emitorului este de  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ . A fost stabilit că mărirea nivelului de dopare a contactelor colectorului și emitorului la  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  reduce înălțimea barierei și mărește densitatea curentului, valoarea maximă fiind de 1,7 A/cm<sup>2</sup>. Primul maxim în transmisie corespunde tensiunii aplicate de 0,74 V.

A fost stabilit că pentru structura RTD non-polar m-plane  $Al_xGa_{1-x}N/GaN$  cu două gropi de potențial și bariere cuantice simetrice triple densitatea de curent în maxim la  $4,1 \cdot 10^5 \text{ A/cm}^2$ , iar pentru structuri asimetrice densitatea curentului în maxim este de  $5,8 \cdot 10^5 \text{ A/cm}^2$ .

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / VATAVU Sergiu

Data: 12.01.2024

LȘ



## Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2023

**MATERIALE ȘI STRUCTURI MULTIFUNCȚIONALE PENTRU DETECTAREA  
RADIĂȚILOR ELECTROMAGNETICE****Cifrul proiectului 20.80009.5007.12**

Au fost obținute structuri multistrat polyepoxypropylcarbazole/67at%(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>0,985</sub>(Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>)<sub>0,015</sub>:33at.% As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> pentru înregistrarea imaginilor sub influența radiației X. Au fost înregistrate imagini cu raze X ale microfidelor cu diametre 30 μm și 6 μm în timp real – până la 3,8 s.

A fost elaborat un model teoretic reieșind din metoda funcției lui Green, a teoremei fluctuație-disipație și ținând cont de interacțiunea purtătorilor de neechilibru cu perechile fonon-plasmon legate ce rezultă în form-funcția analitică a fotoluminescenței impuritate în CdTe.

Au fost optimizate regimurile tehnologice de obținere a nanopulberilor de CdSe prin metoda solvotermală și a monocristalelor de CdSe prin metoda Bridgman și transferului fizic al vaporilor, cu doparea lor ulterioară cu metale de tranziție și elemente de pământuri rare. Benzile de FL depistate la 15K în spectrele de FL a monocristalelor de CdSe sunt atribuite emisiei radiative a complexelor exciton-impuritate de tip donor și acceptor, a perechilor de tip donor-acceptor (719 nm) și replicilor fononice. Sunt preparate structuri de tipul nucleu (CdSe)-înveliș (shell: ZnO, CdS).

Au fost măsurate și analizate proprietățile electronice ale straturilor subțiri de Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/Si prin KP și PYS în funcție de temperatura suportului (500-700°C). A fost stabilit că straturile sunt de tip *n*, tipul de conductibilitate nefiind influențat de temperatura suportului. Energia de ionizare fiind în limitele 5,7-5,8 eV nu este influențată de temperatura suportului, pe când lucrul de ieșire la iluminare (3,06 eV) - are valoare maximă la 650°C - 4,7 eV. Evoluția poziției E<sub>vbm</sub> - E<sub>F</sub> (= -1,27 eV) are un maxim la aceeași temperatură.

Straturi subțiri ale ZnSnN<sub>2</sub>/Sticlă au fost preparate prin metoda DC reactive magnetron sputtering în atmosferă de N<sub>2</sub> (99,9995%). Temperatura suportului a variat între 30°C și 350°C. Țintele reprezintă un aliaj compus din Zn și Sn. Analiza structurală a filmelor a demonstrat formarea straturilor subțiri policristaline de ZnSnN<sub>2</sub> cu structura cristalină hexagonală (P6<sub>3</sub>mc) cu parametrii rețelei cristaline a=b=3,392 Å; c=5,489 Å; α=β=90°; γ=120° care depind de temperatura suportului și de stoichiometria ținte pentru toate țintele utilizate. A fost realizat ciclul tehnologic de tratament termic la 350°C in-situ în vid și în atmosferă de Ar. Proprietățile electronice se modifică după tratamentul termic, energia de ionizare își ia valoarea maximă de 5,7 eV în cazul folosirii ținte de Zn<sub>0,50</sub>Sn<sub>0,50</sub> ce corespunde compoziției [Zn]/([Zn]+[Sn])=0,6 (T<sub>sup</sub>=150°C). Energia de ionizare se mărește odată cu mărirea temperaturii suportului.

Structuri RTD non-polar m-plane Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/GaN cu două gropi de potențial și bariere cuantice triple simetrice au fost studiate numeric la 300 K. Conținutul de Al (x) în barierele cuantice Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N este x=0,10 pentru prima și a treia barieră cuantică și x=0,20 pentru a doua barieră cuantică. Nivelul de dopare a contactelor colectorului și emitorului a variat de la 1·10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> la 1·10<sup>20</sup> cm<sup>-3</sup>. La 0 V structurile RTD non-polar m-plane au diagrama benzii de conducție simetrică datorită absenței câmpurilor piezoelectrice interne. A fost stabilit că pentru nivelul de dopare a colectorului de 3·10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup> în cazul structurilor RTD non-polar m-plane Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/GaN cu 3 bariere cuantice asimetrice densitatea de curent crește până la valoarea maximă de 5,8·10<sup>5</sup> A/cm<sup>2</sup>.



Polyepoxypropylcarbazole/67at%(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>0,985</sub>(Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>)<sub>0,015</sub>:33at.% As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> multilayer structures were obtained for X-ray imaging. X-ray images of micro-wires with diameters of 30 μm and 6 μm were recorded in real time – up to 3.8 s.

A theoretical model was developed based on the Green's function method, the fluctuation-dissipation theorem and taking into account the interaction of non-equilibrium carriers with the bound phonon-plasmon pairs resulting in the analytical form-function of the impurity photoluminescence in CdTe.

The technological regimes for obtaining CdSe nanopowders by the solvothermal method and CdSe single crystals by the Bridgman method and physical vapor transfer, with their subsequent doping with transition metals and rare earth elements were optimized. The FL bands detected at 15K in the FL spectra of CdSe single crystals are attributed to the radiative emission of donor-acceptor exciton-impurity complexes, donor-acceptor pairs (719 nm), and phonon replicas. Core (CdSe)-shell (shell: ZnO, CdS) structures are prepared.

The electronic properties of Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/Si thin films by KP and PYS were measured and analyzed as a function of substrate temperature (500-700°C). It was established that the layers are of n-type, the type of conductivity not being influenced by the temperature of the substrate. The ionization energy being within the limits of 5.7-5.8 eV is not influenced by the temperature of the substrate, while the work function during illumination (3.06 eV) - has a maximum value at 650°C - 4.7 eV. The evolution of the E<sub>Vbm</sub> - E<sub>F</sub> (= -1,27 eV) position has a maximum at the same temperature.

ZnSnN<sub>2</sub>/Glass thin layers were prepared by DC reactive magnetron sputtering method in N<sub>2</sub> (99,9995%) atmosphere. The substrate temperature was varied between 30°C and 350°C. The targets are an alloy composed of Zn and Sn. The structural analysis of the films demonstrated the formation of thin polycrystalline layers of ZnSnN<sub>2</sub> with the hexagonal crystal structure (P6<sub>3</sub>mc) with crystal lattice parameters a=b=3.392 Å; c=5.489 Å; α=β=90°; γ=120° which depend on substrate temperature and target stoichiometry for all targets used. The technological cycle of thermal treatment at 350°C in-situ in a vacuum and in an Ar atmosphere was carried out. The electronic properties change after the heat treatment, the ionization energy reaches its maximum value of 5.7 eV in the case of using the Zn<sub>0,50</sub>Sn<sub>0,50</sub> target, which corresponds to the composition [Zn]/([Zn]+[Sn])=0,6 (T<sub>subs.</sub>=150°C). The ionization energy increases with substrate temperature increase.

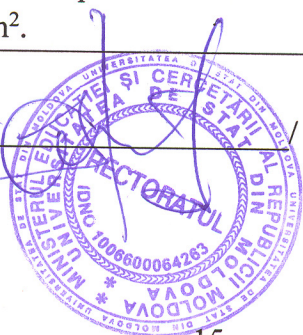
Non-polar m-plane Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/GaN RTD structures with two potential wells and triple symmetric quantum barriers were numerically studied at 300 K. The content of Al (x) in the Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N quantum barriers is x=0.10 for first and third quantum barriers and x=0.20 for the second quantum barrier. The doping level of the collector and emitter contacts varied from 1·10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> to 1·10<sup>20</sup> cm<sup>-3</sup>. At 0 V non-polar m-plane RTD structures have a symmetric conduction band diagram due to the absence of internal piezoelectric fields. It was determined that for the collector doping level of 3·10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup> in the case of non-polar m-plane RTD structures Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/GaN with 3 asymmetric quantum barriers the current density increases up to the maximum value of 5,8·10<sup>5</sup> A/cm<sup>2</sup>.

Conducătorul de proiect

Data:

12.01.2024

VATAVU Sergiu



LȘ

**Executarea devizului de cheltuieli,  
conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare pentru anul 2023**

**Cifrul proiectului: 20.80009.5007.12**

Cheltuieli, mii lei				
Denumirea	Cod		Anul de gestiune	
	Eco (k6)	Aprobat	Modificat +/-	Precizat
Remunerarea muncii	211180	2545,5		2545,5
Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii (24%)	212100	610,9		610,9
Deplasări de serviciu peste hotare	222720	107,9		107,9
Alte prestații sociale ale angajatorilor	273900		+85,0	85,0
<b>TOTAL</b>		<b>3264,3</b>	<b>85,0</b>	<b>3349,3</b>

Rector

\_\_\_\_\_  
ȘAROV Igor

Contabil șef

\_\_\_\_\_  
COJOCARU Liliana

Conducătorul de proiect

\_\_\_\_\_  
VATAVU Sergiu

Data:

12.01.2024

LȘ

**Componența echipei proiectului conform contractului de finanțare 2023****Cifrul proiectului 20.80009.5007.12**

<b>Echipea proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului) pentru 2023</b>						
<b>Nr</b>	<b>Nume, prenume (conform contractului de finanțare)</b>	<b>Anul nașterii</b>	<b>Titlul științific</b>	<b>Norma de muncă conform contractului</b>	<b>Data angajării</b>	<b>Data eliberării</b>
1.	Vatavu Sergiu	1977	dr.	0,5	03.01.2023	31.12.2023
2.	Chirița Arcadi	1964	dr.	0,25	03.01.2023	31.12.2023
3.	Sirkeli Vadim	1978	dr.	0,5	03.01.2023	31.12.2023
4.	Narolschi Igor	1968		0,5	03.01.2023	31.12.2023
5.	Rotaru Corneliu	1964		1	03.01.2023	31.12.2023
6.	Nedeoglo Natalia	1974	dr.	0,5	03.01.2023	31.12.2023
7.	Spoială Dorin	1968		1	03.01.2023	31.12.2023
8.	Nedeoglo Dmitrii	1942	dr. hab.	1	03.01.2023	31.12.2023
9.	Cliucanov Alexandr	1944	dr. hab.	0,25	03.01.2023	31.12.2023
10.	Caraman Mihail	1941	dr. hab.	0,5	03.01.2023	31.12.2023
11.	Sușchevici Constantin	1943	dr.	1	03.01.2023	31.12.2023
12.	Sisianu Sergiu	1966	dr. hab.	0,5	03.01.2023	31.12.2023
13.	Gorceac Leonid	1942	dr.	0,5	03.01.2023	31.12.2023
14.	Iurieva Tatiana	1966		0,5	03.01.2023	31.12.2023
15.	Goglidze Tatiana	1947		1	03.01.2023	31.12.2023
16.	Botnariuc Vasile	1945	dr.	0,5	03.01.2023	31.12.2023
17.	Raevschi Simion	1941	dr.	0,75	03.01.2023	31.12.2023
18.	Nasedchina Nadejda	1947		0,75	03.01.2023	31.12.2023
19.	Moșneaga Alisa	1989	dr.	0,5	03.01.2023	31.12.2023
20.	Chetruș Petru Ion	1944	dr.	0,25	03.01.2023	31.12.2023
21.	Gaugaș Petru	1946	dr.	0,25	03.01.2023	31.12.2023
22.	Nicorici Valentina	1952	dr.	0,5	03.01.2023	31.12.2023
23.	Chetruș Petru Mihail	1944	dr.	0,25	03.01.2023	31.12.2023
24.	Dmitroglo Liliana	1978	dr.	0,25	03.01.2023	31.12.2023
25.	Palamarciuc Oleg	1985	dr.	0,75	03.01.2023	31.12.2023
26.	Palamarciuc Tatiana	1984	dr.	0,5	03.01.2023	18.04.2023
27.	Bercu Elena	1975		0,5	03.01.2023	31.12.2023



28.	Boris Iulia	1978	dr.	1	03.01.2023	31.12.2023
29.	Șapoval Oleg	1963	dr.	1	03.01.2023	31.12.2023
30.	Belenciuc Alexandr	1960	dr.	1	03.01.2023	31.12.2023
31.	Rusu Marin	1963	dr.	Fără remunerare	-	-
32.	Spinei Eugen	1995		0,5	03.01.2023	31.12.2023
33.	Ghilețchi Gheorghe	1998		0,5	03.01.2023	31.12.2023
34.	Varzari Alexandru	1997		0,5	03.01.2023	31.12.2023
35.	Leca Ludmila	1997		0,5	03.01.2023	31.12.2023
36.	Maistruc Irina	1996		0,5	03.01.2023	31.12.2023
37.	Sandu Mădălina	1997		0,5	03.01.2023	31.12.2023
38.	Nica Xenia	1995		0,5	01.04.2023	31.12.2023
39.	Vițu Evelina	1989		0,5	01.07.2023	31.12.2023
40.	Caragacian Stanislav	1999		0,5	03.01.2023	31.12.2023

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform proiectului - 27,5%

Rector

ȘAROV Igor

Contabil șef

COJOCARU Liliana

Conducătorul de proiect

VATAVU Sergiu

Data:

12.01.2024

LȘ