

RECEPȚIONAT

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 nanostructurate avansate pentru aplicații termoelectrice și senzori
(titlul proiectului)

Cifrul proiectului 20.80009.5007.02

Prioritatea strategică V. Competitivitate economică și tehnologii inovative

Rectorul USM _____

ȘAROV Igor

Consiliul științific/Senatul _____

STEPANOV *Georgeta*

Conducătorul proiectului _____

NICA Denis



L.Ș.

Chișinău 2024

1. Scopul etapei 2023 conform proiectului depus la concurs

Modelarea proceselor electronice și fononice în oxizii metalici $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Zn},(\text{Pb},\text{Tl})$, cât și în nanofire și nanotuburi de siliciu. Elaborarea și confecționarea mostrelor experimentale ale dispozitivelor în baza materialelor nanostructurate.

2. Obiectivele etapei 2023

1. Cercetarea teoretică a proprietăților electronice, fononice și structurale ale oxizilor $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Zn}$ și $\text{In}_2\text{O}_3:(\text{Pb},\text{Tl})$;
2. Cercetarea teoretică a proprietăților fononice ale nanofirelor și nanotuburilor de siliciu;
3. Studiul experimental prin metodele XRD și AFM a proprietăților structurale ale filmelor nanocompozite din sistemul $\text{ZnO}-\text{In}_2\text{O}_3$, obținute prin metoda spray-pirolizei;
4. Elaborarea procedeei tehnologice de obținere a filmelor oxidice de $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{O}_3$ și $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$, cât și caracterizarea morfologică și structurală a materialelor obținute;
5. Studiul aspectelor tehnologice de obținere a microfiredelor de SnSe în înveliș de sticlă și studiul proprietăților termoelectrice ale lor;
6. Elaborarea design-ului fotoreceptoarelor de radiație UV în baza filmelor oxidice de $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ și a dispozitivului de flux termic în baza microfiredelor și filmelor planare de Bi.

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei 2023

1. Modelarea teoretică a proprietăților electronice și structurale ale oxizilor $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Zn}$, $\text{ZnO}:\text{In}$ și $\text{In}_2\text{O}_3:(\text{Pb},\text{Tl})$ cu utilizarea funcționalei de densitate.
2. Studiul experimental prin metodele XRD și AFM a proprietăților structurale ale filmelor nanocompozite din sistemul $\text{ZnO}-\text{In}_2\text{O}_3$, obținute prin metoda spray-pirolizei.
3. Studiul proprietăților fononice ale cristalelor dopate de $\text{In}_2\text{O}_3:(\text{Pb}, \text{Tl})$ cu utilizarea funcționalei de densitate.
4. Modelarea și studiul teoretic al spectrelor fononilor acustici, a capacității termice și a conductibilității termice fononice în nanofire și nanotuburi de Si.
5. Studiul aspectelor tehnologice de obținere a filmelor oxidice în sistemul $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{O}_3$ și $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ și caracterizarea lor prin metode optice.
6. Dezvoltarea tehnologiei de proiectare și creare a senzorului anizotrop planar de flux termic în baza filmelor de Bi pe suport de mică.
7. Elaborarea procedeei de formare a tranzistorilor cu efect de câmp (FET) în baza filmelor nanometrice de SnS și efectuarea caracterizărilor electrice a tranzistorilor.
8. Dezvoltarea tehnologiei de producere a microfiredelor semiconductor din compușii calcogenici SnSe în înveliș de sticlă.

4. Acțiunile realizate

1. În cadrul teoriei funcționalului densității stărilor au fost calculate și cercetate proprietățile electronice, fononice și/sau structurale ale oxizilor $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Zn}$, $\text{ZnO}:\text{In}$ și $\text{In}_2\text{O}_3:(\text{Pb},\text{Tl})$.
2. Prin metoda spray-pirolizei au fost obținute pelicule nanocompozite din sistemul $\text{ZnO}-\text{In}_2\text{O}_3$ și a fost realizat studiul complex al proprietăților structurale ale lor.
3. A fost studiată teoretic dependența capacității termice și a conductibilității termice fononice în nanofire și nanotuburile din Si de temperatură și de dimensiunile spațiale.
4. Au fost studiate aspectele tehnologice de obținere a filmelor oxidice în sistemul $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{O}_3$ și a fost efectuată caracterizarea lor prin metode optice. A fost elaborată

tehnologia de confecționare a mostrelor de laborator ale fotoreceptorilor în baza materialelor oxidice $Zn_xMg_{1-x}O$.

5. A fost dezvoltată tehnologia de proiectare și creare a senzorului anizotrop planar de flux termic în baza filmelor de Bi pe suport de mică.
6. Au fost elaborate procedeele de formare a tranzistorilor cu efect de câmp în baza filmelor nanometrice de SnS și efectuată caracterizarea electrică a tranzistorilor.
7. Au fost cercetate proprietățile termoelectrice ale straturilor și microfidelor de SnSe dopat cu Ag.

5. Rezultatele obținute

5.1. Proprietățile electronice și fononice ale oxizilor $In_2O_3:Zn$ și $In_2O_3:(Pb,Tl)$

Calculule teoretice *ab initio* a proprietăților electronice și fononice au fost efectuate în cadrul formalismului funcționalului densității (DFT) așa cum este implementat în pachetul de coduri-sursă Quantum ESPRESSO. Oxidul de indiu, dopat cu Zn, Pb și Tl, a fost modelat pe baza celulei primitive a In_2O_3 de tip bixbyit cu 40 de atomi prin înlocuirea unui atom de In în nodul *b* al rețelei cu un atom de Zn sau Pb și adăugarea ulterioară a unui atom de Tl într-un internod în imediata vecinătate a atomului de Pb în cazul defectelor biatomice Pb-Tl. Aceasta configurație duce la formarea impurității punctiforme Zn_b sau Pb_b-Tl_i .

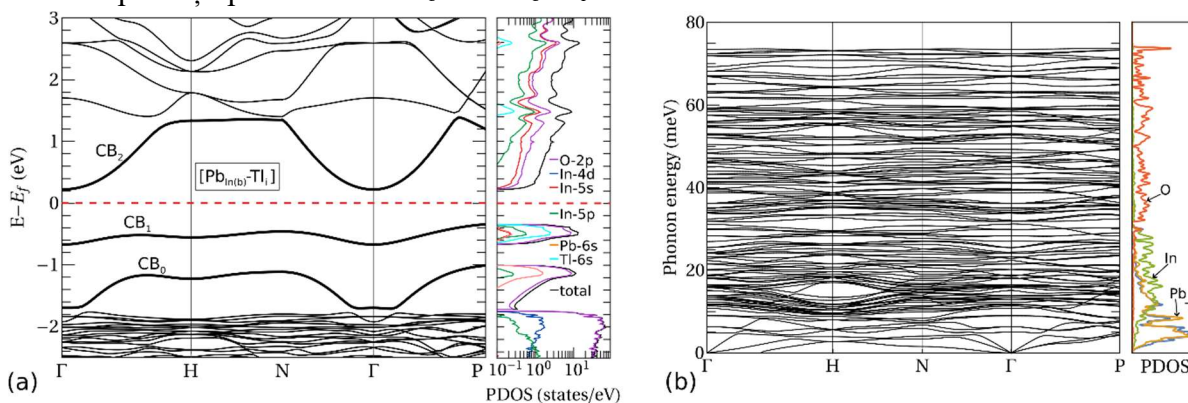


Figura. 5.1. Spectrele energetice ale (a) electronilor și (b) fononilor în In_2O_3 cu defectul punctiform Pb_b-Tl_i

După cum se vede din Fig. 5.1, formarea defectului Pb_b-Tl_i în rețeaua cristalină a In_2O_3 duce la modificarea substanțială a spectrelor electronice și fononice. În spectrul electronic apar trei subbenzi de conducție: CB_0 , CB_1 și CB_2 , primele două dintre care conform poziției nivelului Fermi sunt totalmente ocupate de electroni. Analiza densității electronice de stări ne duce la concluzia, că subbanda CB_0 este dominată de orbitalele O-2p și Pb-6s, iar orbitalele O-2p și Tl-6s contribuie cel mai mult la formarea subbenzii CB_1 . Subbanda CB_2 rămâne neocupată la $T = 0$ K, însă deoarece lățimea benzii interzise dintre CB_1 și CB_2 este de doar ~ 0.6 eV, ambele subbenzi vor participa la conductibilitatea electronică deja la temperaturi moderate.

Spectrul fononic și densitatea fononică de stări demonstrează apariția ramurilor fononice plate în intervalul de energii $\sim 5-10$ meV și care sunt dominate de vibrații ale atomilor de impuritate Tl și Pb. Este important faptul, că aceste vibrații sunt localizate în spațiu și joacă rolul centrelor de împrăștiere a fononilor acustici cu viteză de grup înaltă, ceea ce duce la limitarea capacității de transport a căldurii. În general se poate observa, că introducerea Tl și Pb provoacă un spectru fononic mai strâns cu o multitudine de ramuri fononice plate. Aceasta implică un spațiu de fază

mărit pentru procesele de împrăștiere fonon-fononice și o viteză medie de grup a fononilor redusă, ambii factori fiind premise importante pentru suprimarea eficientă a transportului termic.

Rezultatele obținute pentru In_2O_3 cu defectele punctiforme monoatomare Zn_b sunt calitativ similare: adaugarea defectelor provoacă modificarea esențială a stărilor electronice și fononice.

Rezultatele teoretice obținute demonstrează posibilitatea ingineriei conductibilității termice în compușii pe bază de oxid de indiu prin dopaj cu Zn, Pb și Tl și pot duce la aplicații practice ale acestora în termoelectricitate.

5.2. Proprietăților structurale ale filmelor nanocompozite din sistemul $\text{ZnO-In}_2\text{O}_3$ obținute prin metoda spray-pirolizei.

Filmele cu grosimea de ~ 100 nm au fost depuse din soluții apoase de cloruri de In și Zn pe substrat de Si, compoziția lor a variat în conformitate cu valorile lui $x=\text{Zn/In}$, acestea fiind cuprinse în diapazonul 0-2. Procesul de spray-piroliză s-a realizat la temperatura $T=450^\circ\text{C}$. Cercetările structurale s-au efectuat cu ajutorul difractometrului EMPYREAN X-ray și a microscopului atomic de forță (AFM) Park XE7. Noi am elaborat un algoritm modificat de calculare a dimensiunii cristalitelor, care ia în considerație tensiunile deformaționale în filme. Rezultatele obținute denotă faptul, că odată cu creșterea conținutului de Zn în filmele obținute: a) crește numărul de faze nanocristaline formate pe bază de Zn, ajungând la 5 pentru $x=2$, printre care fazele cubice In_2O_3 și ZnO, hexagonală ZnO, trigonală $\text{In}_2\text{O}_3(\text{ZnO})_3$ și faza ortorombică ZnO_2 ; b) dimensiunea medie a cristalitelor se modifică nemonoton, atingând valoarea minimală de ~ 12 -15 nm pentru $x=1$ (vezi Figura 5.2b); c) un fapt neobișnuit, pe care l-am stabilit, este formarea fazei cubice ZnO și a fazei din șirul holomorf $\text{In}_2\text{O}_3(\text{ZnO})_3$, acestea apar în alte metode de formare la temperaturi și presiuni semnificativ mai înalte. Am propus o explicație acestui efect, bazată pe proprietățile nanocompozitelor, considerând că una din suprafețele In_2O_3 poate servi drept element de nucleare pentru fazele nestabile, menționate anterior.

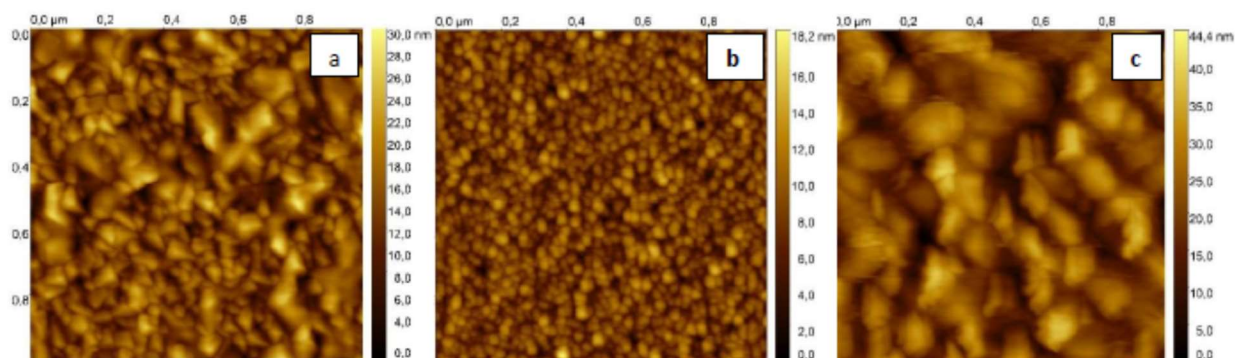


Figura 5.2. Morfologia superficială a peliculei în sistemul In-Zn-O, obținută la temperatura $T_{\text{pyr}}=450^\circ\text{C}$, pentru: a) $x = 0.125$; b) $x=1$; c) $x=2$, stabilită cu ajutorul metodei AFM.

Analiza modificării constantelor atomice ale rețelelor la modificarea compoziției x a peliculei a permis de a concluziona despre doparea reciprocă a cristalitelor fazelor oxidice cu atomi de Zn și In. Calculele efectuate în cadrul DFT a diferitor tipuri de inserări a acestor atomi ne conduc la concluzia, că cea mai probabilă este inserarea atomilor de substituție în nodurile atomilor de metal din faza de oxid.

5.3. Proprietățile fotoconductibile ale filmelor oxidice $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ și $(\text{Ga}_x\text{In}_{1-x})_2\text{O}_3$.

A fost optimizată tehnologia de formare a filmelor oxidice de $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ și $(\text{Ga}_x\text{In}_{1-x})_2\text{O}_3$ prin metoda depunerii din aerosoli și prin centrifugare pentru aplicarea lor la elaborarea fotoreceptorilor pentru domeniul UV al spectrului optic. Studiul fotoconductibilității excitate la

iradiere cu diferite lungimi de undă pentru oxizii menționați demonstrează sensibilitate într-un domeniu spectral larg, de la UV până la IR (vezi Figura 5.3).

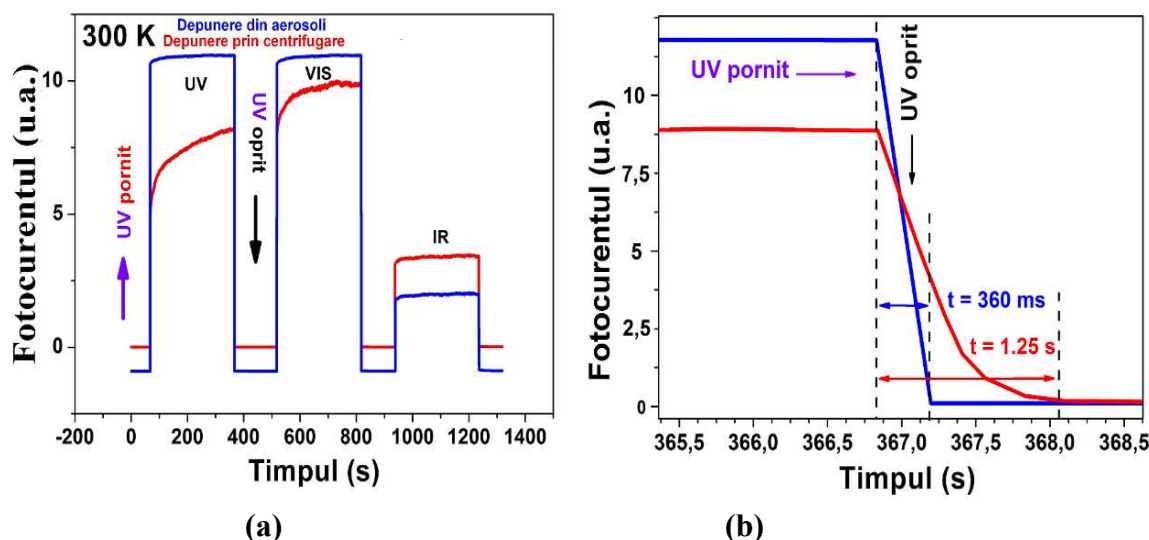


Figura 5.3. Relaxarea fotocurentului la $T=300$ K în vid la iradierea cu diferite lungimi de undă pentru filmele oxidice de $Zn_{0,8}Mg_{0,2}O$ și $(In_{1-x}Ga_x)_2O_3$.

5.4. Proprietățile termoelectrice ale straturilor și microfiredor de SnSe dopat cu Ag.

Au fost studiate proprietățile termoelectrice ale straturilor monocristaline și ale microfiredor policristaline în înveliș de sticlă în bază de SnSe dopat cu Ag, în intervalul de temperaturi 90 K – 300 K. Monocristalele $SnSeAg_{0.01}$ sunt crescute prin metoda verticală Bridgman din topitură stoichiometrică. Un strat monocristalin cu grosimea de 35 μm este format prin metoda de exfoliere la o temperatură joasă. Microfiredor policristaline în înveliș de sticlă cu diferite diametre: 40 μm – 140 μm , sunt preparate prin metoda Ulitovsky. Forța electromotoare a probelor investigate (microfiredor și straturi) la 300 K constituie 190 – 210 $\mu V/K$. Factorul de putere al tuturor probelor la temperatura camerei are o valoare de 15 – 18 $\mu W cm^{-1} K^{-2}$, care scade monoton odată cu scăderea temperaturii și corespunde valorilor atinse pentru Bi_2Te_3 . Conform puterii termoelectrice măsurate, toate probele prezintă conductivitate de tip n (vezi Figura 5.4).

5.5. Senzorul anizotrop de flux termic.

Pentru funcționarea unui senzor anizotrop de flux termic realizat dintr-un material cu anizotropie de termoputere (Bi), este necesar ca axa cristalografică C_3 să fie orientată sub un anumit unghi față de planul senzorului. Prin metoda de evaporare termică a Bi în vid pe suport din mică, au fost depuse filme policristaline de Bi cu grosimea de 2 μm – 5 μm . Recristalizarea lor pentru obținerea filmelor monocristaline cu orientarea predeterminată a axei cristalografice C_3 a necesitat elaborarea instalației, care permite efectuarea recristalizării peliculelor de Bi în câmp electric puternic cu ajutorul radiației laser cu lungimea de undă $\lambda=450$ nm. În cadrul ciclului inițial unic erau executate elementele constructive ale traductorului de flux de căldură, după aceea era efectuat procesul de recristalizare. Câmpul electric era obținut într-o placă transparentă de sticlă cu un strat conductor depus și o placă de cupru; în procesul de recristalizare condensatorul se rotea la un unghi de $\pm 36^\circ$. Mostrele experimentale ale senzorilor de flux de căldură sunt pregătite pentru testare.

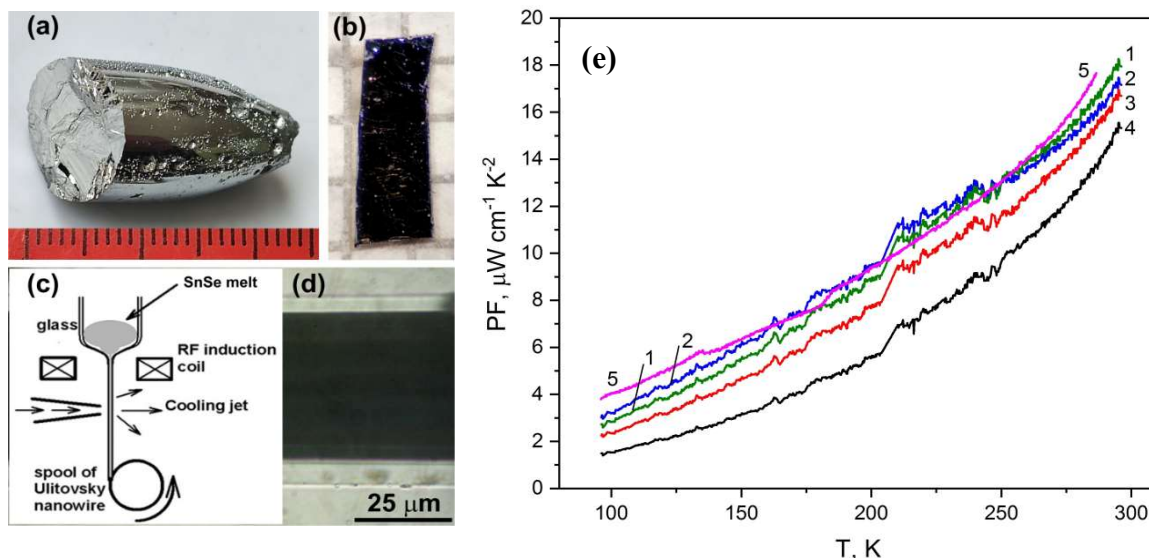


Figura 5.4. (a) Monocristalul de SnSeAg_{0.01}. (b) Strat monocristalin de SnSeAg_{0.01} exfoliat cu grosimea $t=35 \mu\text{m}$. (c) Ilustrarea schematică a procesului de obținere a microfiredelor prin metoda Ulitovsky din SnSeAg_{0.01}. (d) Imaginea obținută la microscopul optic a unui microfir de SnSeAg_{0.01} în înveliș de sticlă cu diametrul de $40 \mu\text{m}$ și diametrul exterior $D = 50 \mu\text{m}$. (e) Dependența de temperatură a factorului de putere PF pentru microfiredul de SnSeAg_{0.01} cu diferite diametre d și pentru stratul monocristalin: (1) $d=40 \mu\text{m}$; (2) $d=140 \mu\text{m}$; (3) $d=56 \mu\text{m}$; (4) $d=50 \mu\text{m}$; (5) stratul monocristalin SnSeAg_{0.01} cu grosimea $t=35 \mu\text{m}$.

5.6. Tranzistor cu efect de câmp pe baza filmelor nanometrice de SnS

În baza filmelor nanometrice de SnS a fost confecționat tranzistorul cu efect de câmp (FET). S-a stabilit, că la aplicarea tensiunii la poartă de până la $1 \mu\text{V}$, curentul crește cu câteva ordine de mărime și dependența I_D-V_D se modifică esențial, SnS comportându-se ca un semiconductor de tip p . În cazul, când sunt aplicate tensiuni de poartă minuscule, câmpul electric vertical aplicat SnS induce o modificare a căii de curgere a purtătorilor de sarcină, implicând stratul SnS interior și continuu în conducția electrică. În Fig. 5.5 este prezentată schematic curgerea purtătorilor de sarcină de la sursa S la drena D în absența și în prezența voltajului aplicat V_G , iar în Fig. 5.6 – dependența I_D-V_D a tranzistorului.

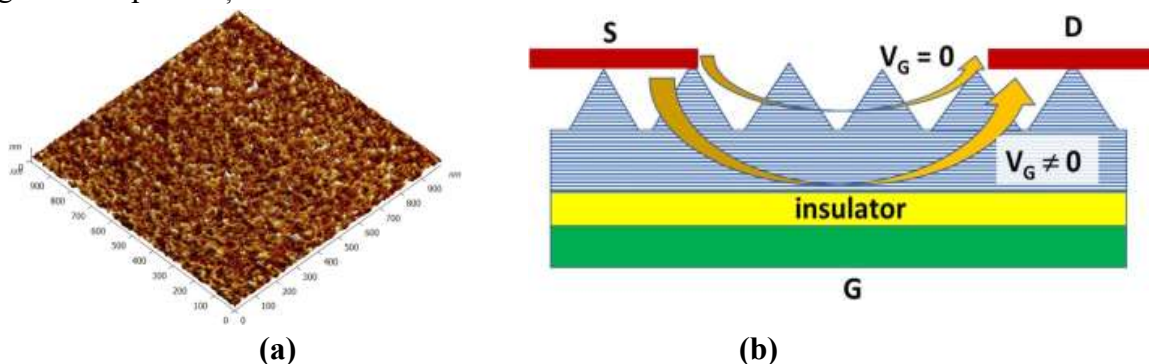


Figura 5.5. (a) Imaginea AFM a filmelor de SnS; (b) Reprezentarea schematică a căilor de curgere a purtătorilor de sarcină între electrozii sursă (S) și drena (D) în absența și în prezența unei tensiuni de poartă aplicate.

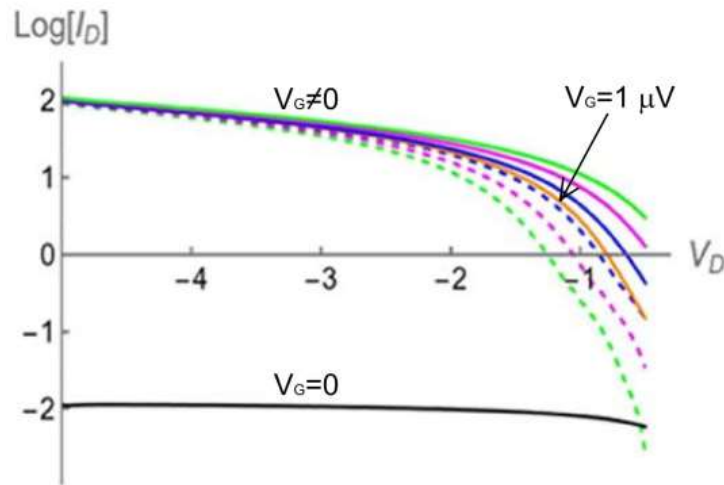


Figura. 5.6. Dependența I_D - V_D a tranzistorului pentru $V_G=0$ și $V_G \neq 0$.

5.7. Conductibilitatea termică fononică a nanofirelor și nanotuburilor de siliciu.

În anul 2023 noi am continuat cercetarea proprietăților fononice și termoconductibile ale nanofirelor și nanotuburilor de siliciu, începute în etapa precedentă a proiectului. În cadrul modelului dinamic Born-von Karman al oscilațiilor rețelei cristaline au fost obținute spectrele energetice ale fononilor, iar transportul de căldură a fost calculat din ecuația cinetică Boltzmann în aproximația perioadei de relaxare. În Fig. 5.7 este prezentată dependența de temperatură a capacității termice (panoul (a)) și a conductibilității termice de rețea (panoul (b)) în nanotubul de siliciu cu secțiunea transversală variabilă. De asemenea sunt prezentate dependențele de temperatură a capacității termice și a conductibilității termice în nanotubul de siliciu cu secțiunea transversală constantă ($d_{\text{mod}}^{\text{MNT}} = 0$). Modulația secțiunii transversale influențează slab capacitatea termică a nanotubului, însă micșorează substanțial conductibilitatea termică de rețea – de 5 – 10 ori în dependență de temperatură și de valoarea modulației secțiunii.

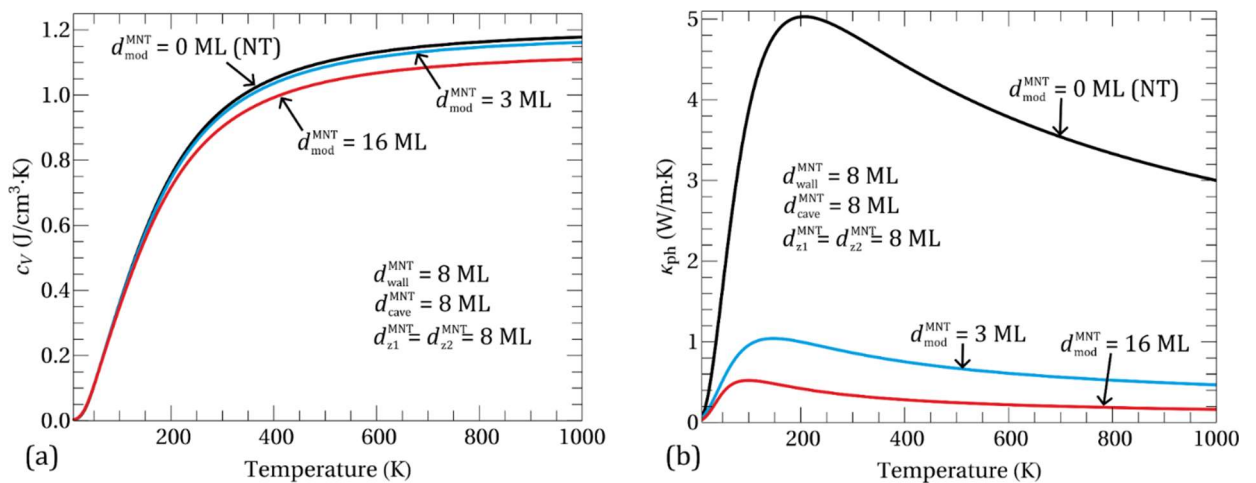


Figura 5.7. Dependența de temperatură a capacității termice și a conductibilității termice de rețea în nanotuburile de siliciu cu secțiune transversală variabilă și constantă.

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

- Impactul științific principal al rezultatelor obținute este legat de obținerea cunoștințelor fundamentale noi despre procesele electronice, fononice, termice și termoelectrice în

materialele nanostructurate studiate: $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Zn}$ și $\text{In}_2\text{O}_3:(\text{Pb},\text{Tl})$ și în peliculele subțiri din sistemul $\text{ZnO}-\text{In}_2\text{O}_3$, SnS , SnSe , $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{O}_3$ și $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$, în nonofirele și nanotuburile din Si cu secțiunea transversală variabilă;

- Impactul economic al proiectului este legat de aplicarea posibilă a rezultatelor obținute pentru îmbunătățirea parametrilor de lucru ai dispozitivelor electronice;
- Rezultatele obținute vor fi de asemenea utilizate la actualizarea cursurilor, ținute de participanții proiectului în cadrul Facultății de Fizică și Inginerie a Universității de Stat din Moldova, lucru care la rândul său va contribui la ridicarea nivelului de pregătire al generațiilor noi de fizicieni din Republica Moldova.

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

Au fost efectuate colaborări științifice cu următoarele echipe de cercetători:

- echipa de cercetători condusă de dr. S. Vatavu (USM) (efectuarea analizei AFM și XRD a peliculelor subțiri $\text{ZnO}-\text{In}_2\text{O}_3$);
- echipa de cercetători de la *Centrul Național pentru Studiul și Testarea Materialelor* (UTM) (efectuarea analizei SEM și EDX a materialelor nanostructurate în bază de SnS , SnS_2 , Bi_2Te_3 , $\text{In}-\text{Ga}-\text{Sn}-\text{O}$, $\text{Zn}-\text{Mg}-\text{O}$);
- echipa de cercetători condusă de Prof. A.A. Balandin de la *Universitatea din California – Los-Angeles* (SUA) (cercetări comune a proprietăților fononice în nanostructuri);
- echipa de cercetători condusă de Prof. K. Rogacki de la *Institute of Low Temperatures and Structural Research*, Wrocław, Polonia: efectuarea studiilor complexe privind structurile de dimensionalitate redusă în baza materialelor Bi_2Te_3 și BiSb ;
- echipa de cercetători condusă de Prof. T.E. Huber de la *Universitatea „Howard”* (SUA) (cercetări comune a nanofirelor de Bi și aleajelor Bi-Sb).

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

Nu sunt.

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 nanostructurate avansate pentru aplicații termoelectrice și senzori
cu cifrul 20.80009.5007.02**

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

9.2. Capitole în monografiile naționale/internaționale - 25

1. KOROTCENKOV, G., AHMAD, R.G., GULERIA, P., KUMAR, V. Introduction to biosensing. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 3: Sensors, biosensors and radiation detectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 441-474. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24000-3_17
2. AMIN, F., IQBAL, Y., KOROTCENKOV, G. Luminescence and fluorescence ion sensing luminescence and fluorescence ion sensing. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 3: Sensors, biosensors and*

- radiation detectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 361-391. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24000-3_14
3. KOROTCENKOV, G., IVANOV, M., BRINZARI, V. II–VI semiconductor-based humidity sensors. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 3: Sensors, biosensors and radiation detectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 281-303. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24000-3_11
 4. KOROTCENKOV, G., BRINZARI, V. Introduction in gas sensing. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 3: Sensors, biosensors and radiation detectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 161-175. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24000-3_6
 5. KOROTCENKOV, G., VATAVU, S. Medical applications of II-VI semiconductor-based radiation detectors. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 3: Sensors, biosensors and radiation detectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 137-157. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24000-3_5
 6. KOROTCENKOV, G., IVANOV, M. ZnS-based neutron and alpha radiation detectors. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 3: Sensors, biosensors and radiation detectors Photodetectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 75-108. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24000-3_3
 7. MOSTAQUE, S.K., KUDDUS, A., RAHMAN, F., KOROTCENKOV, G., HOSAIN, J. Solution-processed photodetectors. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 2: Photodetectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 427-452. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20510-1_18
 8. ABDULLAH, M., AL-NASHY, B.O., KOROTCENKOV, G., AL-KHURSAN, A.H. QDs of wide band gap II–VI semiconductors luminescent properties and photodetector applications. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 2: Photodetectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 399-425. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20510-1_17
 9. KOROTCENKOV, G., SYSOEV, V.V. Nanowire-based photodetectors for visible-UV spectral region. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 2: Photodetectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 371-398 https://doi.org/10.1007/978-3-031-20510-1_16
 10. KOROTCENKOV, G., SEMIKINA, T. Photodetectors based on II-VI multicomponent alloys. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 2: Photodetectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 349-367. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20510-1_15
 11. KOROTCENKOV, G. ZnSe-based photodetectors. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 2: Photodetectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 301-332. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20510-1_13
 12. KOROTCENKOV, G., PRONIN, I. New trends and approaches in the development of photonic IR detector technology. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 2: Photodetectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 107-133. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20510-1_5
 13. KOROTCENKOV, G. IR detectors array. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 2: Photodetectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 79-106. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20510-1_4

14. KOROTCENKOV, G. Introduction in IR detectors, pp. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 2: Photodetectors*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 3-22. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20510-1_1
15. KOROTCENKOV, G. II-VI wide-bandgap semiconductor device technology: post-deposition treatments. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 551-578. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_19
16. KOROTCENKOV, G. II-VI wide-bandgap semiconductor device technology: stability and oxidation. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 517-550. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_18
17. KOROTCENKOV, G., SIMONENKO, N.P., FEDOROV, F.S., SYSOEV, V.V. II-VI wide-bandgap semiconductor device technology: Schottky barrier, ohmic contacts, and heterostructures. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 491-516. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_17
18. KOROTCENKOV, G. II-VI wide-bandgap semiconductor device technology: deposition, doping, and etching. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 465-490. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_16
19. AMIN, F., ALL, Z., KOROTCENKOV, G. II-VI quantum dots and their surface functionalization. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 385-423. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_14
20. OKREPKA, G., TYNKEVYCH, O., DOSKALIUK, N., KOROTCENKOV, G., KHALAVKA, Y. CdTe-based nanoparticles synthesized in solutions. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 359-383. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_13
21. KOROTCENKOV, G., PRONIN, I.A. Synthesis of II-VI semiconductor nanocrystals. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 277-323. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_11
22. MARKOV, V.F., KOROTCENKOV, G., MASKAEVA, L.N. Thin films of wide band gap II-VI semiconductor compounds: features of preparation. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 233-275. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_10
23. KOROTCENKOV, G., VATAVU, S. Features of single-crystal growth of CdTe and $Cd_{1-x}Zn_xTe$ compounds designed for radiation detectors. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 215-232. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_9
24. KOROTCENKOV, G., NIKA, D.L. Hg-based narrow band gap II-VI semiconductors. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors*.

Vol. 1: Materials and Technologies. Springer, Switzerland, 2023, pp. 67-86.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_3

25. KOROTCENKOV, G. Cd- and Zn-based wide band gap II-VI semiconductors. In: G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, pp. 21-65.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0_2

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

- Book editor - 3

1. G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 3: Sensors, Biosensors and Radiation Detectors*. Springer, Switzerland, 2023, 705 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-24000-3>
2. G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 2: Photodetectors*. Springer, Switzerland, 2023, 524 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-20510-1>
3. G. Korotcenkov (ed.) *Handbook of II-VI Semiconductor-based Sensors and Radiation Detectors. Vol. 1: Materials and Technologies*. Springer, Switzerland, 2023, 599 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-19531-0>

9.4. Articole în reviste științifice - 7

9.4.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS (cu indicarea factorului de impact IF) – 6

1. COCEMASOV, A., BRINZARI, V., NIKA D.L. Rattling-induced suppression of thermal transport in cubic In₂O₃ with Sn-Ga diatomic defect. In: *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2023, vol. 35, p. 195701. DOI 10.1088/1361-648X/acbe87 (IF=2.7)
2. PRONIN, I.A., SIGAEV, A.P., KOMOLOV, A.S., ZHIZHIN, E.V., KARMANOV, A.A., YAKUSHOVA, N.D., KYASHKIN, V.M., NISCHEV, K.N., SYSOEV, V.V., GOEL, S., AMREEN, K., RAMYA, K., KOROTCENKOV, G. Effect of plasma treatment on the surface and photocatalytic properties of nanostructured SnO₂-SiO₂ films. *Materials* (MDPI) 2023, 16, 5030. <https://doi.org/10.3390/ma16145030> (IF= 3.4)
3. KOROTCENKOV G., SIMONENKO, N.P., SIMONENKO, E.P., SYSOEV, V.V., BRINZARI, V. Paper-based humidity sensors as promising flexible devices: State of the art. Part 2: Humidity sensors performances. *Nanomaterials* 2023, 13(8), 1381. <https://doi.org/10.3390/nano13081381> (IF= 5.3)
4. KOROTCENKOV G., Paper-based humidity sensors as promising flexible devices: State of the art. Part 1: General consideration. *Nanomaterials* 2023, 13, 1110 <https://doi.org/10.3390/nano13061110> (IF= 5.3)
5. SIMONENKO, E.P., SIMONENKO, N.P., MOKRUSHIN, A.S., SIMONENKO, T.L., GOROBTSOV, P.YU., NAGORNOV, I.A., KOROTCENKOV, G., SYSOEV, V.V., KUZNETSOV, N.T. Application of titanium carbide MXenes in chemiresistive gas sensors. *Nanomaterials* 2023, 13 (5), 850. <https://doi.org/10.3390/nano13050850> (IF= 5.3)
6. KOROTCENKOV, G., TOLSTOY, V.P., Current trends in nanomaterials for metal oxide-based conductometric gas sensors: advantages and limitations. Part 2: Porous 2D Nanostructures. *Nanomaterials* 2023, 13, 237. <https://doi.org/10.3390/nano13020237> (IF = 5.3)

9.4.2. în alte reviste din străinătate recunoscute

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

9.4.4. în alte reviste naționale

9.5. Articole în culegeri științifice naționale/internaționale - 7

9.5.1. culegeri de lucrări științifice editate peste hotare - 7

1. MORARI, V., ZALAMAI, V., RUSU, E., URSAKI, V., COLPO, P., TIGINYANU, I. Study of $(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)_2\text{O}_3$ thin films produced by aerosol deposition method. In: *International Conference (ATOM-N) Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies XI*, Proc. of SPIE, Vol. 12493, p. 124931C, 2 March, (2023). <https://doi.org/10.1117/12.2642127>.
2. KONOPKO, L., NIKOLAEVA, A., HUBER T. Quantum interference and surface states in Bi and $\text{Bi}_{0.83}\text{Sb}_{0.17}$ nanowires. In: *International Conference (ATOM-N) Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies XI*, Proc. of SPIE, Vol. 12493, p. 124931D, 2 March, (2023). <https://doi.org/10.1117/12.2643011>
3. NIKOLAEVA, A., KONOPKO, L., HUBER, T., POPOV, I., PARA, G. Surface states and size effects in semiconductor wires of $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ topological insulators. In: *International Conference (ATOM-N) Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies XI*, Proc. of SPIE, Vol. 12493, p. 124931F, 2 March, (2023). <https://doi.org/10.1117/12.2643275>
4. MORARI, V., RUSU, D., RUSU, E., URSAKI, V., TIGINYANU I. Characterization of films prepared by aerosol spray deposition in the $(\text{MgO})_x(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}$ system. In: *6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering*. Ediția 6. Chișinău 2023. IFMBE Proceedings, vol. 91. pp. 52-59. ISSN 16800737. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42775-6_6
5. KONOPKO, L., NIKOLAEVA, A., HUBER, T. Quantum oscillations in topological insulator $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ microwires contacted with superconducting In2Bi leads. In: *6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering*. Ediția 6. Chișinău 2023. IFMBE Proceedings, vol. 91 pp. 293-302. ISSN 16800737. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42775-6_33
6. KONOPKO, L., RUSU, E., NIKOLAEVA, A., MORARI, V., POPOV, I., COROMISLICHENCO, T., SMYSLOV, V., NIKA, D., and HUBER, T. Thermoelectric Properties of Ag-doped SnSe Microwires and Layers. In: *International Semiconductor Conference (CAS), an IEEE event*, October 11-13, 2023, Sinaia, Romania. CAS 2023 Proceedings, ISBN: 979-8-3503-2395-5, pp. 255-258, <https://doi.org/10.1109/CAS59036.2023.10303710>
7. NICOLAEVA, A., KONOPKO, L., HUBER, T., GHERGHIȘAN, I., PARA, G., NIKA, D., COROMISLICHENCO, T. Topological insulators based on layers and foils for thermoelectric microcooling devices. In: *International Semiconductor Conference (CAS), an IEEE event*, October 11-13, 2023, Sinaia, Romania. CAS 2023 Proceedings, ISBN: 979-8-3503-2395-5, pp. 263-266, <https://doi.org/10.1109/CAS59036.2023.10303669>

9.5.2. culegeri de lucrări științifice editate în Republica Moldova

9.6. Articole în materiale ale conferințelor științifice

9.6.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

9.6.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

9.6.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

9.6.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

9.7. Teze ale conferințelor științifice - 8

9.7.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare) - 5

1. 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.
2. MORARI, V. Preparation and characterization of $Zn_{1-x}Mg_xO$ thin films obtained by the aerosol deposition method for UV radiation detector. In: *DPG-Frühjahrstagung (DPG Spring Meeting) of the Condensed Matter Section (SKM)*, 26 – 31 March 2023, Technische Universität Dresden, Germany, Thin films division, Poster - DS 12:53, P3, p. 211. ISSN 2751-0522.
3. KONOPKO, L., RUSU, E., NIKOLAEVA, A., MORARI, V., POPOV, I., COROMISLICHENCO, T., SMYSLOV, V., NIKA, D., HUBER, T. Thermoelectric properties of Ag-doped SnSe microwires and layers. In: *International Semiconductor Conference (CAS), an IEEE event*, October 11-13, 2023, Sinaia, Romania. Poster Session 4: Nanoscience & Nanoengineering, Paper ID 8017. https://epapers2.org/cas2023/ESR/paper_details.php?paper_id=8017
4. NIKOLAEVA, A., KONOPKO, L., HUBER, T., GHERGHISAN, I., PARA, G., NIKA, D., COROMISLICHENCO, T. Topological insulators based on layers and foils for thermoelectric microcooling devices. In: *International Semiconductor Conference (CAS), an IEEE event*, October 11-13, 2023, Sinaia, Romania. Poster Session 4: Nanoscience & Nanoengineering, Paper ID 8032. https://epapers2.org/cas2023/ESR/paper_details.php?paper_id=8032
5. 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.

9.7.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova) - 3

1. MORARI, V., RUSU, D., RUSU, E., URSAKI, V., TIGINYANU I. Characterization of films prepared by aerosol spray deposition in the $(MgO)_x(In_2O_3)_{1-x}$ system. In: *The 6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering*. September ICNBME 2023 – 20-23, Chisinau, Republic of Moldova. Abstract Book, p. 64, oral presentation.
2. KONOPKO, L., NIKOLAEVA, A., HUBER, T. Quantum oscillations in topological insulator Bi_2Te_2Se microwires contacted with superconducting In_2Bi leads. In *The 6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering*. ICNBME 2023, September 20-23, Chisinau, Republic of Moldova. Abstract Book, p. 63, oral presentation.
3. TUTOVAN, E., ISAC-GUȚUL, T. Photodegradation of doxycycline by advanced oxidation processes (aop) in water solutions. In: *Book of abstracts.(ADMATEH-2023), 21 septembrie, 2023, Chisinau, R. Moldova*, p. 26. ISBN 978-9975-62-559-3 (PDF). Disponibil: <https://ichem.md/en/scientific-seminar-ADMATEH>.

- 9.7.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională
- 9.7.4. în lucrările conferințelor științifice naționale
- 9.8. Alte lucrări științifice (recomandate spre editare de o instituție acreditată în domeniu)
 - 9.8.1. cărți (cu caracter informativ)
 - 9.8.2. enciclopedii, dicționare
 - 9.8.3. atlase, hărți, albume, cataloage, tabele etc. (ca produse ale cercetării științifice)
- 9.9. Brevete de invenții și alte obiecte de proprietate intelectuală, materiale la saloanele de invenții

Brevete de invenții:- 1

1. Brevet de scurtă durată MD 1680 Y 2023.03.31. KONOPKO Leonid, MD, NIKOLAEVA Albina, MD, PARA Gheorghe, MD. Procedeu de recreștalizare a microfirului pe baza de bismut în izolație de sticlă.

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

- Emisiuni radio/TV de popularizare a științei
- Nica Denis / Te salută Vocea Basarabiei cu Mihaela & Andrei / Știința în Republica Moldova și clasamentul mondial „Top 2%” al celor mai renumiți savanți;
- Nica Denis / Emisiunea Acasă / Știința în Republica Moldova și clasamentul mondial „Top 2%” al celor mai renumiți savanți;
- Nica Denis / Tele Matinal, TVR Moldova / Știința în Republica Moldova și clasamentul mondial „Top 2%” al celor mai renumiți savanți.

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

13. Concluzii

În cadrul etapei a patra a proiectului 20:80009.5007.02 „Materiale nanostructurate avansate pentru aplicații termoelectrice și senzori”, a fost continuată cercetarea proprietăților structurale, electronice, fononice și termice ale (1) oxizilor In_2O_3 dopați cu Zn, Pb și Tl, (2) peliculelor $ZnO-In_2O_3$, $Zn_xMg_{1-x}O$, $(Ga_xIn_{1-x})_2O_3$ și SnS, (3) straturilor și microfiredelor de SnSe dopat cu Ag și (4) nanofiredelor și nanotuburilor de siliciu. Echipa de cercetare a proiectului a îndeplinit în totalitate obiectivele proiectului preconizate pentru anul 2023.

Pe baza rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului în anul 2023 au fost publicate **46** lucrări științifice, inclusiv **25** capitole în monografiile internaționale, **6** articole în reviste cu factor de impact ISI, **7** articole în culegeri științifice internaționale și **8** teze la lucrările conferințelor științifice internaționale și naționale. A fost obținut **1** brevet de invenție.

Conducătorul de proiect **NICA Denis**



semnătura

Data: 10.01.2024

LȘ

Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2023

Materiale nanostructurate avansate pentru aplicații termoelectrice și senzori

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.02

În cadrul etapei a patra a proiectului 20.80009.5007.02 „*Materiale nanostructurate avansate pentru aplicații termoelectrice și senzori*”, a fost continuată cercetarea proprietăților structurale, electronice, fononice și termice ale (1) oxizilor In_2O_3 dopați cu Zn, Pb și Tl, (2) peliculelor $\text{ZnO-In}_2\text{O}_3$, $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$, $(\text{Ga}_x\text{In}_{1-x})_2\text{O}_3$ și SnS, (3) straturilor și microfiredor de SnSe dopat cu Ag și (4) nanofiredor și nanotuburilor de siliciu.

A fost demonstrat teoretic, că:

1. Formarea defectelor monoatomare Zn_b sau biatomare $\text{Pb}_b\text{-Tl}_i$ în rețeaua cristalină a In_2O_3 provoacă atât modificarea substanțială a spectrelor electronice și fononice, cât și micșorarea eficientă a conductibilității termice fononice;
2. Modularea secțiunii transversale a nanotuburilor de siliciu influențează slab capacitatea termică, însă micșorează substanțial conductibilitatea termică de rețea – de 5 – 10 ori în dependență de temperatură și de valoarea modulației secțiunii transversale.

Au fost confecționați fotoreceptori de radiație ultravioletă în baza filmelor oxidice $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ și a fost stabilit mecanismul de sensibilitate și timpul de reacție a acestor fotoreceptori. Au fost elaborate procedee tehnologice de formare a tranzistorilor cu efect de câmp în baza structurilor de SnS și au fost studiate caracteristicile de frecvență ale lor.

Au fost studiate proprietățile termoelectrice ale straturilor monocristaline și ale microfiredor policristaline în înveliș de sticlă în bază de SnSe dopat cu Ag, în intervalul de temperaturi 90 K – 300 K. Monocristalele $\text{SnSeAg}_{0.01}$ sunt crescute prin metoda verticală Bridgman din topitură stoichiometrică. Stratul monocristalin cu grosimea de 35 μm a fost format prin metoda de exfoliere la o temperatură joasă. Microfiredor policristaline în înveliș de sticlă cu diferite diametre, cuprinse în intervalul 40 – 140 μm , sunt preparate prin metoda Ulitovsky. Forța electromotoare a probelor investigate (microfiredor și straturi) la 300 K constituie 190 – 210 $\mu\text{V/K}$. Factorul de putere al tuturor probelor la temperatura camerei are o valoare de 15 – 18 $\mu\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-2}$, care scade monoton odată cu scăderea temperaturii. Conform puterii termoelectrice măsurate, toate probele prezintă conductivitate de tip n .

Au fost confecționate mostre de laborator ale senzorului anizotrop planar de flux termic în baza filmelor de Bi, depuse pe suport de mică. Filme policristaline de Bi cu grosimea de 2 μm – 5 μm au fost depuse prin metoda de evaporare termică a Bi în vid și au fost recristalizate pentru obținerea filmelor monocristaline cu orientarea predeterminată a axei cristalografice C_3 .

Pe baza rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului în anul 2023 au fost publicate **46** lucrări științifice, inclusiv **25** capitole în monografiile internaționale, **6** articole în reviste cu factor de impact ISI, **7** articole în culegeri științifice internaționale și **8** teze la lucrările conferințelor științifice internaționale și naționale. Au fost obținute **1** brevet de invenție.

Within the fourth stage of the project **20.80009.5007.02** “*Advanced nanostructured materials for thermoelectric and sensor applications*”, it was continued study of the structural, electronic,

phononic and thermal properties of (1) In_2O_3 oxides doped by Zn, Pb and Tl, (2) of $\text{ZnO-In}_2\text{O}_3$, $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$, $(\text{Ga}_x\text{In}_{1-x})_2\text{O}_3$ and SnS thin films, (3) of SnSe thin films and microwires doped by Ag and (4) of Silicon nanowires and nanotubes.

It was demonstrated that:

- the formation of monoatomic Zn_b or biatomic $\text{Pb}_b\text{-Tl}_i$ defects in the crystal lattice of In_2O_3 results both in substantial modification of its electronic and phonon spectra and effective decrease of the phonon thermal conductivity;
- cross-section modulation weakly influences the heat capacity of Silicon nanotubes, but substantially decreases their lattice thermal conductivity: by 5-10 times depending on the temperature and the modulation thickness.

Ultraviolet radiation photoreceptors based on $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ oxide films were developed and the sensitivity mechanism and reaction time of these photoreceptors were determined. Technological protocols of SnS-based field-effect transistors (FETs) fabrication was described and frequency characteristics of SnS-based based FETs were studied.

The thermoelectric properties of Ag-doped SnSe single-crystal and polycrystalline microwires in glass coatings were studied in the temperature range 90 K - 300 K. $\text{SnSeAg}_{0.01}$ single crystals are grown by the vertical Bridgman method from stoichiometric melt. The 35 μm thick single crystal layer was formed by the exfoliation method at low temperature. The polycrystalline glass-encased microwires with different diameters in the range of 40 - 140 μm were prepared by the Ulitovsky method. The electromotive force of the investigated samples (microwires and layers) at 300 K constitutes 190 - 210 $\mu\text{V/K}$. The power factor of all samples at room temperature possesses a value of 15 - 18 $\mu\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-2}$ and decreases monotonically with temperature decrease. According to the measured thermoelectric strength, all samples demonstrate *n*-type conductivity.

Laboratory model of the planar anisotropic heat flow sensor based on Bi films deposited on mica support was developed. Polycrystalline Bi films with thickness of 2 μm - 5 μm were deposited on mica support by the thermal evaporation method and were recrystallized to obtain single crystal films with predetermined orientation of C_3 crystallographic axis.

The results of the project obtained in 2023 were published in **46** scientific works, including **25** book chapters, **6** research articles in peer-reviewed international journals with ISI impact factor, **7** research articles and **8** abstracts in conference proceedings/abstract book; 1 national patent was obtained.

Conducătorul de proiect NICA Denis

Data: 10.01.2024

LȘ



semnătura

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

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.02

UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA

| Cheltuieli, mii lei | | | | |
|--|----------|---------------|------------------|---------------|
| Denumirea | Cod | | Anul de gestiune | |
| | Eco (k6) | Aprobat | Modificat +/- | Precizat |
| Remunerarea muncii | 211180 | 1295,8 | | 1295,8 |
| Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii (24%) | 212100 | 311,0 | | 311,0 |
| Alte prestații sociale ale angajatorilor | 273900 | | +55,0 | 55,0 |
| TOTAL | | 1606,8 | +55,0 | 1661,8 |

INSTITUTUL DE INGINERIE ELECTRONICĂ ȘI NANOTEHNOLOGII „D.GHIȚU”

| Cheltuieli, mii lei | | | | |
|---|----------|---------------|------------------|---------------|
| Denumirea codurilor economice | Cod | | Anul de gestiune | |
| | Eco (k6) | Aprobat | Modificat +/- | Precizat |
| Remunerarea muncii angajaților conform statelor | 211180 | 1458,1 | | 1458,1 |
| Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii (24%) | 212100 | 349,9 | | 349,9 |
| Deplasări de serviciu peste hotare | 222720 | 30,6 | +0,2 | 30,8 |
| Servicii neatribuite altor aliniate | 222990 | 1,4 | -0,7 | 0,7 |
| Alte prestații sociale ale angajaților | 273900 | | +45,0 | 45,0 |
| Cheltuieli curente neatribuite la alte categorii | 281900 | 22,5 | +0,5 | 23,0 |
| Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri | 335110 | 1,4 | | 1,4 |
| Procurarea materiale de uz gospodăresc și rechizite de birou | 336110 | 2,0 | | 2,0 |
| TOTAL | | 1865,9 | 45,0 | 1910,9 |

Rectorul

ȘAROV Igor

Contabil șef

COJOCARIU Alina

Conducătorul de proiect

NICA Denis

Data: 10.01.2024

LȘ

Componența echipei conform contractului de finanțare 2023

Cifrul proiectului 20.80009.5007.02

| Echipei proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului) pentru 2023 | | | | | | |
|---|--|--------------------------|------------------------------|--|---------------------------|----------------------------|
| Nr | Nume, prenume (conform contractului de finanțare) | Anul nașterii | Titlul științific | Norma de muncă conform contractului | Data angajării | Data eliberării |
| UNIVERSITATE DE STAT DIN MOLDOVA | | | | | | |
| 1 | Nica Denis | 1979 | dr. hab. | 1 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 2 | Korotcenkov Ghenadii | 1949 | dr. hab. | 1 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 3 | Brinzari Vladimir | 1954 | dr. | 1 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 4 | Cocemasov Alexandr | 1987 | dr. | 1 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 5 | Cliucanov Alexandr | 1944 | dr. hab. | 0.5 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 6 | Zincenco Nadejda | 1982 | dr. | 0.5 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 7 | Vatavu Elmira | 1978 | dr. | 0.5 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 8 | Isacova Calina | 1983 | <i>fără grad</i> | 1 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 9 | Crîșmari Dmitrii | 1984 | <i>fără grad</i> | 0.25 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 10 | Taracanova Larisa | 1945 | <i>fără grad</i> | 0.5 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 11 | Gaiu Nicolai | 1964 | <i>fără grad</i> | 0.5 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 12 | Ivanov Mihail | 1948 | dr. | 0.5 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 13 | Ascherov Artur | 1982 | <i>fără grad</i> | 0.5 | 01.12.2023 | 31.12.2023 |
| 14 | Ciopcic Veaceslav | 1964 | dr. | 0.5 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 15 | Isac-Guțul Tatiana | 1977 | dr. | 0.5 | 01.02.2023 | 31.12.2023 |
| 16 | Crețu Raisa | 1959 | <i>fără grad</i> | 0.5 | 01.01.2023 | 31.12.2023 |
| 17 | Beldiga Maria | 1984 | dr. | 0.25 | 01.02.2023 | 31.12.2023 |
| 18 | Bradenco Irina | 1998 | <i>fără grad</i> | 0.5 | 01.03.2023 | 31.12.2023 |
| 19 | Carpov Emanuil | 1998 | <i>fără grad</i> | 0.25 | 01.03.2023 | 31.12.2023 |
| 20 | Vaneev Alexandr | 1998 | <i>fără grad</i> | 0.25 | 01.03.2023 | 31.12.2023 |
| INSTITUTUL DE INGINERIE ELECTRONICĂ ȘI NANOTEHNOLOGII „D.GHIȚU” | | | | | | |
| 21 | Konopko Leonid | 1949 | dr. | 1,00 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 22 | Rusu Emil | 1944 | dr. hab. | 1,00 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 23 | Ghimpu Lidia | 1961 | dr. | 0,50 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 24 | Curmei Nicolae | 1989 | dr. | 0,50 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 25 | Leporda Nicolae | 1951 | dr. | 0,50 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 26 | Cojocaru Victor | 1964 | dr. | 0,50 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 27 | Suman Victor | 1967 | <i>fără grad</i> | 1,00 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 28 | Morari Vadim | 1992 | <i>fără grad</i> | 1,50 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 29 | Nikolaeva Albina | 1941 | dr.hab. | 1,00 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 30 | Bodiul Pavel | 1938 | dr.hab. | 0,25 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 31 | Popov Ivan | 1960 | <i>fără grad</i> | 1,00 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 32 | Para Gheorghe | 1970 | dr. | 1,00 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 33 | Smăslov Vladimir | 1950 | <i>fără grad</i> | 0,50 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 34 | Pencala Victor | 1998 | <i>fără grad</i> | 0,50 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 35 | Slobodeniuc Constantin | 1957 | <i>fără grad</i> | 0,25 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |
| 36 | Ghergheșan Igor | 1972 | <i>fără grad</i> | 0,50 | 03.01.2023 | 31.12.2023 |

| | |
|---|------------------------------|
| Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform contractului de finanțare | 9 tineri (pina la 35) 25% |
|---|------------------------------|

Nu au existat modificări în componența echipei pe parcursul anului 2023

| | |
|---|------------------------------|
| Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor la data raportării | 9 tineri (pina la 35) 25% |
|---|------------------------------|

Rectorul

ȘAROV Igor



Contabil șef

COJOCARU Mariana

[Handwritten signature]

Conducătorul de proiect

NICA Denis

[Handwritten signature]

Data: 10.01.2024

LȘ

Informație suplimentară referitor la activitățile membrilor echipei în anul 2023

Redactor / membru al colegiilor de redacție al revistelor internaționale

- Nica Denis / Physics of the Solid States / Redactor-șef;
- Nica Denis / Applied Sciences (factor de impact (FI) = 2,679) / Membru al Colegiului de Redacție;
- Nica Denis / Frontiers in Thermal Engineering / Redactor;
- Brînzari, Vladimir / Journal Applied Surface Science Advances / membru al Colegiului de Redacție;
- Korotcenkov, Ghenadii / Sensors / membru al Colegiului de Redacție;
- Korotcenkov, Ghenadii / Universal Journal of Lasers, Optics, Photonics and Sensors (UJLOPS) / membru al Colegiului de Redacție;
- Korotcenkov, Ghenadii / Nanomaterials / membru al Colegiului de Redacție;
- Korotcenkov, Ghenadii / Current Chinese Chemistry / membru al Colegiului de Redacție;
- Korotcenkov, Ghenadii / Surface Engineering and Applied Electrochemistry / membru al Colegiului de Redacție;

Redactor / membru al colegiilor de redacție al revistelor naționale

- Nica, Denis / Moldavian Journal of Physical Sciences / membru al Colegiului de Redacție;
- Rusu, Emil / Moldavian Journal of Physical Sciences / membru al Colegiului de Redacție.

Aprecierea și recunoașterea rezultatelor obținute în proiect

- **Diplome primite în saloanele de invenții - 5**
1. KONOPKO, L.; NIKOLAEVA, A.; PARA, G. Procedeu de recristalizare a microfirului pe bază de bismut în izolație de sticlă. **Diplomă medalia de aur**, Expoziția Internațională Specializată „INFOINVENT 2023” 22-24 noiembrie 2023, Chisinau, Moldova. <https://infoinvent.md/assets/files/catalog/catalog-2023.pdf>
 2. MONAICO, E., URSAKI, V., MORARI, V., TIGHINEANU, I. Procedeu de obținere a nanostructurilor magnetice. **Diplomă medalia de aur**, PRO INVENT – ediția XXI, Cluj-Napoca, ROMANIA, 25-27 Octombrie, (2023).
 3. MONAICO, E., URSAKI, V., MORARI, V., TIGHINEANU, I. Process for fabrication of magnetic nanostructures. **Diploma of golden medal of Innovation and Creative Education Fair for Youth (ICE-USV) - VIIth Edition**, Suceava, ROMANIA, July, 07 - 09, (2023). http://cris.utm.md/bitstream/5014/1748/1/ICE-USV_2023_Gold_Monaico%20E..pdf
 4. MONAICO, E., URSAKI, V., MORARI, V., TIGHINEANU, I. Process for fabrication of magnetic nanostructures. **Diploma of golden medal of The 15th European Exhibition of Creativity and Innovation „EUROINVENT”**, Iasi, Romania, May 13, (2023). http://cris.utm.md/bitstream/5014/1692/1/Euroinvent_2023_Gold_Monaico%20E..pdf

5. KOROTCENKOV, G. Handbook of II-VI semiconductor-based sensors and radiation detectors. Vol. 2: Photodetectors. *Diploma of silver medal of The 15th European Exhibition of Creativity and Innovation „EUROINVENT”*, Iasi, Romania, May 13, (2023).
- **Korotcenkov Ghenadii și Nica Denis** au fost incluși în clasamentul mondial „Top 2%” al celor mai renumiți savanți (conform Stanford University, USA);
 - **Nica Denis** - „*Premiul Național Negruzzi - 200*”, ediția 2023, Iași, România.