

**RECEPȚIONAT**

Agenția Națională pentru Cercetare  
și Dezvoltare \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2022

**AVIZAT**

Secția AȘM \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2022

## **RAPORT ȘTIINȚIFIC ANUAL 2022**

**privind implementarea proiectului din cadrul Programului de Stat (2020-2023)**

### **MATERIALE NANOSTRUCTURATE AVANSATE PENTRU APLICAȚII TERMoeLECTRICE ȘI SENZORI**


20.80009.5007.02

Prioritatea Strategică

V. Competitivitate economică și tehnologii inovative

Rectorul Universității de  
Stat din Moldova

ȘAROV Igor  
(numele, prenumele)

  
(semnătura)

Președintele Senatului

ȘAROV Igor  
(numele, prenumele)

  
(semnătura)

Conducătorul proiectului

NICA Denis  
(numele, prenumele)

  
(semnătura)



Chișinău 2022

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

Optimizarea parametrilor structurali și electrofizici ai materialelor nanostructurate pentru elaborarea convertoarelor termoelectrice și senzorilor în baza calcogenurilor de Sn, Bi și oxizilor In-Ga-Sn-O.

## 2. Obiectivele etapei anuale

1. Cercetarea teoretică a proprietăților electronice, fononice și termice ale oxizilor metalici în sistemul In-Sn-Ga-O.
2. Cercetarea teoretică a conductibilității termice în nanotuburi de Si cu secțiunea transversală variabilă.
3. Cercetarea experimentală a proprietăților structurale ale peliculelor din oxizi metalici în sistemul In-Sn-Ga-O, obținute în diferite condiții de depunere.
4. Elaborarea procedeele tehnologice de obținere a filmelor oxidice în sistemele  $Zn_{1-x}Mg_xO$  și  $In_{2x}Ga_{2(1-x)}O_3$  și caracterizarea lor prin metode optice.
5. Caracterizarea morfologiei nanofirelor de  $SnO_2$  și a structurilor miez inveliș  $SnO_2/NiO$ . Studierea proprietăților senzoriale ale structurilor  $ZnO/TiO_2:Nb$ .
6. Elaborarea tehnologiilor de recristalizarea a filmelor Bi-Sn în câmp electric puternic pentru obținerea filmelor monocristaline cu orientarea axei cristalografice predefinite  $C_3$ .

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

1. Modelarea și studierea teoretică a spectrelor energetice ale electronilor și fononilor, a timpurilor de relaxare ale fononilor și a conductibilității termice în oxizii In-Sn-Ga-O.
2. Modelarea și studierea teoretică a modelelor fononice, a timpului de relaxare a fononilor și a transportului termic în nanotuburile de Si cu secțiunea transversală variabilă.
3. Studierea structurii și morfologiei peliculelor din sistemul In-Sn-Ga-O în dependență de condițiile tehnologice de depunere a lor, utilizând metodele AFM (microscopiei atomice de forță) și XRD (difracției cu raze X).
4. Studierea modificării structurii și morfologiei peliculelor din sistemul In-Sn-Ga-O în dependență de condițiile termice de tratare a lor, utilizând metodele AFM și XRD.
5. Efectuarea proceselor tehnologice de obținere a monocristalelor de materiale semiconductoare SnS prin reacții chimice de transport din faza de vapori și depunere magnetron în scopul obținerii filmelor nanometrice de SnS.
6. Obținerea filmelor de oxizi în sistemul  $In_{2x}Ga_{2(1-x)}O_3$  pentru  $x=0-0,8$ ; obținerea filmelor  $Zn-Mg-O$  și a structurilor de dispozitiv în baza lor.
7. Optimizarea parametrilor fizici pentru structura  $SnO_2/NiO$  și  $ZnO/TiO_2:Nb$ .
8. Confecționarea dispozitivului de formare a structurii în baza filmelor de Bi-Sn pe suport de mică pentru detectoare de flux termic prin recristalizarea filmelor în scopul modificării axei cristalografice  $C_3$ .

#### 4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor etapei anuale

1. În cadrul teoriei funcționalului densității stărilor au fost calculate și cercetate proprietățile electronice și fononice ale oxizilor In-Sn-Ga-O cu defecte diatomice  $\text{Sn}_b\text{-Ga}_i$ .
2. A fost modelată conductibilitatea termică fononică a oxizilor In-Sn-Ga-O în cadrul ecuației cinetice linearizate Boltzmann.
3. Au fost modelate procesele termice fononice în nanotuburile de siliciu cu secțiunea transversală variabilă, utilizând modelul Born-von Karman și ecuația cinetică linearizată Boltzmann.
4. Prin metoda pulverizării magnetronice au fost obținute pelicule submicronice din sistemul In-Sn-Ga-O ( $\text{ITO-Ga}_2\text{O}_3$ ), având un conținut diferit de Ga, fiind depuse pe diferite substraturi (Si,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – safir, sticlă) și a fost efectuată caracterizarea structurală a lor prin metodele XRD și AFM.
5. A fost efectuată tratarea la temperaturi înalte a peliculelor indicate în punctul (4) (de până la  $900^\circ\text{C}$  în cazul peliculelor depuse pe safir), apoi a fost realizată caracterizarea structurală repetată a lor.
6. În baza filmelor de SnS a fost elaborat procedeul de confecționare și studiate caracteristicile tranzistorilor cu efect de câmp (FET).
7. A fost obținute filme de oxizi în sistemul  $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{O}_3$  pentru  $x=0-0,8$ , a filmelor Zn-Mg-O și a structurilor de dispozitiv în baza lor.
8. Au fost optimizți parametrii procesului de obținere a firelor de  $\text{SnO}_2$ , parametrii fizici ai RF magnetron ale structurilor  $\text{SnO}_2/\text{NiO}$  și  $\text{ZnO}/\text{TiO}_2:\text{Nb}$  pentru senzori de gaze.
9. A fost confecționat dispozitivul de formare a structurii în baza filmelor de Bi-Sn pe suport de mică pentru detectoare de flux termic prin recristalizarea filmelor în scopul modificării axei cristalografice  $C_3$ .

## 5. Rezultatele obținute

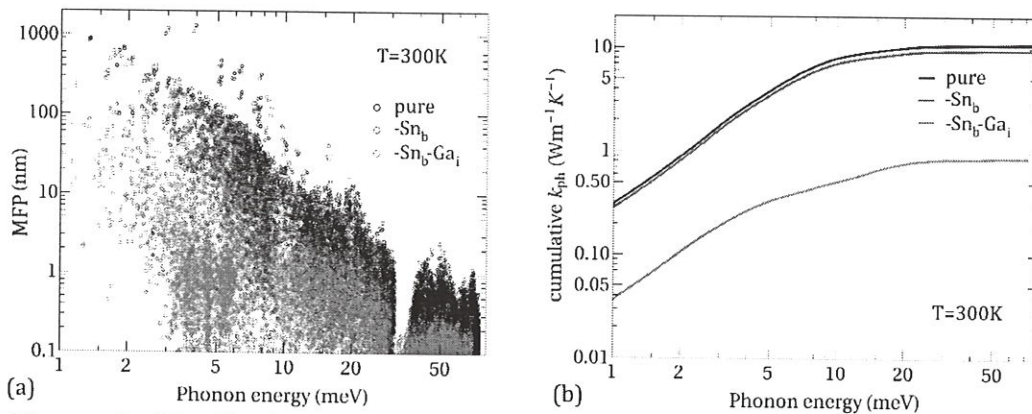
### 5.1. Proprietățile electronice, fononice și termice ale oxizilor In-Sn-Ga-O:

În cadrul teoriei funcționalului densității stărilor (DFT) au fost cercetate *ab initio* proprietățile electronice și fononice ale oxidului de indiu-staniu (ITO) cu defectele diatomice  $\text{Sn}_b\text{-Ga}_i$ .

ITO a fost modelat pe baza celulei primitive a  $\text{In}_2\text{O}_3$  de tip bixbyit cu 40 de atomi prin înlocuirea unui atom de In în nodul  $b$  al rețelei cu un atom de Sn, care corespunde nivelului de dopare 6.25 % at. de Sn. Adăugarea în rețeaua ITO a unui atom de Ga într-un internod din imediata vecinătate a unui atom de Sn a dus la formarea unei structuri asemănătoare celulei („cage”) pentru defectul punctiform  $\text{Sn}_b\text{-Ga}_i$ .

Calcululele efectuate au demonstrat, că atât stările fononice, cât și cele electronice, se modifică mult în cazul prezenței defectului. Subbenzile electronice  $\text{CB}_0$ ,  $\text{CB}_1$  și  $\text{CB}_2$  apar în  $\text{In}_2\text{O}_3$  cu  $\text{Sn}_b\text{-Ga}_i$ , iar două subbenzi inferioare dintre ele ( $\text{CB}_1$  și  $\text{CB}_2$ ) sunt complet ocupate.

Pentru a obține o perspectivă a proprietăților termice ale  $\text{In}_2\text{O}_3$  cu  $\text{Sn}_b\text{-Ga}_i$ , am calculat conductibilitatea termică fononică  $\kappa_{ph}$  în cadrul ecuației cinetice linearizate Boltzmann (BTE), luând în considerație toate canalele posibile de împrăștiere trei-fononice. În Figura 1 sunt arătate lungimile parcursului liber mediu a fononilor (MFP) la temperatura camerei (Figura 1(a)) și  $\kappa_{ph}$  cumulativ (Figura 1(b)) în  $\text{In}_2\text{O}_3$  fără defecte (negru), cu defectul punctiform  $\text{Sn}_b$  (roșu) și defectul punctiform  $\text{Sn}_b\text{-Ga}_i$  (albastru).



**Figura 1.** Distribuția energetică a: (a) lungimilor parcursului liber mediu a fononilor și (b) conductibilității termice cumulative fononice la 300 K în  $\text{In}_2\text{O}_3$  fără defecte (negru), cu defectul  $\text{Sn}_b$  (roșu) și defectul  $\text{Sn}_b\text{-Ga}_i$  (albastru).

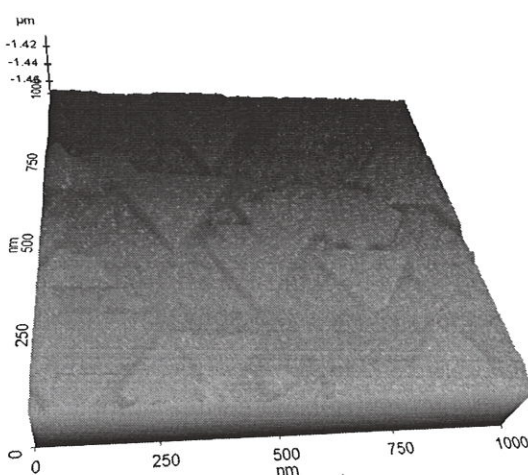
Se poate observa, că pentru întreaga gamă de energii atât MFP, cât și conductibilitatea termică în  $\text{In}_2\text{O}_3$  cu  $\text{Sn}_b\text{-Ga}_i$  este de la 5 până la 20 de ori mai mică la 300 K decât în  $\text{In}_2\text{O}_3$  pur sau  $\text{In}_2\text{O}_3$  cu doar defectul  $\text{Sn}_b$ . Aceasta implică faptul, că modurile vibraționale de tip „rattling” ale atomilor de Sn și Ga induc suprimarea transportului termic nu numai în partea de frecvențe joase a spectrului, dominată de atomii de In, cât și în partea de frecvențe înalte, dominată de atomii de oxigen.

Modelarea teoretică în cadrul abordărilor DFT și BTE, luând în considerație toate canalele posibile de împrăștiere cu trei fononi, a demonstrat că vibrațiile de tip „rattling” au un impact puternic asupra capacității de transport de căldură a  $\text{In}_2\text{O}_3$  cu defectul punctiform  $\text{Sn}_b\text{-Ga}_i$ , cu o suprimare de ~20 de ori a conductibilității termice fononice la temperatura camerei în comparație cu  $\text{In}_2\text{O}_3$  sau ITO pur. Rezultatele teoretice obținute demonstrează posibilitatea ingineriei conductibilității termice în compușii pe bază de oxid de indiu prin dopaj cu Ga și pot duce la aplicații practice ale acestora în termoelectricitate.

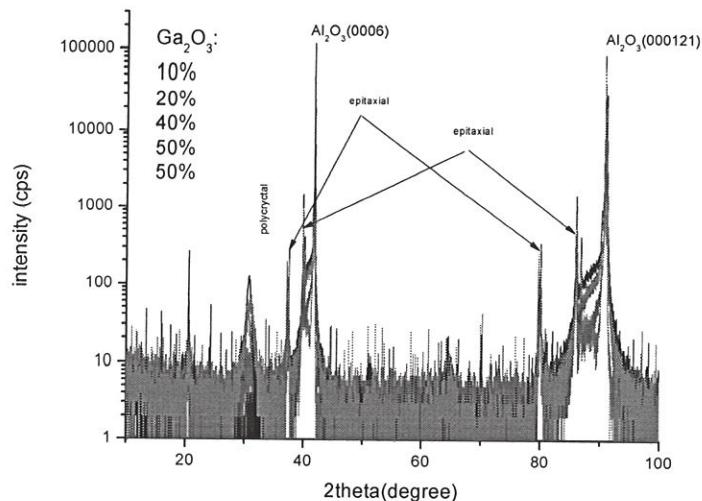
## 5.2. Proprietățile structurale ale peliculelor din oxizi metalici în sistemul In-Sn-Ga-O, obținute în diferite condiții de depunere.

Peliculele din sistemul In-Sn-Ga-O au fost obținute prin metoda pulverizării magnetronice (PM), fiind depuse pe substraturi de Si, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – safir și sticlă. Pentru aceste pelicule raportul concentrațiilor de Sn/In (~10 %) corespunde compusului ITO și s-a menținut constant, însă se modifica concentrația oxidului de Ga. În continuare cu ajutorul mărimii  $x$  vom simboliza raportul  $x = [\text{ITO}]/[\text{Ga}_2\text{O}_3]$  în masca inițială supusă pulverizării. Valoarea acestei mărimi a variat de la 0 până la 50 %. Grosimea peliculelor obținute este situată în diapazonul 300–500 nm. În rezultatul analizei structurale au fost stabilite unele particularități comparativ cu peliculele, obținute prin metoda spray-pirolizei: 1) dimensiunea granulelor și însuși dispersia relativă a dimensiunii granulelor în cazul peliculelor policristaline, obținute prin metoda PM, s-au dovedit a fi mult mai mici pentru toate substraturile utilizate (<15 nm la o dispersie de ~20–30 %); 2) policristalinitatea peliculelor depuse pe safir se păstrează până la o concentrație de 30 % a adaosului de Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3) la majorarea ulterioară a concentrației adaosului de Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, peliculele devin amorfe; 4) până la tranziția în starea amorfă peliculele demonstrează o dilatare, apoi invers – o comprimare a rețelei atomice; 5) în cazul peliculelor depuse pe safir cu compoziția  $x = 50 \%$ , la temperatura de 500°C se observă efectul creșterii epitaxiale insulare (vezi Figura 2). Insulele formate sunt de formă triunghiulară regulată cu dimensiunea caracteristică de ~200 nm. Difractogramele Roentgen, prezentate în Figura 3, confirmă prezența fazei Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, care aparține singoniei trigonale. În această difractogramă observăm de asemenea, că substratul de safir cu același tip de simetrie, posedă direcția (001), adică posedă plan superficial de tip c. Acest plan favorizează creșterea atât a  $\alpha$ -, cât și a  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (singonia monoclinică). Astfel în cazul dat se formează  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, cu toate că condițiile termice de creștere sunt relativ joase. În condițiile de coacere la temperatura de 900 °C nu s-a observat creșterea acestei faze. În momentul de față, natura unei astfel de selectivități de temperatură a creșterii epitaxiale nu este stabilită.

Ce ține de peliculele cu structură policristalină, coacerea lor duce doar la creșterea cristalitelor fazei principale, care aparține grupului de simetrie Ia-3. Această creștere este deosebit de semnificativă la temperaturi înalte de coacere (~ 900 °C).



**Figura 2.** Morfologia superficială a peliculei ITO-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cu  $x = 50 \%$ ,  $T = 500^\circ\text{C}$ , stabilită cu ajutorul metodei AFM.



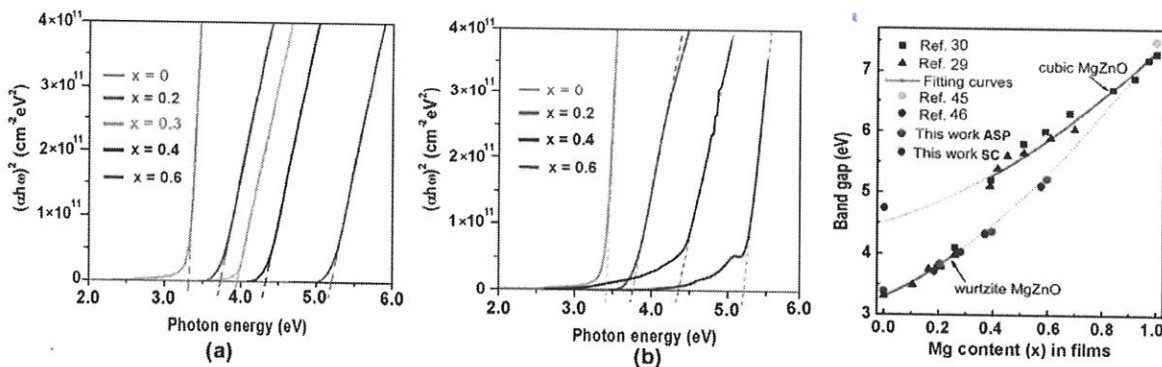
**Figura 3.** Difractogramele roentgen ale peliculelor ITO–Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, având diferite concentrații de Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (imagine rezumată).

### 5.3. Conductibilitatea termică fononică a nanotuburilor de siliciu cu secțiunea transversală variabilă.

În cadrul modelului Born-von Karman și a ecuației de transport Boltzmann, au fost cercetate teoretic stările fononice și conductibilitatea termică de rețea în nanotuburile de siliciu cu secțiune transversală variabilă. Am stabilit, că aceste nanotuburi reprezintă încă o clasă de nanomateriale de perspectivă pentru ingineria fononică, deoarece modificând grosimea lor și lungimea segmentelor nanotuburilor, putem micșora conductibilitatea termică de rețea de 2–6 ori comparativ cu nanotuburile cu secțiune transversală constantă, într-un diapazon larg de temperaturi: 50 – 400 K.

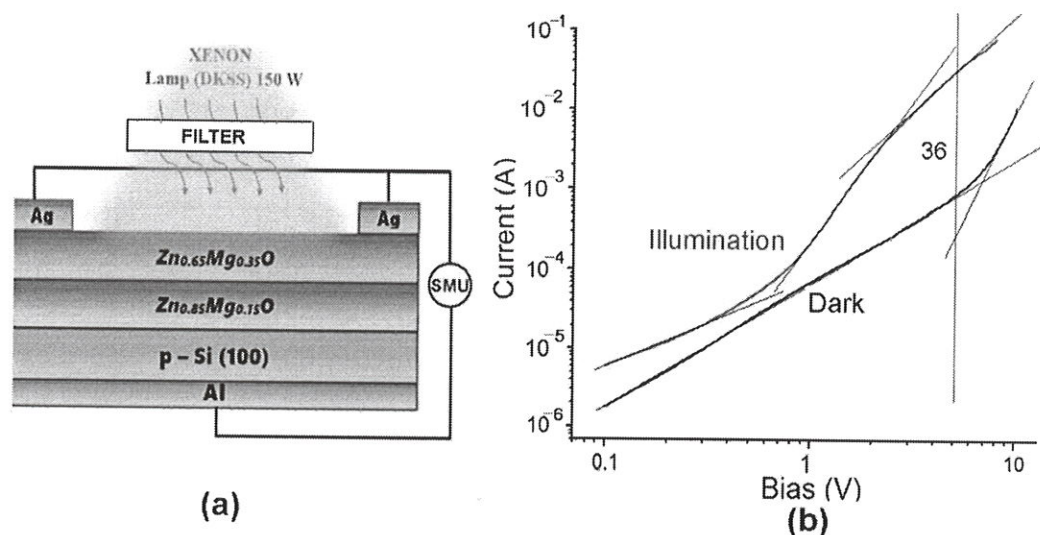
### 5.4. Filmele de Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O și fotodetectoare în baza lor.

Au fost obținute filmele de Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O cu valoarea  $x = 0 - 0.8$ , depuse prin metoda „spin coating” și depunerea spray din soluții chimice pe suporturi din Si și cuarț. Au fost studiate morfologia, compoziția chimică, structura cristalină și proprietățile optice ale filmelor obținute prin aplicarea metodelor SEM, EDX, XRD și spectroscopiei optice. Au fost stabilite condițiile optime pentru tratarea termică a filmelor obținute, ce țin de structura cristalină, componența chimică a fazei cristaline a filmelor depuse și valoarea benzii interzise a acestora în funcție de valoarea  $x$  a compusului ternar.



**Figura 4.** Dependența absorbției optice de energia fotonilor la temperatura camerei pentru filmele de Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O, depuse pe suport de cuarț prin metoda (a) „spin coating” și (b) a spray pirolizei. (c) Dependența benzii interzise a filmelor Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O de concentrația  $x$  a Mg în filme depuse prin metoda „spin coating” și a spray pirolizei.

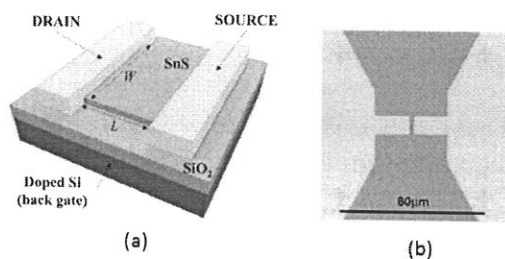
A fost elaborată structura fotoreceptorului multistrat cu heterojuncțiune Al/p-Si/n-Zn<sub>0.85</sub>Mg<sub>0.15</sub>O/n-Zn<sub>0.65</sub>Mg<sub>0.35</sub>O/Ag pe suport de Si pentru domeniul UV al spectrului optic. Au fost estimate responsivitatea (R) și detectivitatea (D) ale fotoreceptorului, care constituie respectiv  $R = 460 \text{ mA/W}$ ,  $D^* = 1.0 \times 10^{10} \text{ cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}\text{W}^{-1}$ .



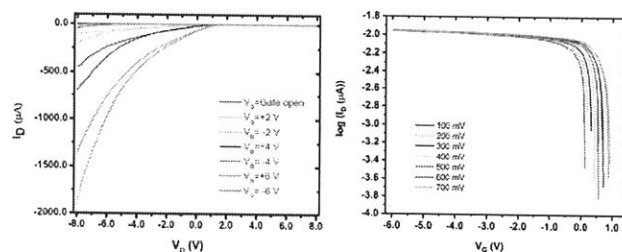
**Figura 5.** (a) Structura fotoreceptorului cu heterojuncțiune Al/p-Si/n-Zn<sub>0.85</sub>Mg<sub>0.15</sub>O/n-Zn<sub>0.65</sub>Mg<sub>0.35</sub>O/Ag pe suport de Si. (b) Dependența curent-tensiune a dispozitivului elaborat la întuneric și la iluminare. (c) Relaxarea fotocurentului la iluminarea cu lungimi de undă diferite a fotodetectorului.

### 5.5. Tranzistorii cu efect de câmp (FET) în baza filmelor de SnS.

În baza filmelor de SnS, obținute prin metoda magnetron de depunere, a fost elaborat procedeul de confecționare și studiate caracteristicile tranzistorilor cu efect de câmp (FET) pentru domeniul 0.1 – 10 GHz. FET-urile SnS demonstrează o pantă subprag (SS) sub 60 mV/decadă datorită feroelectricității în plan a SnS, atingând o valoare minimă a  $SS = 21 \text{ mV/decadă}$ . FET în bază de SnS demonstrează valori pentru SS mai mici de 60 mV/decadă ca și alte tranzistoare cu polarizare electrică verticală. În soluția propusă avem SnS ultrasubțire cu polarizare electrică paralelă, care este atât canalul, cât și feroelectricul. Tranzistorul în baza filmelor SnS cu grosimea de 10 nm posedă lățimea canalului  $W$  și lungimea  $L$ :  $W, L = 0.5, 1, 2, \text{ și } 5 \mu\text{m}$ .



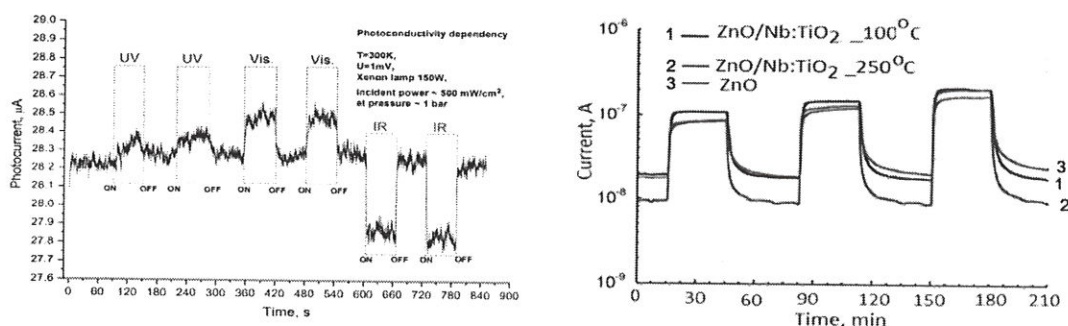
**Figura 6.** Structura tranzistorului FET.



**Figura 7.** Caracteristica  $I-V$  pentru SnS FET cu  $W = 2 \mu\text{m}$  și  $L = 0.5 \mu\text{m}$ : (a) dependența  $I_D-V_D$  pentru diferite valori  $V_G$ ; (b) dependența  $\log(I_D)-V_G$  pentru diferite valori  $V_D$ .

### 5.6. Dispozitive senzoriale în baza materialelor oxidice din firele SnO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>/NiO și straturile subțiri de ZnO/TiO<sub>2</sub>.

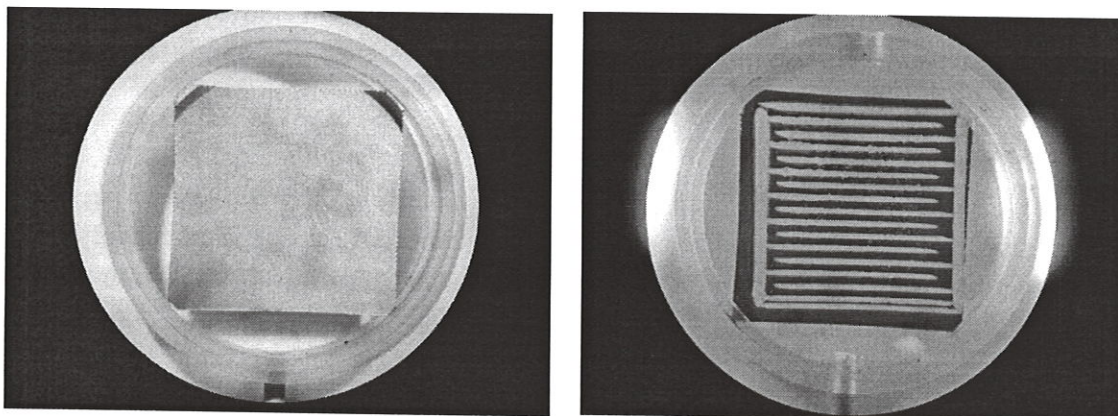
Au fost obținute și studiate proprietățile senzoriale ale materialelor oxidice, formate din fire de SnO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>/NiO și straturi planare de ZnO/TiO<sub>2</sub>:Nb. Au fost stabilite caracteristicile curentului în funcție de timp ale senzorului ZnO/TiO<sub>2</sub>:Nb la diferite temperaturi ale suportului și stratului de ZnO pentru detectarea etanolului. Dispozitivul atestă un fotorăspuns VIS ridicat în comparație cu iluminarea UV și NIR. Timpul UV de răspuns și relaxare au fost testate ca fiind de 47 s/ 58s. S-a estimat, că răspunsul la UV a ZnO/TiO<sub>2</sub>:Nb este puțin mai mare în comparație cu dispozitivul ZnO și atinge o valoare de aproximativ 56 μA/W la 365 nm.



**Figura 6. (a)** Caracteristicile curentului în funcție de timp ale senzorului ZnO/TiO<sub>2</sub>:Nb în timpul testelor periodice de pornire–oprire în condiții de expunere la lumină UV, vizibilă și NIR; **(b)** Caracteristicile curentului în funcție de timp ale senzorului ZnO/TiO<sub>2</sub>:Nb la diferite temperaturi ale suportului și stratului de ZnO pentru detectarea etanolului.

### 5.7. Recristalizarea peliculelor de Bi în câmp electric puternic pentru elaborarea senzorului anizotrop cu flux.

Prin metoda de evaporare termică a Bi în vid pe suport din mică, au fost depuse filme policristaline de Bi cu grosimea de 2-5 μm. Pentru recristalizarea lor și obținerea filmelor monocristaline cu orientarea predeterminată C3 a axei cristalografice, a fost elaborată instalația, 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 unic inițial erau executate elementele constructive ale traductorului fluxului de căldură, după ce era efectuat procesul de recristalizare. A fost executată o mostră de laborator a detectorului fluxului de căldură pe suport de mică cu dimensiunea 15 × 15 mm<sup>2</sup>.



**Figura 8.** Pelicula de Bi ( $d = 2$  μm) pe substrat de mică ( $d = 30$  μm). Construcția traductorului de flux de căldură, obținută după procesul de pregătire și recristalizare în câmp electric puternic.



6. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de publicații

**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice  
publicate în anul 2021 în cadrul proiectului din Programul de Stat:  
Materiale nanostructurate avansate pentru aplicații termoelectrice și senzori  
cu cifrul 20.80009.5007.02**

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**
3. **Editor culegere de articole, materiale ale conferințelor naționale/internaționale**
  1. X. Wang, M. Zhang (eds.) Metallic glasses and their oxidation, (Elsevier Metal Oxide Series edited by **G. Korotcenkov**), Elsevier, Cambridge, MA, 2022. ISBN: 978-0-323-90997-6  
Disponibil: <https://www.elsevier.com/books/metallic-glasses-and-their-oxidation/wang/978-0-323-90997-6>.
  2. V. Kumar, S. Som, V. Sharma, H.C. Swart (eds.) Defects in metal oxides: fundamentals, designing, development & applications, (Elsevier Metal Oxide Series edited by **G. Korotcenkov**), Elsevier, Cambridge, MA, 2022. ISBN: 978-0-323-85588-4.  
Disponibil: <https://www.elsevier.com/books/metal-oxide-defects/kumar/978-0-323-85588-4>.
  3. N. Kumar (ed.) Metal oxide based heterostructures: fabrication and their applications, (Elsevier Metal Oxide Series edited by **G. Korotcenkov**), Elsevier, Cambridge, MA, 2022. ISBN: 978-0-323-85241-8.  
Disponibil: <https://www.elsevier.com/books/metal-oxide-based-heterostructures/kumar/978-0-323-85241-8>.
  4. S.D. Delekar (ed.) Advances in metal oxides and their composites for emerging applications, (Elsevier Metal Oxide Series edited by **G. Korotcenkov**), Elsevier, Cambridge, MA, 2022. ISBN: 978-0-323-85705-5.  
Disponibil: <https://www.elsevier.com/books/advances-in-metal-oxides-and-their-composites-for-emerging-applications/delekar/978-0-323-85705-5>
  5. S. Sagadevan, J. Podder, F. Mohammad (eds.) Metal oxides for optoelectronics and optics-based medical applications, (Elsevier Metal Oxide Series edited by **G. Korotcenkov**), Elsevier, Cambridge, MA, 2022. ISBN: 978-0-323-85824-3.  
Disponibil: <https://www.elsevier.com/books/metal-oxides-for-optoelectronics-and-optics-based-medical-applications/sagadevan/978-0-323-85824-3>
  6. J. Qi (ed.) Metal oxides and related solids for electrocatalytic water splitting. (Elsevier Metal Oxide Series edited by **G. Korotcenkov**), Elsevier, Cambridge, MA, 2022. ISBN: 978-0-323-85735-2.  
Disponibil: <https://www.elsevier.com/books/metal-oxides-and-related-solids-for-electrocatalytic-water-splitting/qi/978-0-323-85735-2>
  7. S. Haider, A. Haider (eds.) Renewable polymers and polymer-metal oxide composites:

- synthesis, properties, and applications, (Elsevier Metal Oxide Series edited by **G. Korotcenkov**), Elsevier, Cambridge, MA, 2022. ISBN: 978-0-323-85155-8. Disponibil: <https://www.elsevier.com/books/renewable-polymers-and-polymer-metal-oxide-composites/haider/978-0-323-85155-8>.
8. Muhammad Akram, Rafaqat Hussain, Faheem K. Butt (eds.) Metal oxide-carbon hybrid materials: synthesis, properties and applications (Elsevier Metal Oxide Series edited by **G. Korotcenkov**), Elsevier, Cambridge, MA, 2022. ISBN: 978-0-12-822694-0. Disponibil: <https://www.elsevier.com/books/metal-oxide-carbon-hybrid-materials/chaudhry/978-0-12-822694-0>.
  9. J. Yu, L. Zhang, P. Kuang (eds.) Graphene oxide-metal oxide and other graphene oxide-based composites in photocatalysis and electrocatalysis, (Elsevier Metal Oxide Series edited by **G. Korotcenkov**), Elsevier, Cambridge, MA, 2022. ISBN: 978-0-12-824526-2. Disponibil: <https://www.elsevier.com/books/graphene-oxide-metal-oxide-and-other-graphene-oxide-based-composites-in-photocatalysis-and-electrocatalysis/yu/978-0-12-824526-2>.
  10. Panagiotis Dimitrakakis, Ilia Valov, Stefan Tappertzhofen (eds.) Metal oxides for non-volatile memory: materials, technology and applications (Elsevier Metal Oxide Series edited by **G. Korotcenkov**), Elsevier, Cambridge, MA, 2022. ISBN: 978-0-12-814629-3. Disponibil: <https://www.elsevier.com/books/metal-oxides-for-non-volatile-memory/dimitrakakis/978-0-12-814629-3>

#### 4. Article în reviste științifice

4.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS

1. PRONIN I.A., AVERIN I.A., KARMANOV A.A., YAKUSHOVA N.D. KOMOLOV A.S., LAZNEVA E.F., SYCHEV M.M., MOSHNIKOV V.A., KOROTCENKOV G., Control over the surface properties of zinc oxide powders via combining mechanical, electron beam, and thermal processing. **In: *Nanomaterials* (MDPI) 2022, vol. 12, p. 1924. ISSN: 2079-4991 (IF= 5.719).**  
Disponibil: <https://doi.org/10.3390/nano12111924>
2. SIMONENKO N.P., FISENKO N.A., FEDOROV F.S., SIMONENKO T.L., MOKRUSHIN A.S., SIMONENKO E.P., KOROTCENKOV G., SYSOEV V.V., SEVASTYANOV V.G., KUZNETSOV N.T., Printing technologies as an emerging approach in gas sensors: Survey of literature. **In: *Sensors* (MDPI) 2022, vol. 22, 3473. ISSN: 1424-8220 (IF=3.847).** Disponibil: <https://doi.org/10.3390/s22093473>
3. MORARI, V., URSAKI, V.V., RUSU, E.V., ZALAMAI, V.V., COLPO, P., TIGINYANU, I.M. Spin-coating and aerosol spray pyrolysis processed Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O films for UV detector applications. **In: *Nanomaterials*, 2022, vol. 12, issue 18, p. 3209. ISSN: 2079-4991. (IF=5.719)**  
Disponibil: <https://doi.org/10.3390/nano12183209>
4. DRAGOMAN, M., ALDRIGO, M., DINESCU, A., IORDANESCU, S., ROMANITAN, C., VULPE, S., DRAGOMAN, D., BRANISTE, T., SUMAN, V., RUSU, E., TIGINYANU, I. The microwave properties of tin sulfide thin films prepared by RF magnetron sputtering techniques. **In: *Nanotechnology*. 2022, vol. 33, Nr. 23, p. 235705. (pp. 8). ISSN: 0957-4484. (IF=3,874).**

Disponibil: <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac59e3>

5. DRAGOMAN, M., DINESCU, A., AVRAM, A., DRAGOMAN, D., VULPE, S., ALDRIGO, M., BRANISTE, T., SUMAN, V., RUSU, E., TIGINYANU, I. Ultrathin tin sulfide field-effect transistors with subthreshold slope below 60 mV/decade. **In: Nanotechnology**. 2022, vol. 33, Nr. 40, p. 405207. ISSN: 0957-4484. (IF=3,874)  
Disponibil: <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac7cf8>
6. MONAICO, E.V., MORARI, V., KUTUZAU, M., URSAKI, V.V., NIELSCH, K., TIGINYANU, I.M. Ferromagnetic core-shell coaxial nanostructures on Gallium Arsenide substrates. **In: Romanian Journal of Physics**. 2022, vol. 67, Nr. 9-10, Article Nr. 611, pp.1-11. ONLINE: ISSN: 1221-146X. (IF = 1.662).
7. NIKOLAEVA, A., KONOPKO, L., HUBER, T., POPOV, I., PARA, G., BOTNAR, O. Quantum size effect and Shubnikov de Haas oscillations in transverse magnetic field in  $\text{Bi}_{0.92}\text{Sb}_{0.08}$  semiconductor wires. **In: Surface Engineering and Applied Electrochemistry**. 2022, vol.58, Nr. 6, pp.639-646. ONLINE: ISSN: 2345-1718. (IF = 0.289).

4.2. în alte reviste din străinătate recunoscute

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

1. SUMAN, V., MORARI, V., RUSU, E.V., GHIMPU, L., URSAKI, V.V. Electrophysical properties of  $\text{ITO}:\text{Ga}_2\text{O}_3$  films grown by RF magnetron sputtering. **In: Moldavian Journal of the Physical Sciences (MJPS)**. 2021, vol. 20, Nr. 2, pp. 145–150. ISSN: 1810-648X  
Disponibil: <https://doi.org/10.53081/mjps.2021.20-2.05>.
2. COJOCARU, V., GHIMPU, L., FEDORIȘIN, T., GALUS, R., SUMAN, V. Development of fuzzy system management for solar panel motion using an arduino microcontroller. **In: Moldavian Journal of the Physical Sciences (MJPS)**. 2021, vol. 20, Nr. 2, pp. 176–182. ISSN 1810-648X.  
Disponibil: <https://doi.org/10.53081/mjps.2021.20-2.09>.
3. MORARI, V., URSAKI, V., GHIMPU, L., RUSU, E., TIGINYANU, I. Study of wide band  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$  and  $(\text{Ga}_x\text{In}_{1-x})_2\text{O}_3$  thin films prepared by spin coating method. **In: Moldavian Journal of the Physical Sciences (MJPS)**. 2022, vol. 21. pp. 25-33  
Disponibil: <https://mjps.nanotech.md/archive/download/202205>  
<https://doi.org/10.53081/mjps.2022.21-1.02>
4. NIKOLAEVA, A.A., KONOPKO, L.A., HUBER, T.E., POPOV, I.A., PARA, Gh.I. Electron transport, transverse and longitudinal magnetoresistance and Shubnikov de Haas oscillations in  $\text{Bi}_{0.83}\text{Sb}_{0.17}$  topological insulator semiconductor wires. **In: Moldavian Journal of the Physical Sciences (MJPS)**. 2022, vol. 21. pp.52-60  
Disponibil: <https://mjps.nanotech.md/archive/2022/article/202208>  
<https://doi.org/10.53081/mjps.2022.21-1.5>
5. RUSU, E., MORARI, V., GUȚU, T., URSAKI, V., VLAZAN, P. Hydrothermal preparation of oxide ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ) and derivative nanoparticles. **In: Moldavian Journal of the Physical Sciences (MJPS)**. 2022, vol. 21.  
Disponibil: <https://mjps.nanotech.md/archive/2022/article/202209>  
<https://doi.org/10.53081/mjps.2022.21-1.06>
6. LUNGU, I., GHIMPU, L., GAGARA, L., POTLOG, T. Synthesis and electrophysical

properties of CdS/ZnTe heterojunctions. **In:** *Moldavian Journal of the Physical Sciences* (MJPS). 2022, vol. 21. pp. 42-51

Disponibil: <https://mjps.nanotech.md/archive/2022/article/202207>

<https://doi.org/10.53081/mjps.2022.21-1.04>

7. RUSU, E., MORARI, V., GUȚU, T., URSAKI, V., VLAZAN, P. Hydrothermal preparation of oxide ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ , ZnO,  $\text{TiO}_2$ ) and derivative nanoparticles. **In:** *Moldavian Journal of the Physical Sciences* (MJPS). 2022, vol. 21.

Disponibil: <https://mjps.nanotech.md/archive/2022/article/202209>

<https://doi.org/10.53081/mjps.2022.21-1.06>

4.4. în alte reviste naționale

## **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)

1. MORARI, V., RUSU, E. V., URSAKI, V.V., NIELSCH, K., TIGINYANU, I.M. Aerosol spray deposited wurtzite ZnMgO alloy films with MgO nanocrystalline inclusions. **In:** *IFMBE Proceedings – Springer Nature Switzerland AG*. 2022, vol. 87, pp. 32-39.

Disponibil: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_5)

6.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

6.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

6.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

## **7. Teze ale conferințelor științifice**

7.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

1. MORARI, V., URSAKI, V., RUSU, E., TIGHINEANU, I. UV photodetector based on  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$  Thin Films. **In:** Applied Nanotechnology and Nanoscience, International Conference – ANNIC 2021, France, Paris, 24-26 March 2021, Online, Abstract ID: 106, Book of Abstracts, pp. 191-192, (2021).

Disponibil: <https://premc.org/conferences/annic-nanotechnology-nanoscience>

7.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

1. НИКОЛАЕВА, А., КОНОПКО, Л., ПОПОВ, И., БОДЮЛ, П. Размерные эффекты и осцилляции Шубникова де Гааза в поперечном и продольном магнитных полях в нитях топологических изоляторов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ . **In:** Материалы XII Международной Конференции „Математическое моделирование в образовании, науке и производстве”, ММ-2021. 2022, pp. 88-91.
2. КОНОПКО, Л., НИКОЛАЕВА, А. Квантовые осцилляции на контакте микропровода из топологического изолятора со сверхпроводником. **In:** Материалы XII Международной Конференции „Математическое моделирование в образовании, науке и производстве”, ММ-2021. 2022, pp. 59-61.

7.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

7.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

3. MORARI, V., KUTUZAU, M. The influence of gallium (Ga) content on morphological, structural and optical properties of indium tin oxide thin films. In: Technical-Scientific Conference of Undergraduate, Master and Phd Students. UTM, Chisinau, 29-31 March. 2022, vol. I, pp. 230-234. ISBN 978-9975-45-829-0.

Disponibil: <https://utm.md/wp-content/uploads/2022/07/Works-Students-Conference-TUM-2022-vol-I.pdf>

4. ПЕНКАЛА, В., ШИВЕРСКИЙ, Д. Микронити и монокристаллические слои на базе теллуридов висмута для термоэлектрического охлаждения. In: Technical-Scientific Conference of Undergraduate, Master and Phd Students. UTM, Chisinau, 29-31 March. 2022, vol. I, pp. 194-197. ISBN 978-9975-45-829-0.

Disponibil: <https://utm.md/wp-content/uploads/2022/07/Works-Students-Conference-TUM-2022-vol-I.pdf>.

#### **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**

1. KONOPKO, Leonid, NIKOLAEVA, Albina, BODIUL, Pavel, PARA, Gheorghe, BOTNARI, Oxana. *Material termoelectric pe baza de bismut*. **Brevet MD 1537 Z 2021.12.31**. Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2021.05.31, BOPI nr. 5/2021.
2. KONOPKO, Leonid, NIKOLAEVA, Albina, BODIUL, Pavel, PARA, Gheorghe. *Material termoelectric anizotrop pe baza de bismut*. **Brevet MD 1585 Z 2022.07.31**. Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2021.12.31, BOPI nr. 12/2021.
3. KONOPKO, Leonid, NIKOLAEVA, Albina, BODIUL, Pavel, PARA, Gheorghe, SLOBODENIUC Constantin. *Metoda de obținere a materialelor termoelectrice*. **Brevet MD 1594 Z 2022.08.31**. Nr.dpozit: s2019 0119, Data depozit: 2019.11.29. Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2022.01.31, BOPI nr. 1/2022.
4. KONOPKO, Leonid, NIKOLAEVA, Albina, BODIUL, Pavel, PARA, Gheorghe. *Material termoelectric pe baza de bismut*. **Brevet MD 1601 Z 2022.09.30**. Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2022.02.28, BOPI nr. 2/2022.

#### **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

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

Impactul științific fundamental al rezultatelor obținute este legat de obținerea

cunoștințelor fundamentale noi despre procesele electronice, fononice și termice în materialele nanostructurate studiate: peliculele subțiri ITO:Ga,  $Zn_{1-x}Mg_xO$ , SnS, ZnO/TiO<sub>2</sub> și Bi, firele SnO<sub>2</sub> și SnO<sub>2</sub>/NiO, nanotuburile din Si cu secțiunea transversală variabilă.

Impactul economic al proiectului este legat de posibila aplicare practică a rezultatelor obținute pentru îmbunătățirea parametrilor de lucru ai convertorilor termoelectrice și fotodetectorilor.

Rezultatele obținute vor fi de asemenea utilizate la actualizarea cursurilor, duse de participanții la proiect în cadrul Facultății de Fizică și Inginerie a Universității de Stat din Moldova, lucru care la rândul său va contribui la îmbunătățirea nivelului de pregătire al generațiilor noi de fizicieni ai Republicii Moldova.

## 8. Infrastructura de cercetare utilizată în cadrul proiectului

În realizarea proiectului a fost utilizată infrastructura de cercetare a Universității de Stat din Moldova (USM), a Institutului de Inginerie Electronică și Nanotehnologii “D.Ghițu” (IEN) și a Centrului Național de Studiu și Testare a Materialelor (CNSTM) al Universității Tehnice a Moldovei:

### USM:

- Instalațiile experimentale de depunere a peliculelor subțiri prin metodele de spray-piroliză și pulverizare magnetronică;
- Difractometrul de raze X – Empyrean (Malvern Panalytical)
- Microscopul Atomic de Forță – XE-7 (Park System).

### IEN:

- Echipamente tehnologice de creștere a cristalelor prin metoda Bridgman;
- Echipamente tehnologice de transport chimic din faza de vapori, dotate cu dispozitive de reglare și menținere cu precizie înaltă a temperaturii de tip VRT-3;
- Instalația de depunere a filmelor prin metoda magnetron RF de tip „Tectra”;
- Instalația de depunere a filmelor prin metoda vaporizării termice de tip VUP-5M;
- Instalații industriale de întindere a firelor cu înveliș din sticlă de tip ITMF-3 (firma „Microfir Tehnologii Industriale Ltd”);
- Instalația pentru studierea efectului Peltier în probe nanostructurate de semiconductori și semimetale;
- Instalația pentru studierea rezistenței, puterii termoelectrice și a diagramelor de rotație într-un câmp magnetic constant de 0,4 T în probe de semiconductori și semimetale în intervalul de temperaturi 300 – 78 K.

### CNSTM:

- Microscopul electronic de tip Zeiss Ultraplus SEM;
- Analizatorul EDX.

## 9. Colaborare la nivel național 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 în sistemul In-Sn-Ga-O);

- 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<sub>2</sub>, In-Ga-Sn-O, Zn-Mg-O).

## 10. Colaborare la nivel internațional în cadrul implementării proiectului

Au fost efectuate colaborări științifice cu următoarele echipe de cercetători:

- echipa de cercetători condusă de Prof. A.A. Balandin de la Universitatea din California – Riverside (SUA) (cercetări comune a proprietăților fononice în nanostructuri);
- echipa de cercetători de la Institute of Low Temperatures and Structural Research, PAS, Wroclaw 50950, Poland. (Prof. K. Rogacki): efectuarea studiilor complexe privind structurile de dimensionalitate redusă în baza materialelor Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> și BiSb;
- echipa de cercetători condusă de Prof. T.E. Huber de la Universitatea „Howard” (SUA) (cercetări comune);
- echipa de cercetători condusă de Prof. A. Garcia-Hernandes de la Institutul de Astrofizică, Insulele Canaria (Spania) (implementarea proiectului comun CA-21126 „Carbon molecular nanostructures in space” pentru concursul „COST Action”);
- echipa de cercetători de la Joint Research Centre (JRC), Ispra, Italy. Doctorandul Vadim MORARI a efectuat caracterizări ale materialelor oxidice și de semiconductori prin metodele SEM, EDX, XRD, RAMAN și XPS.

## 11. Dificultățile în realizarea proiectului

Principalele dificultăți în realizarea proiectului au fost legate de imposibilitatea procurării în momentul oportun a reactivelor chimice necesare, cât și de restricțiile privind accesul la utilajul experimental, care s-au introdus periodic în legătură cu pandemia de COVID-2019.

## 12. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de prezentări la foruri științifice (comunicări, postere – pentru cazurile când nu au fost publicate în materialele conferințelor, reflectate în p. 6)

➤ Manifestări științifice internaționale (în străinătate)

- GHIMPU Lidia, dr., SUMAN, Victor, RUSNAC, Dumitru, TIMPU, Daniel, dr., POTLOG, Tamara., dr. *E-MRS International Conference 2022, H Symposium Innovative and advanced epitaxy, Cost Action OPERA CA20116, 19-22 September 2022, 2022 Fall Meeting, Warsaw, Poland. 2022. Poster H.P.22. Poster “The gas-sensing properties of ZnO/TiO<sub>2</sub> composites.”*
- MORARI, Vadim, ZALAMAI, Victor, dr., RUSU, Emil, dr. hab, URSAKI, Veaceslav, dr. hab., COLPO, Pascal, dr., TIGINYANU, Ion, dr. hab. *International Conference of ATOM-N 2022 – 11<sup>th</sup> Edition, 25-28 August, Constanta, Romania. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Bellingham, USA. 2022* Poster publication: Study of (In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films produced by aerosol deposition method.
- KONOPKO, Leonid, dr., NIKOLAEVA, Albina, dr. hab., HUBER, Tito, dr.

- International conference of ATOM-N 2022 – 11<sup>th</sup> Edition, 25-28 August, Constanta, Romania.- The International Society for Optical Engineering, Bellingham, USA. 2022.*
- Poster publication: Quantum Interference and Surface States Transport in Bi and Bi<sub>0.83</sub>Sb<sub>0.17</sub> Nanowires.
- NIKOLAEVA, Albina, dr. hab., KONOPKO, Leonid, dr., HUBER, Tito, dr., POPOV, Ivan, PARA, Gheorghe dr. *International conference of ATOM-N 2022 – 11<sup>th</sup> Edition, 25-28 August, Constanta, Romania. - The International Society for Optical Engineering, Bellingham, USA. 2022* Poster publication: Surface states and size effects in semiconductor wires of Bi<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> topological insulators.
  - VATAVU, Elmira, dr., DMITROGLO, Liliana, dr., SPRINCEAN, Veaceslav, dr., SPOIALĂ, Dorin, LECA, Ludmila, CARAMAN, Mihail, dr. hab., VATAVU, Sergiu, dr. *European Materials Research Society (EMRS-2022) Spring Meeting Symposium N, N.7.9: Synthesis, processing and characterization of nanoscale multi functional oxide films, May 30-June 03, 2022, Strasbourg, France (virtual conference)* Oral presentation: n-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/p-GaSe heterojunctions: preparation technology vs. optical and photoelectrical properties. <https://www.european-mrs.com/synthesis-processing-and-characterization-nanoscale-multi-functional-oxide-films-viii-and-6th-e-mrs>
  - BELENCHUK, Alexandr, dr., SHAPOVAL, Oleg, dr., BORIS, Iulia dr., PALAMARCIUC, Oleg, dr., VATAVU, Elmira, dr., DMITROGLO, Liliana, dr., VATAVU, Sergiu, dr. *European Materials Research Society (EMRS-2022) Spring Meeting Symposium N, N.7.11: Synthesis, processing and characterization of nanoscale multi functional oxide films, May 30- June 03, 2022, Strasbourg, France (virtual conference)* Oral presentation: Metalorganic aerosol deposition of Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films. <https://www.european-mrs.com/synthesis-processing-and-characterization-nanoscale-multi-functional-oxide-films-viii-and-6th-e-mrs>
- Manifestări științifice internaționale (în Republica Moldova)
  - Manifestări științifice naționale
  - Manifestări științifice cu participare internațională
- NIKOLAEVA Albina, dr. hab., KONOPKO, Leonid, dr., HUBER, Tito, dr., NICA, Denis, dr. hab., POPOV, Ivan *Conferința științifică națională cu participare internațională „INTEGRARE PRIN CERCETARE ȘI INOVARE”, 10-11 noiembrie, 2022. Chișinău, USM, 2022. Științe ale naturii și exacte. 2022, <https://cercetare.usm.md>* Poster presentation “Quantum oscillations of magnetoresistance and size effects in Bi<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> topological insulator semiconductor wires.”
  - РУСУ, Емил, др. хаб., КОНОПКО, Леонид, НИКОЛАЕВА, Альбина, др. хаб., МОРАРЬ, Вадим, ПОПОВ, Иван, КОРОМЫСЛИЧЕНКО, Татьяна, НИКА, Денис, др. хаб. *Conferința științifică națională cu participare internațională „INTEGRARE PRIN CERCETARE ȘI INOVARE”, 10-11 noiembrie, 2022. Chișinău, USM, 2022. Științe ale naturii și exacte. 2022, <https://cercetare.usm.md>* Poster presentation: Термоэлектрические свойства монокристаллов SnSe, полученных методом Бриджмена.
  - BRINZARI Vladimir, dr., BORIS Iulia, dr, IVANOV Mihail, dr. *Conferința științifică națională cu participare internațională „INTEGRARE PRIN CERCETARE ȘI INOVARE”, 10-11 noiembrie, 2022. Chișinău, USM, 2022, Științe ale naturii și exacte.*



- 2022, <https://cercetare.usm.md> Oral presentation: Nanocomposite structure changes in ZnO-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ZIO) system prepared by spray pyrolysis method
- КЛЮКАНОВ Александр, др. хаб., НИКА Денис, др. хаб., ВАРЗАРЬ Александр, БАТАВУ Серджиу, др. *Conferința științifică națională cu participare internațională „INTEGRARE PRIN CERCETARE ȘI INOVARE”*, 10-11 noiembrie, 2022. Chișinău, USM, 2022. Științe ale naturii și exacte. 2022 <https://cercetare.usm.md> Oral presentation: Экситонный переход Мотта в кристаллах CdTe
  - СОСЕМАСОВ Alexandr, dr., BRINZARI Vladimir, dr., NIKA Denis, dr. hab. *Conferința științifică națională cu participare internațională „INTEGRARE PRIN CERCETARE ȘI INOVARE”*, 10-11 noiembrie, 2022. Chișinău, USM, 2022. Științe ale naturii și exacte. 2022, <https://cercetare.usm.md> Oral presentation: Rattling-induced suppression of phonon transport in In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with Sn and Ga
  - ИСАКОВА Калина, КОЧЕМАСОВ Александр, др., НИКА Денис, др. хаб., *Conferința științifică națională cu participare internațională „INTEGRARE PRIN CERCETARE ȘI INOVARE”*, 10-11 noiembrie, 2022. Chișinău, USM, 2022. Științe ale naturii și exacte. 2022, <https://cercetare.usm.md> Oral presentation: Фононная инженерия в одномерных наноструктурах.

**13. Aprecierea și recunoașterea rezultatelor obținute în proiect** (premiu, medalii, titluri, alte aprecieri).

1. **KOROTCENKOV, GHENADII**, dr. hab.; *Premiul National - 2022*, Chisinau, Moldova;
2. **MORARI, V.**, drd; *Diploma of golden medal of EUROINVENT 2022*, 14 Edition European Exhibition of Creativity and Innovation, May 26-28, 2022, Iasi, Romania.
3. **COJOCARU, V.**, dr; *Diploma of silver medal of EUROINVENT 2022*, 14 Edition European Exhibition of Creativity and Innovation, May 26-28, 2022, Iasi, Romania.
4. **NIKOLAEVA, A.**, dr. hab; *Diploma of silver medal of EUROINVENT 2022*, 14 Edition European Exhibition of Creativity and Innovation, May 26-28, 2022, Iasi, Romania.
5. **NIKOLAEVA, A.**, dr. hab.; *Certificate of Excellence and gold medal of IRSCA. EUROINVENT 2022*, 14 Edition European Exhibition of Creativity and Innovation, May 26-28, 2022, Iasi, Romania. <https://www.euroinvent.org>
6. **KONOPKO, L.** *Diploma of Special Award of INVENTCOR. EUROINVENT 2022*, 14 Edition European Exhibition of Creativity and Innovation, May 26-28, 2022, Iasi, Romania.
7. **MORARI, V.**, drd; *Diploma of golden medal of INVENTICA 2022*, XXVI-th International Exhibition of Inventions, June 22-24, 2022, Iasi, Romania. <https://ini.tuiasi.ro/exhibition>
8. **KONOPKO, L.**, dr. *Diploma of golden medal of INVENTICA 2022*, XXVI-th International Exhibition of Inventions, June 22-24, 2022, Iasi, Romania. <https://ini.tuiasi.ro/exhibition>
9. **MORARI, V.**, drd.; *Diploma de Excelență și Medalia de Aur. Salonul Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii PRO INVENT*, ediția a XX-a, 26-28 octombrie 2022, Cluj-Napoca, Romania.
10. **NIKOLAEVA, A.**, dr. hab.; *Diploma de Excelență și Medalia de Aur. Salonul*

Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii PRO INVENT, ediția a XX-a, 26-28 octombrie 2022, Cluj-Napoca, Romania.

11. **KONOPKO, L.**, dr.; *Diploma de Excelență și Medalia PRO INVENT*. Salonul Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii PRO INVENT, ediția a XX-a, 26-28 octombrie 2022, Cluj-Napoca, Romania.

**14. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în proiect în mass-media:**

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

**15. Teze de doctorat / postdoctorat susținute și confirmate în anul 2022 de membrii echipei proiectului**

**16. Materializarea rezultatelor obținute în proiect**

**17. Informație suplimentară referitor la activitățile membrilor echipei în anul 2022**

**Membru/președinte al comitetului organizatoric/științific, al comisiilor, consiliilor științifice de susținere a tezelor**

- Korotcenkov, Ghenadii / *Global Conference on Electronics and Electrical Engineering*, December 05-07, 2022, Seville, Spain. / Membru al comitetul științific. <https://www.pagesconferences.com/2022/electrical-electronics/committee>
- Korotcenkov, Ghenadii / *Global Experts Meet on Materials Science and Engineering (GEMMATERIALS-2022)*, November 7-9, 2022, Dubai, UAE / Membru al comitetul de organizare. <https://www.thescimeetings.com/committee.php?title=gemmaterials-2022>
- Korotcenkov, Ghenadii / *World Conference on Materials Science and Nanotechnology (WCMSN-2022)*, November 7-8, 2022, Bangkok, Thailand / Membru al comitetul de organizare. <https://eurasiaconferences.com/events/bangkok/2022/world-conference-on-materials-science-and-nanotechnology/committee>
- Korotcenkov, Ghenadii / *Global Conference on Renewable and Non Renewable Energy*, November 07-09, 2022, Valencia, Spain / Membru al comitetul științific. <http://www.pagesconferences.com/2022/renewable-nonrenewable-energy>
- Korotcenkov, Ghenadii / *2nd International Meet and Expo on Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures (SEMICONMEET 2022)*, September 12-14, 2022, Barcelona, Spain / Membru al comitetul științific. <https://www.albedomeetings.com/2022/semiconmeet/committee>
- Korotcenkov, Ghenadii / *Global webinar on Materials Science and Engineering (GWMSE-2022)*, August 29-31, 2022, online, 29-31 August 2022 / Membru al comitetul științific. <https://www.fratunmeetings.org/conference/Material-Science-and-Engineering>
- Korotcenkov, Ghenadii / *International Conference on Engineering Applications of Control Sensors (ICEACS 2022)*, July 19-20, 2022, Helsinki, Finland / Membru al comitetul științific. <https://waset.org/engineering-applications-of-control-sensors-conference-in-july-2022-in-helsinki>

- Korotcenkov, Ghenadii / *Global Summit and Expo on Materials Science and Engineering (GSEMSE 2022)*, May 26-28, 2022, Munich, Germany / Membru al comitetul de organizare. <https://www.thescientistt.com/materials-science-engineering/2022/>
- Korotcenkov, Ghenadii / *13th International Conference on Materials and Manufacturing Technologies (ICMMT-2022)*. April 22-24, 2022, Ho Chi Minh City, Vietnam / Membru al comitetul de conducere. <http://www.icmmt.org>
- Korotcenkov, Ghenadii / *2nd International Conference on Digital Manufacturing (ICDM-2022)*, April 22-24, 2022, Ho Chi Minh City, Vietnam / Membru al comitetul de conducere. <http://icdm.net/>
- Korotcenkov, Ghenadii / *International Conference on Control Sensors and Sensor Technology, ICCSST 2022, January 07-08 2022, Tokyo, Japan* / Membru al comitetul științific. <https://waset.org/control-sensors-and-sensor-technology-conference-in-january-2022-in-tokyo>

#### **Redactor / membru al colegiilor de redacție al revistelor internaționale**

- Brînzari, Vladimir / *Journal Applied Surface Science Advances* / Advisory Editorial Board member;
- Brînzari, Vladimir / *Studia Universitatis Moldaviae*, Seria „Științe exacte” / membru
- Korotcenkov, Ghenadii / *Sensors, Switzerland (FI=3.847)* / membru al Colegiului de Redacție;
- Korotcenkov, Ghenadii / *Universal Journal of Lasers, Optics, Photonics and Sensors (UJLOPS)* / membru al Colegiului de Redacție;
- Korotcenkov, Ghenadii / *Nanomaterials FIF=5.719)* / membru al Colegiului de Redacție;
- Korotcenkov, Ghenadii / *Current Chinese Chemistry* / membru al Colegiului de Redacție;
- Korotcenkov, Ghenadii / *Surface Engineering and Applied Electrochemistry (FI=0.2)* / membru al Colegiului de Redacție;
- Nica, Denis / *Applied Sciences (factor de impact (FI) = 2,679)* / membru al Colegiului de Redacție;
- Nica, Denis / *Applied Physics Letters, (FI = 3,791)* / recenzent oficial;

#### **Redactor / membru al colegiilor de redacție al revistelor naționale**

- Nica, Denis / *Studia Universitatis Moldaviae*, Seria „Științe exacte” / redactor-șef;
- Korotcenkov, Ghenadii / *Studia Universitatis Moldaviae*, Seria „Științe exacte” / membru al Colegiului de Redacție;
- Nica, Denis / *Moldavian Journal of Physical Sciences* / membru al Colegiului de Redacție;
- Rusu, Emil / *Moldavian Journal of Physical Sciences* / membru al Colegiului de Redacție.

#### **Membru al comisiilor științifice de susținere a tezelor**

- Korotcenkov, Ghenadii / membru al comisiei științifice, University Karlova, Prague, Czech Rep., teza de doctor lui **Oleksandr Leiko**, “*Study of physical and chemical properties of tin dioxide-based systems*” (28.06.2022).

## 18. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect (obligatoriu).

În cadrul etapei a treia a proiectului 20.80009.5007.02 „Materiale nanostructurate avansate pentru aplicații termoelectrice și senzori”, a fost continuată cercetarea proprietăților structurale, electronice și termice ale peliculelor (1) In-Sn-O-Ga,  $Zn_{1-x}Mg_xO$ ,  $In_{2x}Ga_{2(1-x)}O_3$ , Bi-Sn, SnS, ZnO/TiO<sub>2</sub>, (2) firelor SnO<sub>2</sub> și SnO<sub>2</sub>/NiO, cât și (3) ale nanotuburilor de siliciu cu secțiunea transversală variabilă.

Am demonstrat teoretic, că:

- (1) Defectele biatomare ale rețelei cristaline micșorează de peste 7 ori conductibilitatea termică de rețea a peliculelor din sistemul In-Sn-Ga-O datorită reconstrucției ramurilor energetice ale fononilor, cât și datorită amplificării împrăștierii 3-fononice.
- (2) Nanotuburile de siliciu cu secțiune transversală variabilă permit în mod eficient de a suprima transportul fononic datorită micșorării puternice a vitezei medii a modelor fononice.

În baza filmelor de SnS, obținute prin metoda depunerii magnetron, a fost elaborat procedeul de confectionare și au fost studiate caracteristicile tranzistorilor cu efect de câmp (FET) pentru domeniul 0.1 - 10 GHz. FET-urile SnS prezintă o pantă subprag (SS) sub 60 mV/decadă datorită feroelectricității în plan a SnS, atingând o valoare minimă SS = 21 mV/decadă. În soluția propusă SnS ultrasubțire cu polarizare electrică paralelă este atât canalul, cât și feroelectricul.

A fost elaborată instalația, care permite efectuarea recristalizării filmelor de Bi în câmp electric puternic cu ajutorul radiației laser cu lungimea de undă  $\lambda=450$  nm pentru obținerea filmelor monocristaline cu orientarea axei cristalografice predeterminate C<sub>3</sub>. În cadrul ciclului unic inițial erau executate elementele constructive ale traductorului fluxului de căldură, după ce era efectuat procesul de recristalizare. A fost executată o mostră de laborator a detectorului de flux de căldură pe suport de mica cu dimensiunea 15 x 15 mm<sup>2</sup>.

Au fost obținute filme de  $Zn_{1-x}Mg_xO$  cu valoarea  $x = 0 - 0.8$ , depuse prin metoda „spin coating” și depunere spray din soluții chimice și filme oxidice de  $(In_{1-x}Ga_x)_2O_3$  ( $x=0,2-0,95$ ), obținute prin împrăștiere magnetron. A fost elaborată structura fotoreceptorului multistrat cu heterojoncțiune Al/p-Si/n-Zn<sub>0.85</sub>Mg<sub>0.15</sub>O/n-Zn<sub>0.65</sub>Mg<sub>0.35</sub>O/Ag pe suport de Si. Au fost estimate responsivitatea (R) și detectivitatea (D\*) a fotoreceptorului, care constituie respectiv  $R \sim 460$  mA/W și  $D^* \sim 1.0 \times 10^{10}$  cm Hz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup>.

Pe baza rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului în anul 2022 au fost publicate **15** articole în reviste științifice (inclusiv **7** articole în reviste cu factor de impact ISI) și **11** teze ale lucrărilor conferințelor științifice internaționale și naționale. Au fost obținute **4** brevete de invenție.

Within the third stage of the project **20.80009.5007.02** “Advanced nanostructured materials for thermoelectric and sensor applications”, it was continued study of the structural, electronic and thermal properties of (1) films In-Sn-O-Ga,  $Zn_{1-x}Mg_xO$ ,  $In_{2x}Ga_{2(1-x)}O_3$ , Bi-Sn, SnS and ZnO/TiO<sub>2</sub>, (2) wires SnO<sub>2</sub> and SnO<sub>2</sub>/NiO as well as (3) of silicon nanotubes with modulated cross-sections.



**Executarea devizului de cheltuieli, conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare  
(la data raportării)**

Cifra proiectului: 20.80009.5007.02

**UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA**

**I. Buget (resurse generale)**

Cheltuieli, mii lei				
Denumirea	Cod Eco (k6)	Anul de gestiune 2022		
		Aprobat	Modificat +/-	Precizat
Remunerarea muncii angajaților conform statelor	211180	1100,8		1100,8
Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii	212100	264,2		264,2
<b>Total</b>		<b>1365,0</b>		<b>1365,0</b>

**II. Cofinanțare (venituri colectate interne)**

Cheltuieli, mii lei				
Denumirea	Cod Eco (k6)	Anul de gestiune 2022		
		Aprobat	Modificat +/-	Precizat
Remunerarea muncii angajaților conform statelor	211180	39,2		39,2
Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii	212100	9,4		9,4
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizitelor de birou	336110	1,4		1,4
<b>Total</b>		<b>50,0</b>		<b>50,0</b>

**INSTITUTUL DE INGINERIE ELECTRONICĂ ȘI NANOTEHNOLOGII „D.GHIȚU”**

Cheltuieli, mii lei				
Denumirea	Cod Eco (k6)	Anul de gestiune 2022		
		Aprobat	Modificat +/-	Precizat
Remunerarea muncii angajaților conform statelor	211180	1168,4	51,2	1219,6
Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii	212100	338,8	14,9	353,7
Deplasări în interes de serviciu peste hotare	222720	39,4	-5,1	34,3
Servicii neatribuite altor aliniate	222990	10,0		10,0
Indem. p/u incapacitatea temporară de muncă	273500	2,4		2,4
Procurarea mașinilor și utilajului	314110	4,00	18,8	22,8
Procurarea activelor nemateriale	317110	0,4		0,4
Procurarea pieselor de schimb	332110	0,6		0,6
Procurarea materialelor p/uscopuri didactice, Itiințifice și alte scopuri	335110	15,0	-13,2	1,8
<b>Total</b>		<b>1579,00</b>	<b>66,6</b>	<b>1645,6</b>

Conducătorul organizației  / dr., ȘAROV, Igor

Contabil șef  / COJOCARU, Liliiana

Conducătorul de proiect  / dr. hab. NICA, Denis

Data: \_\_\_\_\_



**Componența echipei proiectului**  
**Cifrul proiectului 20.80009.5007.02**

<b>Echipea proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului)</b>						
<b>UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA</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.	Nica Denis	1979	doctor habilitat	0,5 (8 luni) 1 (4 luni)	03.01.2022	Transfer pe 1,0 unitate din 01.09.2022
2.	Korotcenkov Ghennadii	1949	doctor habilitat	1	03.01.2022	
3.	Brinzari Vladimir	1954	doctor	1	03.01.2022	
4.	Cocemasov Alexandr	1987	doctor	1	03.01.2022	
5.	Cliucanov Alexandr	1944	doctor habilitat	0,75	03.01.2022	
6.	Zincenco Nadejda	1982	doctor	0,5	03.01.2022	
7.	Vatavu Elmira	1978	doctor	0,5	03.01.2022	
8.	Isacova Calina	1983		1	03.01.2022	
9.	Crîșmari Dmitrii	1984		0,25	03.01.2022	
10.	Taracanova Larisa	1945		0,5	03.01.2022	
11.	Gaiu Nicolai	1964		1	03.01.2022	
12.	Ivanov Mihail	1948	doctor	0,5	03.01.2022	
13.	Ascherov Artur	1982		0,5	03.01.2022	
14.	Ciopcic Veaceslav	1964		0,5	03.01.2022	
15.	Isac-Guțul Tatiana	1977	doctor	0,5	03.01.2022	
16.	Crețu Raisa	1959		0,5	03.01.2022	
17.	Tacu Nina	1947		0,25	03.01.2022	
18.	Beldiga Maria	1984	doctor	0,25	03.01.2022	
19.	Ciopcic Irina	1998		0,5	03.01.2022	
20.	Carpov Emanuil	1998		0,5	03.01.2022	
21.	Vaneev Alexandr	1998		0,5	03.01.2022	
<b>INSTITUTUL DE INGINERIE ELECTRONICĂ ȘI NANOTEHNOLOGII „D.GHIȚU”</b>						
22.	Rusu Emil	1944	Dr.hab	1	03.01.2020	
23.	Ghimpu Lidia	1961	Dr.	0,5	03.01.2020	
24.	Curmei Nicolai	1989	Dr.	0,5	03.01.2020	
25.	Slobodeniuc Constantin	1957		0,25	03.01.2020	
26.	Leporda Nicolai	1951	Dr.	0,5	03.01.2020	
27.	Cojocaru Victor	1964	Dr.	0,5	03.01.2020	
28.	Suman Victor	1967		1	03.01.2020	
29.	Morari Vadim	1992	Doctorant	1	03.01.2020	
30.	Beleaev Ecaterina	1997		0,5	03.01.2020	

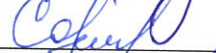
31.	Nikolaeva Albina	1941	Dr.hab	1	03.01.2020	
32.	Bodiul Pavel	1938	Dr.hab	0,25	03.01.2020	
33.	Konopko Leonid	1949	Dr.	1	03.01.2020	
34.	Popov Ivan	1960		1	03.01.2020	
35.	Para Gheorghe	1970	Dr.	1	03.01.2020	
36.	Kobîlianskaya Ana	1983	Dr.	0,5	03.01.2020	04.05.2022
37.	Gherghișan Igor	1972	Doctorant	0,5	03.01.2020	
38.	Pencala Victor	1998		0,25 (5,5 luni) 0,5 (6,5 luni)	03.01.2020	Transfer pe 0,5 unitate din 13.06.2022
39.	Șiverschii Denis	1998		0,25	03.01.2022	04.07.2022

Pondereea tinerilor (%) din numărul total al executorilor <b>conform contractului de finanțare</b>	9 tineri (pina la 35) 23%
--	---------------------------

Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2022					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării
1.	Smislov Vladimir	1950	angajat	0,25	13.06.2022

Pondereea tinerilor (%) din numărul total al executorilor <b>la data raportării</b>	8 tineri (pina la 35) 21%
---	---------------------------

Conducătorul organizației  / dr., ȘAROV Igor

Contabil șef  / COJOCARU Liliana

Conducătorul de proiect  / dr. hab. NICA, Denis

Data: \_\_\_\_\_

