

**RECEȚIONAT**

Agenția Națională pentru Cercetare  
și Dezvoltare,  
director general dr. hab.

**Aurelia Hanganu** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2024

**AVIZAT**

Secția Secția Științe Exacte și  
Inginerești a AȘM,  
conducător dr. hab., m. cor.

**Svetlana Cojocaru** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2024

**RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL****pentru perioada 2020-2023****privind implementarea proiectului din cadrul  
Programului de Stat (2020–2023)**

Proiectul ”*Dispozitive fotovoltaice cu elemente active din noi materiale calcogenice  
obținute prin tehnologii economic accesibile*”

Cifrul proiectului: **20.80009.5007.03**

Prioritatea Strategică: **Competitivitate economică și tehnologii inovative**

Rectorul USM

**Igor Șarov** \_\_\_\_\_

Consiliul științific al IFA

**Olga Șikimaka** \_\_\_\_\_

Conducătorul proiectului

**Ernest Arușanov** \_\_\_\_\_

Chișinău 2024

## CUPRINS:

1. Scopul proiectului
2. Obiectivele proiectului 2020–2023
3. Rezultate planificate
4. Rezultatele obținute
5. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului
6. Infrastructura de cercetare utilizată în cadrul proiectului
7. Colaborare la nivel național/ internațional în cadrul implementării proiectului
8. Dificultățile în realizarea proiectului
9. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de publicații
10. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de prezentări la foruri științifice
11. Aprecierea și recunoașterea rezultatelor obținute în proiect (premii, medalii, titluri, alte aprecieri)
12. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în proiect în mass-media
13. Teze de licență / master / doctorat / postdoctorat susținute și confirmate pe parcursul anilor 2020-2023 de membrii echipei proiectului
14. Materializarea rezultatelor obținute în proiect (cu specificarea aplicării în practică)
15. Informație suplimentară referitor la activitățile membrilor echipei
16. Recomandări, propuneri.
17. Concluzii
18. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în perioada 2020-2023 (Anexa nr. 1)
19. Lista publicațiilor științifice pentru perioada 2020-2023 (Anexa nr. 2)
20. Volumul total al finanțării proiectului pentru perioada 2020-2023 (Anexa nr. 3)
21. Componența echipei pe parcursul anilor 2020-2023 (Anexa nr. 4)
22. Raportarea indicatorilor (Anexa nr. 5)

## 1. Scopul proiectului

Obținerea de noi materiale și dezvoltarea unor noi tehnologii performante în beneficiul societății.

## 2. Obiectivele proiectului 2020–2023

1. Cercetarea proprietăților fizico-chimice ale materialelor de tip kesterit  $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{IV}}\text{X}_4$  (unde  $\text{A}^{\text{II}} = \text{Zn}, \text{Cd}$ ;  $\text{B}^{\text{IV}} = \text{Si}, \text{Ge}, \text{Sn}$  și  $\text{X} = \text{S}, \text{Se}$ );
2. Elaborarea și optimizarea procedurii de obținere a straturilor subțiri de  $(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{Zn}(\text{Cd})\text{Sn}(\text{S}, \text{Se})_4$  cu diferite compoziții prin metoda de spray piroliză;
3. Formarea heterojoncțiunii de tip  $(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{Zn}(\text{Cd})\text{Sn}(\text{S}, \text{Se})_4/\text{CdS}$  în baza straturilor subțiri de tip kesterit cu compoziție diferită;
4. Studiul proprietăților fizice ale joncțiunii și a transparenței acesteia pentru undele lungi a spectrului radiației solare;
5. Studiul proprietăților fotovoltaice ale joncțiunii elaborate;
6. Studiul influenței proprietăților optice ale atmosferei asupra radiației solare incidente pe suprafața terestră;
7. Obținerea joncțiunilor de Si/ITO în calitate de componentă secundă a dispozitivului fotovoltaic tandem;
8. Asamblarea dispozitivului fotovoltaic tandem și demonstrarea funcționalității acestuia;
9. Cercetarea și dezvoltarea prototipurilor multifuncționale bazate pe nanostructuri stratificate din sticle calcogenice și straturi subțiri de azopolimeri pentru fabricarea diferitelor structuri importante din punct de vedere tehnologic, obținute folosind fascicule luminoase / electronice și care necesită modificări de suprafață la scară nano și micro;
10. Dezvoltarea unor noi metode de polarizare și holografie digitală pentru studiul transformărilor structurale fotoinduse în straturi nanometrice de sticle calcogenice și azopolimeri;
11. Proiectarea proceselor care presupun înregistrarea EOD cu proprietăți specifice de polarizare.

## 3. Rezultate planificate

- Caracterizarea complexă din punct de vedere structural și chimico-fizic a materialelor semiconductoare de tip kesterit  $\text{Cu}_2(\text{Zn}, \text{Cd})\text{SnS}_4$ ,  $\text{Cu}_2\text{ZnGe}(\text{S}, \text{Se})_4$  și  $(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{ZnSn}(\text{S}, \text{Se})_4$ ;
- Procedee eficiente și de cost redus care permit obținerea componentei dispozitivului tandem în baza materialelor ne toxice de tip kesterit în straturi subțiri, prin formarea heterojoncțiunii kesterit/CdS;
- Procese fizice de asamblare a componentelor dispozitivului fotovoltaic tandem, care include plasarea celulei solare în baza heterojoncțiunii kesterit/CdS în calitate de convertor al radiației solare de unde scurte pe celula solară Si/ITO, elaborată de echipa proiectului, în calitate de suport și de convertor al radiației solare de unde lungi;
- Date noi despre influența proprietăților optice ale atmosferei asupra radiației solare incidente pe suprafața terestră;

- Structuri nanometrice noi pe bază de sticle calcogenice și straturi subțiri de azopolimeri pentru holografie scalară și vectorială;
- Noi metode holografice digitale și de polarizare utilizate pentru înregistrarea optică într-un singur pas pe suporturile elaborate;
- Prototipuri de elemente optice de difracție (EOD) cu proprietăți bine determinate realizate pe suporturile din sticle calcogenice și azopolimeri elaborate.

#### 4. Rezultatele obținute

Pe întreaga durată a proiectului au fost realizate lucrări de optimizare a procedurilor tehnologice de obținere a compușilor de tip kesterit sub formă de policristale, monocristale, straturi subțiri, a altor materiale componente care se folosesc în structuri fotovoltaice, precum și a straturilor subțiri de azopolimeri pentru elemente optice de difracție cu proprietăți noi, îmbunătățite. De asemenea, lucrările au fost combinate cu procese de studiu avansat ale proprietăților fizico-chimice ale acestor materiale, în scopul identificării metodelor de control al caracteristicilor acestora la etapa de obținere, depunere sau/și prelucrare.

În particular, au fost optimizate procesele tehnologice de sinteză și de creștere ale policristalelor, monocristalelor și straturilor subțiri de  $(\text{Ag,Cu})_2\text{Zn}(\text{Cd})\text{Sn}(\text{S,Se})_4$  (ACZCdTSSe) de calitate înaltă. Pentru studiul compoziției și caracteristicilor structurale ale eșantioanelor au fost utilizate metodele EDX, spectroscopia Raman și spectroscopia XRF. Prin studiul efectelor temperaturii de sulfurare a straturilor subțiri de  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  (CZTS) s-a demonstrat că acesta este un proces inevitabil pentru a produce materiale absorbante de  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$  (CZTSSe) de calitate înaltă. Selectarea temperaturii de sulfurare este un factor deosebit de important care poate afecta calitatea finală a filmelor CZTSSe și a performanței celulelor solare pe baza lor. Procedeu elaborat de tratare termică combinat în două etape, a demonstrat posibilitatea de obținere a materialului CZTSSe de cea mai înaltă calitate, care conține cele mai mari dimensiuni ale cristalitelor, o densitate redusă a defectelor și cea mai scăzută dezordine structurală. Rezultatele subliniază, de asemenea, importanța utilizării  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  ca strat injector pentru fabricarea celulelor solare CZTSSe cu parametri de performanță reproductibili. Celulele solare pe bază de CZTSSe fabricate din straturi subțiri de CZTS, sulfurate la  $420^\circ\text{C}$ , au prezentat eficiență de până la 3,48%, cu o medie de 3,1% și o abatere standard de 0,38%. Lucrările efectuate demonstrează că optimizarea condițiilor de sulfurare și selenizare, alegerea adecvată a stratului injector sunt factori importanți pentru îmbunătățirea în continuare a calității și performanței celulelor solare în baza filmelor de CZTSSe obținute prin tehnica de spray-piriliză.

De asemenea, au fost investigate, la nivel avansat, proprietățile de transport ale soluțiilor solide de CZTSSe (probe pulbere) și  $\text{Cu}_2(\text{Zn,Cd})\text{SnS}_4$  (CZCdTS) (monocristale) într-un interval larg de temperatură, cu determinarea principalelor mecanisme de conductibilitate și a unui set de parametri electronici caracteristici importanți. O atenție deosebită a fost acordată cercetării influenței gradului de dezordine structurală asupra parametrilor electronici ai compusului CZTSSe. Rezultatele obținute conduc la ideea că anume dezordinea structurală în substructura Cu/Zn este probabil factorul decisiv responsabil pentru apariția benzii acceptoare și a mecanismelor complicate

de transfer al sarcinilor observate în compușii de acest tip. În cazul probelor CZCdTS, magnetorezistența măsurată în câmp magnetic pulsat de până la 20 T, la diferite temperaturi, este guvernată cu preponderență de contribuția pozitivă. Parametrii electronici caracteristici au arătat o dependență sistematică de concentrația atomilor de Zn. Ideea încorporării Cd în rețeaua monocristalelor de CZTS urmărea descreșterea concentrației defectelor dăunătoare de  $\text{Cu}_{\text{Zn}}$  prin minimizarea deficitului de Zn. Totuși, în urma investigațiilor s-a obținut că prezența Cd-ului nu determină nici o îmbunătățire a spectrului defectelor de delocațiune  $\text{Cu}_{\text{Zn}}$  în probele monocristaline respective. Pe de altă parte, utilizarea Cd-ului ca înlocuitor pentru Zn în straturile subțiri de tip kesterit a redus probabilitatea formării unor faze secundare dăunătoare și a unor defecte de delocațiune care determină performanța scăzută a dispozitivelor fotovoltaice pe baza lor. În straturile subțiri de CZCdTS și CZTS netratate termic au fost detectate faze secundare de CuS, ZnS, CTS. La un conținut mai scăzut de Cd, nu a existat o variație semnificativă a fazei cristaline, pe când în straturile subțiri cu conținut ridicat de Cd s-a observat transformarea din faza kesterit în faza stanit, precum și o modificare a constantelor rețelei. În general, s-a observat că creșterea conținutului de Cd a dus la deplasarea spre roșu a pragului de absorbție și la optimizarea indicelui de refracție și a constantei dielectrice. Îmbunătățirea proprietăților optice ale straturilor subțiri de tip kesterit cu adăugarea de Cd sugerează o bună aplicabilitate ca strat absorbant de tip p în dispozitive fotovoltaice. Adicional, în cazul straturilor subțiri de CZTS tratate termic, temperatura ridicată a eliminat conținutul amorf din probe, făcând ca particulele să se unească și să formeze particule mai mari și mai uniforme, determinând o cristalinitate îmbunătățită și confirmând încă o dată faptul că proprietățile materialelor kesterite pot fi optimizate prin acest tratament post-depunere. Lărgimea benzii interzise a straturilor subțiri tratate termic, la fel, s-a îmbunătățit în comparație cu filmele subțiri netratate termic.

În paralel, a fost inițiat studiul proprietăților optice ale soluțiilor solide de  $\text{Cu}_2\text{Zn}(\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x})\text{Se}_4$  (CZGSiSe). În acest context, au fost obținute spectrele de elipsometrie și Raman ale probelor de CZGSiSe cu valoarea  $x = 0.4$  și  $0.8$ . Spectrele EDX au arătat o compoziție apropiată de stoichiometrie a eșantioanelor. Spectrele de împrăștiere Raman nu au arătat prezența nici unei faze secundare. Aspectul general al acestora a demonstrat că principala fază este cea cuaternară.

Au fost investigate heterojoncțiunile  $(\text{Ag}_x\text{Cu}_{1-x})_2\text{ZnSnS}_4/\text{CdS}$  în calitate de dispozitive fotovoltaice cu trei arhitecturi diferite. În testarea dispozitivelor fotovoltaice, cu scopul optimizării eficienței acestora, au fost utilizate trei metode de depunere a filmelor de CdS. Investigarea comparativă a metodelor de formare a regiunilor intermediare în celulele solare ITO/n-Si a urmărit optimizarea parametrilor fotovoltaici pentru utilizarea celulelor în structurile tandem cu joncțiunile în baza materialelor kesterite de tipul  $(\text{Ag}_x\text{Cu}_{1-x})_2\text{ZnSnS}_4/\text{CdS}$ . Metoda de oxidare a suprafeței plachetelor de siliciu în mediul ambiant la temperatura de 450-500°C timp de 10-15 minute a demonstrat formarea straturilor subțiri  $\text{SiO}_x$  de grosimi nanometrice, ceea ce permite obținerea randamentului de conversie fotovoltaică de valori potrivite pentru utilizarea celulelor solare menționate în structuri tandem. Prin depunerea straturilor subțiri compozite, activate cu nano- și microparticule din materiale semiconductoare (CdS:Cu+lac acrilic), pe partea frontală a celulei solare ITO/n-Si, a fost demonstrată posibilitatea extinderii fotosensibilității acestora în domeniul UV al radiației solare. A fost evaluată stabilitatea termică a heterojoncțiunilor CZTSe/CdS din

interiorul dispozitivelor fotovoltaice SLG/Mo/CZTSe/CdS/i-ZnO/ITO și s-a observat că tratamentele termice post-depunere asupra stratului CZTSe/CdS conduc la îmbunătățirea eficienței dispozitivului întreg datorită îmbunătățirii calității stratului tampon CdS, în timp ce absorbantul CZTSe prezintă un impact negativ asupra eficienței. Analiza spectrelor de împrăștiere Raman ale stratului de CdS a relevat o posibilă recrystalizare a acestuia, care poate fi considerată cauza principală a creșterii eficienței celulelor solare.

În cadrul ultimei etape a proiectului s-a lucrat și la obținerea elementelor constitutive pentru o structură tandem pe bază de Si/kesterit, încercându-se asamblarea monolitică a acestora într-o structură fotovoltaică. S-au realizat lucrări de obținere a straturilor de calitate sporită de FTO (stratul transparent de contact), c-Si și s-au utilizat straturile de kesterit obținute și studiate la etapele precedente. Pentru conectarea monolitică a componentelor au fost încercate mai multe configurații și optimizări. Eficiența unui dispozitiv tandem depinde puternic de eficiența celulei solare superioare – care, în acest caz, era pe bază de kesterit. Deși pentru calitatea straturilor de tip kesterit am obținut un progres semnificativ pe durata lucrărilor, această componentă încă necesită optimizări complexe pentru a putea fi folosită într-un dispozitiv tandem cu eficiență ridicată. Pe baza simulărilor realizate, am obținut că este necesar un strat antireflectant mai specializat (cum ar fi MgF) și că stratul de encapsulare folosit de noi nu este suficient de efectiv, deși după adăugarea stratului de encapsulare am obținut o ușoară îmbunătățire a caracteristicilor. Acest fapt sugerează că o mare parte din pierderi se datorează reflexiei radiației incidente. Este necesară și optimizarea contactului din spate a structurii, care constă dintr-un strat de p+BSF la interfața din spate a stratului absorbant de kesterit. Totuși cea mai mare problemă constă în timpul de viață foarte mic al purtătorilor de sarcină în stratul absorbant pe bază de kesterit (CZGSe). Acest aspect poate fi legat de dimensiunile mici ale granulelor care determină un număr mare de granițe intergranulare, dar și de limitările fundamentale ale materialelor de tip kesterit, care se caracterizează printr-o cantitate mare de defecte punctuale de substituție, vacanțe sau dezordine cationică (după cum a fost determinat în cadrul studiului mai multor serii de eșantioane la etapele 1, 2 și 3 ale proiectului). Pentru a diminua aceste defecte este necesar un control precis al compoziției compușilor de tip kesterit, controlul sporit al tratamentului termic și al procesului de depunere al pelicolelor. Pentru utilizarea celulelor solare pe bază de kesterite în structuri tandem este, de asemenea, necesară alegerea unei grosimi și a unei benzi interzise optimale. În final, stratul buffer trebuie să aibă o aliniere bună de bandă cu banda interzisă largă a componentei pe bază de kesterit (soluții solide de Zn(O,S) sau (Zn,Cd)S). Optimizarea celulei primare pe bază de Si este, la fel, necesar de luat în considerare. Chiar dacă în cadrul studiului nu s-a reușit obținerea unei structuri reale Si/kesterit, rezultatele privind îmbunătățirea timpului de viață al purtătorilor de sarcină a stratului de Si după depunerea stratului absorbant de tip kesterit de-asupra sunt promițătoare. De asemenea, sunt necesare studii avansate adiționale pentru identificarea procedeele optime de conectare a componentelor unor astfel de structuri. Aceste studii urmează a fi realizate în continuare.

Pentru studiul influenței proprietăților optice ale atmosferei asupra radiației solare incidente pe suprafața terestră, au fost înregistrate în regim continuu date experimentale noi ale nivelurilor de radiație solară și a grosimii optice a aerosolilor atmosferici la stația terestră a IFA USM, mun Chișinău.

În paralel, au fost conduse lucrări de îmbunătățire a tehnologiei computerizate de depunere în vid a nanostructurilor multistrat realizate din sticle calcogenice, cu posibilitatea de control a condițiilor de depunere a materialului. A fost elaborată metoda nouă “rod-coating” pentru obținerea straturilor subțiri de azopolimeri cu grosimea mai mică de 1 μm. Au fost studiați parametrii optici ai structurilor și ai straturilor obținute.

Au fost obținute straturi subțiri de azopolimer nou fotosensibil. Acesta a fost sintetizat prin polimerizarea poli-n-epoxipropil carbazolului (PEPC) cu cromoforul Solvent Yellow (SY3). Polimerizarea PEPC s-a realizat prin copolimerizarea polimerului cu azocolorantul SY3. În conformitate cu spectrul de transmitanță, pentru lungimea de undă 473 nm, transmitanța este de 19% și pentru o lungime de undă de 532 nm, transmitanța azopolimerului este de 65%. Au fost înregistrate modelele de interferență ale luminii reflectate din regiunea azopolimerului depus și regiunea substratului de sticlă. Software-ul OpticMeter, elaborat în cadrul proiectului, a fost utilizat pentru procesarea de înaltă precizie a interferogramelor. Grosimea filmelor era egală cu  $1,0 \pm 0,027$  μm și se calculează prin măsurarea deplasărilor corespunzătoare ale liniilor. Înregistrarea holografică a fost realizată prin trei configurații ale sistemului optic.

Simularea pe calculator a caracteristicilor elementelor optice de difracție (EOD) elaborate a arătat că distribuția intensității pe ordinele de difracție este determinată de valorile contrastului rețelelor în formă de furcă individuală. Această abordare face posibilă generarea unei game largi de fascicule optice vortex cu diferite sarcini topologice și intensitate controlabilă. A fost demonstrată posibilitatea fabricării rețelelor în formă de furcă (RFF) complexe pe nanomultistraturi (NMLS) de  $As_2S_3$ -Se fabricate prin metodă holografică analogică polarizată. Aceste RFF permit generarea uni- și bidimensională a fasciculelor optice vortex cu sarcină topologică necesară. S-a folosit o placă de fază în formă de spirală pentru generarea de fascicule optice vortex care interferează cu un fascicul Gaussian pentru fabricarea rețelelor unidimensionale utilizate în fiecare dintre cele două etape ale procesului de înregistrare laser. Rețelele de difracție înregistrate prin metoda holografică digitală polarizată fac posibilă formarea de fascicule cu fază vortex (spiralată). Eficiența de difracție a acestor rețele nu depășește 3,5%, dar crește odată cu creșterea înălțimii profilului de relief. Prin urmare, studiile ulterioare vor avea ca scop creșterea înălțimii reliefului format al structurilor de difracție înregistrate.

Toate aceste materiale obținute și studiate pe durata desfășurării proiectului se caracterizează prin potențial înalt de utilizare în calitate de componente ale diferitor dispozitive fotovoltaice și fotonice. Calitatea înaltă a rezultatelor obținute pe parcursul anilor 2020 – 2023 este demonstrată prin publicarea acestora în reviste științifice recenzate cu factor de impact înalt și prin prezentarea lor în cadrul mai multor conferințe internaționale.

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

Elaborările de materiale noi, de tehnologii eficiente și low-cost de depunere a straturilor subțiri pentru structuri fotovoltaice, de metodici de cercetare moderne, de metode eficiente de înregistrare a informației optice și a radiației IR și UV vor avea un impact considerabil științific și

tehnologic la nivel național și internațional. Acestea sunt de interes pentru întreaga comunitate științifică globală, întrucât valorificarea surselor regenerabile de energie ecologic inofensive, dezvoltarea de materiale noi și valorificarea potențialului materialelor clasice pentru fotovoltaică și optoelectronică este unul din proiectele cele mai dinamice ale industriei mondiale. Impactul științific fundamental instant constă în elaborarea conceptelor și tehnologiilor optimizate pentru design-ul materialelor cu proprietăți interesante și publicarea rezultatelor în reviste științifice recenzate cu factor de impact înalt pe parcursul anilor 2020-2023. Rezultatele și experiența obținute de echipa de executanți pe parcursul realizării proiectului au fost folosite la instruirea specialiștilor în optoelectronică și fotovoltaică la Universitatea de Stat din Moldova, Universitatea Tehnică a Moldovei și în cadrul Institutelor de cercetare de profil din țară și de peste hotare pe durata stagiilor de practică, conferințelor, delegărilor. În perspectivă, rezultatele obținute în cadrul proiectului vor contribui la asigurarea și ridicarea nivelului științifico-didactic a studenților și masteranzilor și acumularea de date noi pentru completarea fondului științific global.

## **6. Infrastructura de cercetare utilizată în cadrul proiectului**

Realizarea sarcinilor stabilite pentru atingerea scopului proiectului a avut loc atât în laboratoarele Institutului de Fizică Aplicată a Universității de Stat din Moldova (IFA USM), dar și în cele ale unităților de cercetare din țară și de peste hotare (Germania, Spania, Finlanda, Belarus, Rusia, Maroc, Africa de Sud, Lituania etc.) cu care echipa de cercetare a proiectului colaborează. Probele monocristaline și policristaline de kesterit au fost crescute atât la IFA USM cu utilizarea cuptoarelor și instalațiilor de creștere din dotarea institutului, precum și la Universitatea de Informatică și Radioelectronică din Belarus (BSUIR, Belarus). Straturile subțiri metalice și semiconductoare pentru structurile fotovoltaice au fost depuse în cadrul IFA USM folosindu-se instalația automată ultrasonoră de acoperire prin pulverizare pirolitică CY-MSK-USP-02, instalații de vid VUP-4 (două unități), instalații pentru producerea de straturi subțiri prin pulverizare pirolitică (4 buc). Măsurătorile compoziției pentru probele de tip kesterit și a straturilor subțiri au fost realizate la instalația INCA Energy 200 EDX system (Oxford Instruments) atașată la un microscop cu scanare electronică (SEM) TESCAN VEGA 5130 MM din cadrul Universității Tehnice din Moldova (UTM) precum și la Analizatorul de fluorescență AFRX „X-Calibur” din dotarea Laboratorului Materiale pentru Fotovoltaică și Fonică a IFA USM. O parte din dependențele rezistivității de temperatură au fost măsurate la IFA USM la echipamentul modern din dotare iar cele în câmp magnetic de intensitate mare - la Universitatea Tehnică din Lapeenranta (Finlanda) cu utilizarea consumabilelor (Azot, Helium, soluții pentru pregătirea probelor de măsurători, etc) puse la dispoziție de către partea finlandeză. Spectrele Raman au fost măsurate cu utilizarea monocromatorului Horiba Jobin-Yvon FHR 640 cuplat la un detector CCD la Institutul Catalan de Cercetare în Energetică IREC (Spania). Pregătirea probelor pentru măsurătorile elipsometrice, care include tăierea acestora în plachete, șlefuirea și analiza suprafeței la microscop, a avut loc la Universitatea Autonomă din Madrid (Spania) iar spectrele elipsometrice au fost măsurate la instalația din dotarea Institutului de Optică "Daza de Valdés" din Madrid (Spania). Studiul structurii probelor a fost realizat la centrul Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) (Germania). Analiza



proprietăților optice (transmitanță, reflexie, fotoluminescență, absorbție, etc.) au fost măsurate la Universitatea Mohammed V din Rabat (Maroc) și la Universitatea Western Cape din Cape Town (Adrica de Sud). Toate datele experimentale au fost analizate și prelucrate la IFA USM cu ajutorul calculatoarelor moderne din dotare cu utilizarea programelor Origin, MathCad și altor soft-uri specializate. Pregătirea probelor pentru măsurătorile compoziționale și de transport a fost realizată cu utilizarea consumabilelor (soluții de degresare, fire pentru contacte, indiu, plachete de sticlă, eprubete, hârtie de filtru, etc.) în laboratoarele IFA USM.

Pentru studiul straturilor subțiri și a heterojoncțiunilor formate a fost folosit aparatul de evaluare a parametrilor celulelor solare ST1000 (IFA USM), instalație de efectuare a măsurătorilor de parametri electrici ai materialelor solide într-un interval larg de temperaturi (IFA USM), spectrofotometru SPECORD UV-VIS dublu-fascicul (IFA USM), Spectrofotometru Proscan MC 122 UV-VIS dublu-fascicul din dotarea BSUIR. Structura și compoziția straturilor subțiri a fost analizată cu ajutorul difractometrului X'PERT-MPD (Philips) cu sursă de radiație  $\text{CuK}\alpha_{1,2}$  (1.5405 Å, 1.5444 Å) și a Microscopului cu Scanare Electronică (SEM) TESCAN VEGA din dotarea Helmholtz-Centrum Berlin (Germania).

Straturile de azopolimeri au fost obținute și analizate la IFA USM în Laboratorul de holografie digitală și optică. În acest sens au fost utilizate microscopul holografic digital (un dispozitiv eficient pentru vizualizarea 3D a probelor transparente de dimensiuni micrometrice), mese holografice, Lasere DPSS (532 nm, 100 mW; 473 nm, 100 mW), lasere de gaz (He-Ne 633 nm, 50 mW; He-Cd 442 nm 10 mW), lasere semiconductoare, camere CMOS și CCD, componente optice și mecanice: lentile, oglinzi, cuburi de divizare a luminii, polarizatoare, plăci de jumătate de undă și sfert de undă, modulatori optici tridimensionali LC 2002 (producător HOLOEYE, Germania) pentru înscrierea hologramelor digitale, sistem automat de măsurare a eficacității de difracție a hologramelor, spectrofotometru UV-VIS pentru măsurarea automatizată (digitală) a spectrelor optice de transparență, reflecție și absorbție ale materialelor sintetizate în domeniul spectral 200-800nm, Software: LabVIEW, Matlab, OpticMeter. Pentru Sintetizarea și depunerea materialelor fotosensibile pentru utilizarea ca medii de înregistrare a hologramelor au fost utilizate sistemul centrifugal de depunere a straturilor subțiri SCS P-8" Spin Coater, agitatorul magnetic cu încălzire, centrifuga, balanța, echipamentul cu ultrasunete, suporturi multifuncționale, aparatură specializată de laborator pentru efectuarea diverselor experimente, precum eprubete, ustensile, substanțe chimice, dulap de uscarea a peliculelor subțiri, baie cu ultrasunet pentru prepararea soluțiilor, echipament și veselă chimică.

Pentru depozitarea straturilor subțiri și nanomultistraturilor obținute prin evaporarea termică în vid s-au utilizat instalații de vid pentru evaporarea termică a sticlelor calcogenice computerizată, cântar analitic, masă optică pentru determinarea proprietăților optice a straturilor subțiri obținute, spectrofotometru Specord M40 pentru măsurarea automatizată (digitală) a spectrelor optice de transparență și absorbție în domeniul spectral 200-900 nm, microscop interferometric modernizat MII-4 pentru determinarea în mod digital a grosimilor straturilor subțiri (de la zeci nm până la câțiva μm), elipsometrul cu laser (633nm) pentru determinarea indicelui de refracție și grosimea straturilor.

Toate instalațiile utilizate sunt echipate cu calculatoare moderne cu conexiune la internet pentru prelucrarea datelor experimentale.

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

Pe parcursul anilor 2020 – 2023, echipa proiectului a colaborat cu Universitatea Tehnică a Moldovei, Universitatea de Stat din Moldova și Institutul Inginerie Electronică și Nanotehnologii (D.Ghițu) pentru schimb de experiență, realizarea unor măsurători și în scop didactic.

La nivel internațional, echipa de cercetare a ținut legături în scopuri științifice cu colegii care activează în domeniul opticii computerizate, holografiei digitale și analogice, cercetării materialelor semiconductoare din așa centre ca Universitatea din Stuttgart (Germania), Institutul Fizicii Semiconductorilor “V. E. Loshkarev” (Ucraina), Universitatea din Debrecen (Ungaria), Universitatea din Pardubice (Republica Cehă). De asemenea, pentru obținerea și studiul materialelor de tip kesterit, Si și a altor componente pentru structuri fotovoltaice, echipa proiectului a realizat cercetări în comun cu colegii din Universitatea din Western Cape (Africa de Sud), Facultatea de Științe a Universității Mohammed V din Rabat (Maroc), Universitatea de Stat din Belarus, Centrul Științific Kazan al Academiei de Științe din Rusia (Rusia), Universitatea Autonomă din Madrid și Institutul de Optică "Daza de Valdés" (Spania), Institutul Catalan de Cercetare în Energetică (IREC, Spania), Laboratoarele CENTERA ale Institutului de Fizica Presiunilor Înalte a Academiei de Științe Poloneze (Polonia), Universitatea Tehnică din Lappeenranta (Finlanda), Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) (Germania), UAB Modernios E-Technologijos (MET) și Centrul de Științe Fizice și Tehnologie (Lituania). Datele colectate din măsurătorile radiației solare și a aerosorilor atmosferici au fost trimise la World Radiation Data Center (WRDC) GAW WMO, World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOUDC) GAW WMO (Canada), MINES Paris, PSL University, Centre Observation Impacts Energy (O.I.E.) (Franța), Deutscher Wetterdienst (DWD) (Germania), TRANSVALOR S.A. Dpt. TRANSVALOR Innovation (Franța).

Ca urmare a cercetărilor comune cu oamenii de știință din centrele menționate, în anii 2020 – 2023 au fost publicate mai multe articole științifice în jurnale internaționale cu factor de impact înalt iar mai multe rezultate au fost diseminate la conferințe și forumuri științifice.

## **8. Dificultățile în realizarea proiectului**

Deși, datorită membrilor echipei care se află la stagii de practică în centre de cercetare de peste hotare, nu au existat dificultăți critice în realizarea proceselor experimentale planificate, pe durata pandemiei COVID care s-a suprapus cu perioada de realizare a proiectului, unele procese, materiale și rezultate au necesitat mai mult timp pentru executare, livrare, prelucrare decât a fost planificat la etapa de depunere a proiectului.

Totuși, principalele dificultăți, pe parcursul realizării obiectivelor din cadrul proiectului, au fost legate de distribuirea tardivă a resurselor financiare alocate procurării de materiale necesare procesului de cercetare (care, de obicei, se realiza cu mult după a doua jumătate a etapelor fiecărui an). Aici impactul ar fi determinat și de procesele birocratice și administrative (uneori formale dar care consuma timp) care încetinesc progresul proiectelor, impunând obstacole în accesarea fondurilor și aprobarea bugetelor necesare. Cum e posibil de planificat la 1 ianuarie un preț corect pentru un articol de achiziționat, atunci când banii se alocă efectiv peste 6-8 luni, iar prețul de

achiziție și logistică s-a majorat considerabil în acest timp, sau acel articol nu mai este necesar deja la etapa respectivă? Ca efect în lanț, urmează argumentarea necesității modificărilor respective de către executori și trecerea prin procesul anevoios de aprobare a lor la nivel birocratic. Aceste aspecte ne-au forțat să folosim surse alternative sau legături cu partenerii din străinătate pentru a crea baza materială de lucru în timp util.

În plus, inflația în creștere continuă din ultimii ani, a determinat majorarea prețurilor de achiziție a materialelor necesare, a serviciilor de transport și a altor taxe, făcând și mai dificilă preconizarea corectă a cheltuielilor și realizarea devizului planificat în cadrul contractelor de finanțare la fiecare etapă.

De asemenea, restricțiile legate de procurarea echipamentelor de valoare mică (cel puțin) și a pieselor de schimb pentru suportul în funcționarea stabilă a echipamentelor științifice unice, care au existat la unele etape ale proiectului, ar putea fi calificate nefondate în contextul proiectelor aplicative în care rezultatele cercetării sunt direct proporționale cu baza materială și starea infrastructurii utilizate în procesul științific.

O altă problemă majoră constă în exodul tinerilor cercetători de la centrele de cercetare naționale la centrele științifice de peste hotarele țării, în căutare de oportunități și resurse mai avantajoase pentru cercetare în comparație cu starea nesatisfăcătoare a condițiilor de cercetare locale.

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

Rezultatele obținute în cadrul proiectului au fost publicate în 31 articole în jurnale internaționale recunoscute cu factor de impact  $0.4 \leq IF \leq 7.527$ , în alte 11 articole în reviste din străinătate/naționale și în 19 lucrări și teze în materialele conferințelor internaționale și naționale. Lista acestora este prezentată în *Anexa nr. 2*.

## **10. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de prezentări la foruri științifice**

### **➤ Manifestări științifice internaționale (în străinătate)**

1. Batîr V., Târgul Internațional de Inventică și Educație Creativă pentru Tineret, ICE-US, Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, România, 07 – 09 Iulie 2023. Comunicare “*Spray-pyrolyzed Cd-substituted kesterite thin-films for photovoltaic applications*”.
2. dr. Nateprov A., Conferința internațională “Modern Development of Magnetic Resonance”, Kazan, Russia, 2023. Comunicare orală “*Interplay of the d-impurities electrons and band electrons in the 3D Dirac semimetal Cd<sub>3</sub>As<sub>2</sub>*”.
3. Meshalkin A., Prisacar A., Triduh G., dr. Abashkin V., dr. hab. Achimova E., dr. Tintaru N., International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition, Fethiye, Turcia, 17 – 23 Octombrie, 2021. Comunicare orală “*In situ study of chalcogenide thin films growth during vacuum thermal evaporation*”.

4. Meshalkin A., 5<sup>th</sup> International Conference on Nanomaterials Science and Mechanical Engineering, Portugalia, 5 – 8 Iulie 2022, University of Aveiro. Comunicare orală “*Nanomultilayer structures based on chalcogenide amorphous semiconductors: obtaining and applications*”.
5. Meshalkin A., 14<sup>th</sup> International Conference on Physics of Advanced Materials (ICPAM-14), 08 – 15 Septembrie 2022, Dubrovnik, Croația. Comunicare orală “*Study of surface relief patterning based on diffraction methods*”.
6. Meshalkin A., 14<sup>th</sup> International Conference on Physics of Advanced Materials (ICPAM-14), Dubrovnik, Croația, 08 – 15 Septembrie 2022. Poster “*Improvement of the performance of Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> solar cell by TiO<sub>2</sub> layer treatment*”.
7. Meshalkin A., XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям HOLOEXPO 2022, Санкт-Петербург, Россия, 20 – 22 сентября 2022. Comunicare orală “*Актуальные исследования кинетики записи голограмм с использованием формфактора*”.
8. Cazac V., Loşmanschii C., dr. hab. Achimova E., Meşalchin A., dr. Abaskin V., Podlipnov V., VII International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT-2021), Samara, Rusia, 20-24 Septembrie 2021. Comunicare orală “*Characterization of polarization holographic gratings obtained on azopolymer thin films by digital holographic microscopy*”.
9. Rudzikas M., Šetkus A., dr. Curmei N., dr. hab. Serban D., Donèlienè J., Ulbikas J., Ulyashin A., 38<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Lisabona, Portugalia, 6 - 10 Septembrie, 2021, online, Poster “*Sol-gel method for double layer coated colored silicon solar cells*”.
10. Meshalkin A., Prisacar A., Triduh G., dr. Abaskin V., dr. hab. Achimova E., dr. Tintaru N., 11<sup>th</sup> International Advances in Applied Physics & Materials Science Congress (APMAS 2021)", Fethie, Turcia, 17-23 Octombrie 2021. Comunicare orală “*In situ study of chalcogenide thin films growth during vacuum thermal evaporation*”.
11. Cazac V., dr. hab. Achimova E., Katkovnik V., Shevkunov I., Egiazarian K., FiO/LS International Conference, Washington, SUA, 14-17 Septembrie, 2020. Comunicare orală “*Pixel-Wise Calibration of the Spatial Light Modulator*”.
12. Cazac V., VI International Conference on Information Technology and Nanotechnology, Samara, Rusia, 26-29 Mai 2020. Comunicare “*Improved 3D imaging of phase shifting digital holographic microscope by compensation for wavefront distortion*”.
13. Meshalkin A., Losmanschii C., Cazac V., dr. hab. Achimova E., Podlipnov V., VI International Conference on Information Technology and Nanotechnology, Samara, Rusia, 26-29 Mai 2020. Comunicare orală “*Analysis of diffraction efficiency of phase gratings in dependence of grooves number*”.
14. Losmanschii C., dr. hab. Achimova E., dr. Abaskin V., dr. Meshalkin A., Prisacar A., VI

International Conference on Information Technology and Nanotechnology, Samara, Rusia, 26-29 Mai 2020. Comunicare orală “*Comparative characteristics of azopolymers: synthesis, optical and recording properties*”.

➤ **Manifestări științifice internaționale (în Republica Moldova)**

1. Loșmanschii C., Achimova E., Abaskin V., Mesalchin A., Prisacar A., Botnari V., 6<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, Chisinau, Moldova, 20 – 23 Septembrie 2023. Comunicare orală “*Optical Properties and Photoinduced Anisotropy of PEPC-co-SY3 Nanocomposite*”.
2. Achimova E., Abashkin V., Meshalkin A., Losmanschii C., Botnari V., Pedrini G., 6<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, Chisinau, Moldova, 20 – 23 Septembrie 2023. Comunicare orală “*Nanocomposite Films Based on Photosensitive Azopolymer with Gold Nanoparticles: Synthesis, Film Deposition, Diffractive Optical Elements Recording and Characterization*”.
3. Dr. hab. Achimova E., dr. Abaskin V., Cazac V., Prisacar A., dr. Meșalchin A., Loșmanschii C., 5<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, Chișinău, Republica Moldova, 3 – 5 Noiembrie 2021. Comunicare orală “*The Anisotropy of Light Propagation in Biological Tissues*”.
4. Dr. Paiuk O., Meșalchin A., dr. Stronski A., dr. hab. Achimova E., Loșmanschii C., Korchovyi A., Denisova Z., Goroneskul V., Oleksenko P., 5<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering”, Chișinău, Republica Moldova, 3 – 5 Noiembrie 2021 Comunicare orală “*Direct Surface Patterning Using Carbazole-based Azopolymer*”.
5. Loșmanschii C., dr. hab. Achimova E., dr. Abaskin V., Botnari V., Meșalchin A., 5<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, Chișinău, Republica Moldova, 3 – 5 Noiembrie 2021. Comunicare orală “*Photoinduced Anisotropy in Azopolymer Studied by Spectroscopic and Polarimetric Parameters*”.

➤ **Manifestări științifice naționale**

-

➤ **Manifestări științifice cu participare internațională**

-

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

- **Batîr V.**, Medalie de bronz. Târgul Internațional de Inventică și Educație Creativă pentru Tineret, ICE-US, Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, România, 07 – 09 Iulie 2023.

## 12. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în proiect în mass-media:

### ➤ *Emisiuni radio/TV de popularizare a științei*

1. **Alexei Meshalkin, Vladimir Abaşkin** / excursia on-line cu elevii din Liceul Teoretic "Mihail Koşubinski" 18 februarie 2022/ Subiectul abordat: tehnologii moderne holografice, microscop holografic.
2. **Alexei Meshalkin, Constantin Loşmanschii, Vladislav Botnari** / participarea la ediția a 9-a Noaptea Cercetătorilor Europeni 2022, 30 septembrie 2022, Chişinău, Moldova/ Subiectul abordat: difracția luminii, semne holografice de protecție, imagini holografice tridimensionale.
3. **Alexei Meshalkin** / participarea cu expoziție la Ziua Științei, ediția 2022, 10 noiembrie 2022, Chişinău, Moldova/ Subiectul abordat: semne holografice de protecție, imagini holografice tridimensionale, tehnologii moderne holografice.
4. **Hajdeu-Chicaros Elena** / interviu acordat cu ocazia Zilei Științei, ediția 2022, 10 noiembrie 2022, Chişinău, Moldova / Subiectul abordat: Importanța științei pentru societate.

### ➤ *Articole de popularizare a științei*

1. Culiuc L.; **Hajdeu-Chicaros, E.**; Sub semnul energiei creatoare. Academicianul Ernest ARUŞANOV la 80 de ani, *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*, nr. 1(60), 2021, p. 171-172. ISSN 1857-0461.

## 13. Teze de licență / master / doctorat / postdoctorat susținute și confirmate pe parcursul anilor 2020-2023 de membrii echipei proiectului

1. **Teză de doctor:** Veronica Cazac, „Dezvoltarea microscopului holografic digital pentru cercetarea elementelor optice de difracție înregistrate pe straturi subțiri de sticle calcogenice și azopolimeri”, conducător științific dr. hab. Achimova Elena (susținută în decembrie 2023).
2. **Teză de licență:** Vladislav Botnari, „Sinteza nanocompozitelor pe baza azopolimerilor cu potențială aplicare în biomedicină”, conducător științific dr. hab. Achimova Elena (susținută în iunie 2023).
3. **Teză de master:** Valentin Batîr ”Influența tratării termice asupra omogenității de fază și proprietăților de transport în compușii  $Cu_2Zn(Sn_xSi_{1-x})Se_4$ ,  $Cu_2ZnGeTe_4$  și  $Cu_2ZnSiTe_4$ ”, conducători științifici dr., conf. univ. V. Nicorici, dr. M. Guc (susținută în iunie 2020).
4. **Teză de licență:** Victoria Rotaru, ”Influența abaterii de la stoichiometrie asupra proprietăților electrice și vibraționale în compușii  $Cu_2ZnSnSe_4$ ”, conducători științifici dr., conf. univ. V. Nicorici, dr. M. Guc (susținută în iunie 2020).

#### **14. Materializarea rezultatelor obținute în proiect (cu specificarea aplicării în practică)**

- Au fost obținute date noi despre proprietățile de transport, optice, structurale și vibraționale ale mai multor compuși din clasa kesteritelor și corelația acestora cu caracteristicile compoziționale, defectele structurale, tehnologia de obținere. Acestea au fost documentate în mai multe jurnale internaționale cotate cu IF între 3 și 5,2 (*Anexa nr. 2*).
- Au fost obținute celule solare experimentale de ITO/n-Si de cost redus, cu sensibilitate crescută în regiunea spectrală UV. Rezultatele au fost documentate prin publicarea în reviste de profil și au fost prezentate la conferințe și forumuri științifice.
- Au fost obținute straturi subțiri experimentale de azopolimer nou. Datele au fost documentate prin prezentarea la conferințe internaționale.
- A fost elaborată metoda nouă “rod-coating” pentru obținerea straturilor subțiri de azopolimeri cu grosimea mai mică de 1 μm.
- Software-ul OpticMeter elaborat pe durata de rulare a proiectului a fost utilizat pentru procesarea cu înaltă precizie a interferogramelor.

#### **15. Informație suplimentară referitor la activitățile membrilor echipei**

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

*Nu sunt.*

- Redactor / membru al colegiilor de redacție al revistelor naționale / internaționale

*Nu sunt*

#### **16. Recomandări, propuneri.**

- *La nivel științific:*

Pentru obținerea progresului în creșterea eficienței celulelor solare pe bază de compuși de tip kesterit, este necesară continuarea studiilor avansate ale acestor materiale. Scopul principal al acestor cercetări ar trebui să aibă la bază identificarea metodelor de diminuare a efectelor negative ale defectelor din kesterite și de îmbunătățire a cristalinității acestora prin controlul dirijat la faza de obținere – întrucât aceste aspecte au fost identificate ca fiind principalele impedimente în utilizarea eficientă a kesteritelor.

De asemenea, se recomandă continuarea studiilor pentru optimizarea structurilor nanometrice noi pe bază de sticle calcogenice și straturi subțiri de azopolimeri pentru holografie scalară și vectorială și a suporturilor elaborate.

- *La nivel organizatoric:*

Se recomandă revizuirea și minimizarea procedurilor birocratice și formale de realizare, raportare a proiectelor științifice, de aprobare a modificărilor în devizul de cheltuieli, precum și regândirea procesului de aprobare și finanțare pentru achiziția echipamentului științific și a consumabilelor. Aceste aspecte complică și întârzie executarea obiectivelor proiectelor, precum și consumă excesiv din timpul care poate fi folosit eficient în scop pur științific.

Se recomandă elaborarea de strategii de menținere și atragere a personalului științific calificat în cadrul echipelor de executori.

## **17. Concluzii**

Pe întreaga durată a proiectului au fost realizate lucrări de optimizare a procedurilor tehnologice de obținere a compușilor de tip kesterit sub formă de policristale, monocristale, straturi subțiri, a altor materiale componente care se folosesc în structuri fotovoltaice, precum și a straturilor subțiri de azopolimeri pentru elemente optice de difracție cu proprietăți noi sau îmbunătățite. De asemenea, lucrările au fost combinate cu procese de studiu avansat ale proprietăților fizico-chimice ale acestor materiale, în scopul identificării metodelor de control al caracteristicilor acestora la etapa de obținere, depunere sau/și prelucrare.

Pentru structurile fotovoltaice pe bază de straturi absorbante de tip kesterit procesul de depunere și tratare ulterioară a straturilor subțiri respective trebuie să fie direcționat pe controlul strict al compoziției și structurii materialului. Acest fapt ar permite micșorarea numărului de defecte și creșterea calității cristaline. Astfel, prin studiul efectelor temperaturii de sulfurare a straturilor subțiri de  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  (CZTS) s-a demonstrat că acesta este un proces inevitabil pentru a produce materiale absorbante de  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$  (CZTSSe) de calitate înaltă. Selectarea temperaturii de sulfurare este un factor care poate afecta calitatea finală a filmelor CZTSSe și a performanței celulelor solare pe baza lor. Procedeu elaborat de tratare termică combinat în două etape, a demonstrat posibilitatea de obținere a materialului CZTSSe de cea mai înaltă calitate, care conține cele mai mari dimensiuni ale cristalitelor, o densitate redusă a defectelor și cea mai scăzută dezordine structurală. Rezultatele subliniază, de asemenea, importanța utilizării  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  ca strat injector pentru fabricarea celulelor solare CZTSSe cu parametri de performanță reproductibili. Celulele solare pe bază de kesterit fabricate din straturi subțiri de CZTS, sulfurate la  $420^\circ\text{C}$ , au prezentat eficiență de până la 3,48%. Lucrările efectuate demonstrează că optimizarea condițiilor de sulfurare și selenizare, alegerea adecvată a stratului injector sunt factori importanți pentru îmbunătățirea în continuare a calității și performanței celulelor solare în baza filmelor de CZTSSe obținute prin tehnica de spray-piroliză. Studiul avansat al proprietăților structurale, vibraționale, optice, de transport și magnetotransport ale mai multor serii de probe de  $(\text{Ag,Cu})_2\text{Zn}(\text{Cd})\text{Sn}(\text{S,Se})_4$  (ACZCdTSSe) cu diferită stare macroscopică, obținute și tratate prin diferite metode – reprezintă o contribuție considerabilă la fondul de cunoștințe fundamentale ale acestor materiale. Datele noi obținute au permis determinarea dependenței acestor proprietăți de procesele tehnologice și compoziția materialelor. La ultima fază a proiectului s-au realizat lucrări de obținere a straturilor de calitate sporită de FTO (stratul transparent de contact), c-Si și s-au utilizat straturile de kesterit



obținute și studiate la etapele precedente. Eficiența unui dispozitiv tandem depinde puternic de eficiența celulei solare superioare – care, în acest caz, era pe bază de kesterit. Deși pentru calitatea straturilor de tip kesterit am obținut un progres semnificativ pe durata lucrărilor, această componentă încă necesită optimizări complexe pentru a putea fi folosită într-un dispozitiv tandem cu eficiență ridicată. Optimizarea celulei primare pe bază de Si este, la fel, necesar de luat în considerare. Chiar dacă în cadrul studiului nu s-a reușit obținerea unei structuri reale Si/kesterit, rezultatele privind îmbunătățirea timpului de viață al purtătorilor de sarcină a stratului de Si după depunerea stratului absorbant de tip kesterit de-asupra sunt promițătoare.

Pentru studiul influenței proprietăților optice ale atmosferei asupra radiației solare incidente pe suprafața terestră, au fost înregistrate în regim continuu date experimentale noi ale nivelurilor de radiație solară și a grosimii optice a aerosolilor atmosferici la stația terestră a IFA USM, mun Chișinău.

În paralel, au fost conduse lucrări de îmbunătățire a tehnologiei computerizate de depunere în vid a nanostructurilor multistrat realizate din sticle calcogenice, cu posibilitatea de control a condițiilor de depunere a materialului. A fost elaborată metoda nouă “rod-coating” pentru obținerea straturilor subțiri de azopolimeri cu grosimea mai mică de 1  $\mu\text{m}$ . Au fost studiate parametrii optici ai structurilor și ai straturilor obținute.

Au fost obținute straturi subțiri de azopolimer nou fotosensibil. Acesta a fost sintetizat prin polimerizarea poli-n-epoxipropil carbazolului (PEPC) cu cromoforul Solvent Yellow (SY3). Simularea pe calculator a caracteristicilor elementelor optice de difracție (EOD) elaborate a arătat că distribuția intensității pe ordinele de difracție este determinată de valorile contrastului rețelelor în formă de furcă individuală. Această abordare face posibilă generarea unei game largi de fascicule optice vortex cu diferite sarcini topologice și intensitate controlabilă. A fost demonstrată posibilitatea fabricării rețelelor în formă de furcă (RFF) complexe pe nanomultistraturi (NMLS) de  $\text{As}_2\text{S}_3$ -Se fabricate prin metodă holografică analogică polarizată. Aceste RFF permit generarea uni- și bidimensională a fasciculelor optice vortex cu sarcină topologică necesară. Rețelele de difracție înregistrate prin metoda holografică digitală polarizată fac posibilă formarea de fascicule cu fază vortex (spiralată). Eficiența de difracție a acestor rețele nu depășește 3,5%, dar crește odată cu creșterea înălțimii profilului de relief.

Toate aceste materiale obținute și studiate pe durata desfășurării proiectului se caracterizează prin potențial înalt de utilizare în calitate de componente ale diferitor dispozitive fotovoltaice și fotonice. Calitatea înaltă a rezultatelor obținute pe parcursul anilor 2020 – 2023 este demonstrată prin publicarea acestora în reviste științifice recenzate cu factor de impact înalt și prin prezentarea lor în cadrul mai multor conferințe internaționale.

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / **Ernest Arusanov**

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

LȘ

**Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în perioada 2020-2023*****”Dispozitive fotovoltaice cu elemente active din noi materiale calcogenice obținute prin tehnologii economice accesibile”***Cifrul proiectului **20.80009.5007.03****RO**

Pe întreaga durată a proiectului au fost realizate lucrări de optimizare a procedurilor tehnologice de obținere a compușilor de tip kesterit și a altor materiale componente care se folosesc în structuri fotovoltaice, precum și a straturilor subțiri de azopolimeri pentru elemente optice de difracție cu proprietăți noi sau îmbunătățite. Lucrările au fost combinate cu procese de studiu avansat ale proprietăților fizico-chimice ale acestor materiale, în scopul identificării metodelor de control al caracteristicilor acestora la etapa de obținere, depunere sau/și prelucrare.

Pentru structurile fotovoltaice pe bază de straturi absorbante de tip kesterit, este foarte important procesul de depunere și tratare ulterioară a straturilor subțiri respective. S-a obținut că procesul de sulfurare și tratare termică a straturilor subțiri de kesterit la temperaturile potrivite duce la majorarea considerabilă a calității acestora prin creșterea dimensiunii cristalitelor, reducerea densității defectelor și a dezordinii structurale. Celulele solare pe bază de kesterit fabricate din straturi subțiri de CZTS, sulfurate la 420°C, au prezentat eficiență de până la 3,48%. Studiul avansat al proprietăților structurale, vibraționale, optice, de transport și magnetotransport ale mai multor serii de probe de  $(Ag,Cu)_2Zn(Cd)Sn(S,Se)_4$  cu diferită stare microscopică, obținute și tratate prin diferite metode – reprezintă o contribuție considerabilă la fondul de cunoștințe fundamentale ale acestor materiale. Datele noi obținute au permis determinarea dependenței acestor proprietăți de procesele tehnologice și compoziția materialelor. La ultima fază a proiectului s-au realizat lucrări de obținere a straturilor de calitate sporită de FTO (stratul transparent de contact) și c-Si, pentru integrarea cu straturile de kesterit obținute la etapele precedente. Pentru conectarea monolitică a componentelor au fost încercate mai multe configurații și optimizări. Chiar dacă în cadrul studiului nu s-a reușit obținerea unei structuri reale Si/kesterit, rezultatele privind îmbunătățirea timpului de viață al purtătorilor de sarcină a stratului de Si după depunerea stratului absorbant de tip kesterit de-asupra sunt promițătoare.

În paralel, au fost conduse lucrări de îmbunătățire a tehnologiei computerizate de depunere în vid a nanostructurilor multistrat realizate din sticle calcogenice, cu posibilitatea de control a condițiilor de depunere a materialului. A fost elaborată metoda nouă “rod-coating” pentru obținerea straturilor subțiri de azopolimeri cu grosimea mai mică de 1 μm. Au fost studiați parametrii optici ai structurilor și ai straturilor obținute. Au fost obținute straturi subțiri de azopolimer nou fotosensibil. Simularea pe calculator a caracteristicilor elementelor optice de difracție elaborate a arătat că distribuția intensității pe ordinele de difracție este determinată de valorile contrastului rețelelor în formă de furcă individuală. Această abordare face posibilă

generarea unei game largi de fascicule optice vortex cu diferite sarcini topologice și intensitate controlabilă. A fost demonstrată posibilitatea fabricării rețelelor în formă de furcă (RFF) complexe pe nanomultistraturi de  $\text{As}_2\text{S}_3$ -Se fabricate prin metodă holografică analogică polarizată. Aceste RFF permit generarea uni- și bidimensională a fasciculelor optice vortex cu sarcină topologică necesară. Rețelele de difracție înregistrate prin metoda holografică digitală polarizată fac posibilă formarea de fascicule cu fază vortex. Eficiența de difracție a acestor rețele nu depășește 3,5%, dar crește odată cu creșterea înălțimii profilului de relief.

Toate aceste materiale obținute și studiate pe durata desfășurării proiectului se caracterizează prin potențial înalt de utilizare în calitate de componente ale diferitor dispozitive fotovoltaice și fotonice. Calitatea înaltă a rezultatelor obținute pe parcursul anilor 2020 – 2023 este demonstrată prin publicarea acestora în reviste științifice recenzate cu factor de impact înalt și prin prezentarea lor în cadrul mai multor conferințe internaționale.

## EN

Over the entire duration of the project, work was carried out to optimize the technological procedures for obtaining kesterite-type compounds and other component materials used in solar cells, as well as thin layers of azopolymers for optical diffraction elements with new or improved properties. This work was combined with the advanced study of the physico-chemical properties of these materials, in order to identify the methods of controlling their characteristics at the obtaining, depositing and/or processing phases.

For photovoltaic structures based on kesterite-type absorbing layers, the process of deposition and subsequent treatment of the respective thin layers is very important. It was found that the sulfurization and annealing processes of kesterite thin films at the right temperatures leads to a considerable increase in their quality by increasing the size of crystallites, reducing the density of defects and structural disorder. Kesterite-based solar cells fabricated from CZTS thin films, sulfurized at 420°C, showed efficiencies up to 3.48%. The advanced study of the structural, vibrational, optical, transport and magnetotransport properties of several series of  $(\text{Ag,Cu})_2\text{Zn}(\text{Cd})\text{Sn}(\text{S,Se})_4$  samples with different macroscopic state, obtained and treated by different methods - represents a considerable contribution to the fundamental knowledge of these materials. The new data obtained made it possible to determine the dependence of these properties on the technological processes and the composition of the materials. At the last phase of the project, works were carried out to obtain FTO (transparent contact layer) and c-Si layers with increased quality, for integration with the kesterite layers obtained at the previous stages. Several configurations and optimizations have been tried for the monolithic connection of the components. Even though the study did not succeed in obtaining a real Si/kesterite structure, the results regarding the improvement of the charge carrier lifetime of the Si layer after the deposition of the kesterite absorber layer on top are promising.

In parallel, work was conducted to improve the computer technology of vacuum deposition of multilayer nanostructures made of chalcogenous glasses, with the possibility of

controlling the material deposition conditions. A new "rod-coating" method was developed for obtaining thin layers of azopolymers less than 1  $\mu\text{m}$  thick. The optical parameters of the obtained structures and layers were studied. Thin films of a novel photosensitive azopolymer were obtained. Computer simulation of the characteristics of the developed optical diffraction elements (ODE) showed that the intensity distribution over the diffraction orders is determined by the contrast values of the individual fork gratings. This approach makes possible to generate a wide range of vortex optical beams with different topological charges and controllable intensity. The possibility of fabricating complex fork-shaped arrays (RFFs) on  $\text{As}_2\text{S}_3$ -Se nanomultilayers fabricated by polarized analog holographic method was demonstrated. These RFFs enable one- and two-dimensional generation of vortex optical beams with required topological charge. Diffraction gratings recorded by the polarized digital holographic method make it possible to form vortex phase beams. The diffraction efficiency of these gratings does not exceed 3.5%, but increases with the height of the relief profile.

All these materials obtained and studied during the project are characterized by high potential for use as components of various photovoltaic and photonic devices. The high quality of the results obtained during the years 2020 – 2023 is demonstrated by their publication in peer-reviewed scientific journals with a high impact factor and by their presentation at several international conferences.

**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice  
publicate pentru anii 2020-2023 în cadrul proiectului din Programul de Stat**

**”Dispozitive fotovoltaice cu elemente active din noi materiale calcogenice obținute prin tehnologii  
economic accesibile”**

**1. Articole în reviste științifice**

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

1. **Meshalkin, A.Yu.;** Shoydin, S.A. Diffraction efficiency and form factor effect of holograms. *J Opt Technol.* 2023, **90(5)**, 254—261. Doi: [10.1364/JOT.90.000254](https://doi.org/10.1364/JOT.90.000254) (IF: 0,4).
2. Sergeev, S.A.; Robu, S.V.; **Meshalkin, A.Yu.;** Iovu, M.S. Stabilization of Diffraction Gratings Recorded in Poly-N-Epoxypropylcarbazole Films Doped with Iodoform. *High Energ Chem.* 2023, **57(3)**, 265—269. Doi: [10.1134/S0018143923030128](https://doi.org/10.1134/S0018143923030128) (IF: 0,842).
3. Nwambaekwe, K.C.; **Batir, V.P.;** **Dermenji, L.;** **Curmei, N.D.;** **Arushanov, E.;** Iwuoha, E.I. Spray-pyrolyzed Cd-substituted kesterite thin-films for photovoltaic applications: Post annealing conditions and property studies. *Mater Chem Phys.* 2023, **301**, 127594-1 – 127595-15. Doi: [10.1016/j.matchemphys.2023.127594](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.127594) (IF: 4,778).
4. Zgliui, A.A.; Tivanov, M.S.; **Curmei, N.N.;** **Dermenji, L.V.;** **Bruc, L.I.** and **Serban, D.A.** Structure of Ag-Containing Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> Thin Films, Obtained by Spray Pyrolysis. *Applied Solar Energy.* 2023, **59(3)**, 189—200. Doi: [10.3103/S0003701X23600790](https://doi.org/10.3103/S0003701X23600790).
5. **Hajdeu-Chicarosh, E.;** **Rotaru, V.;** **Levcenko, S.;** Serna, R.; Victorov, I.A.; **Guc, M.;** Caballero, R., Merino, J.M.; **Arushanov, E.;** León, M. Raman scattering and spectroscopic ellipsometry studies of Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> and Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> bulk polycrystals. *Phys Chem Chem Phys.* 2023, **25(45)**, 31188—31193. Doi: [10.1039/D3CP04490D](https://doi.org/10.1039/D3CP04490D) (IF: 3,3).
6. Lähderanta, E.; **Hajdeu-Chicarosh, E.,** Kravtsov, V.; Shakhov, M.A.; Stamov, V.N.; Bodnar, I.; **Arushanov, E.;** **Lisunov, K.G.** Electronic properties of Cu<sub>2</sub>(Zn,Cd)SnS<sub>4</sub> determined by the high-field magnetotransport. *New J Phys.* 2022, **24(9)**, 093008-1—093008-14. Doi: [10.1088/1367-2630/ac8b9f](https://doi.org/10.1088/1367-2630/ac8b9f) (IF: 3,716).
7. **Hajdeu-Chicarosh, E.;** **Levcenko, S.;** Serna, R.; Bodnar, I.V.; Victorov, I.A.; Iaseniuc, O.; Caballero, R.; Manuel Merino, J.; **Arushanov, E.;** León, M. Spectroscopic ellipsometry study of Cu<sub>2</sub>Zn(Ge<sub>x</sub>Si<sub>1-x</sub>)Se<sub>4</sub> bulk poly-crystals. *Solid State Sci.* 2022, **132**, 106982. Doi: [10.1016/j.solidstatesciences.2022.106982](https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2022.106982) (IF: 3,752).
8. Siminel, N.; Galkin, K.N.; **Arushanov, E.;** Galkin, N.G. Photoconductivity study of Ca<sub>2</sub>Si epitaxial film on Si(111) substrate. *Vacuum.* 2022, **203**, 111302. Doi:

[10.1016/j.vacuum.2022.111302](https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.111302) (IF: 3,627).

9. Porfirev, A.; Khonina, S.; Ivliev, N.; **Meshalkin, A.; Achimova, E.**; Forbes, A. Writing and Reading With The Longitudinal Component of Light Using Carbazole-Containing Azopolymer Thin Films. *Sci Rep.* 2022, **12**, 3477-1—3477-12. Doi: [10.1038/s41598-022-07440-9](https://doi.org/10.1038/s41598-022-07440-9) (IF: 4,379).
10. Goriunov, Yu.V.; **Nateprov, A.N.** Features of the Behavior of  $Mn^{2+}$  Ions in the 3D Dirac Semimetal  $\alpha$ - $Cd_3As_2$  from EPR Data. *Phys Solid State.* 2021, **63(2)**, 223—231. ISSN 1063-7834. Doi: [10.1134/S1063783421020098](https://doi.org/10.1134/S1063783421020098) (IF: 0,895).
11. **Cazac, V.; Achimova, E.; Abashkin, V.; Prisacar, A.; Loshmanshii, C.; Meshalkin, A.**; Egiazarian, K. Polarization holographic recording of vortex diffractive optical elements on azopolymer thin films and 3D analysis via phase-shifting digital holographic microscopy. *Opt Express.* 2021, **29(6)**, 9217—9230. ISSN 1094-4087. Doi: [10.1364/OE.415639](https://doi.org/10.1364/OE.415639) (IF: 3,894).
12. Bodnar, I.V.; Victorov, I.A.; Kalita, O.V.; Khoroshko, V.V.; **Arushanov, E.** Growth, crystal structure, and properties of  $Cu_2Cd_{1-x}Zn_xSnS_4$  solid solutions. *Solid State Sci.* 2021, **113**, 106550-1—106550-. ISSN 1293-2558. Doi: [10.1016/j.solidstatesciences.2021.106550](https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2021.106550) (IF: 3,059).
13. Porfirev, A.; Khonina, S.; **Meshalkin, A.**; Ivliev, N.; **Achimova, E.; Abashkin, V.; Prisacar, A.**; Podlipnov, V. Two-step maskless fabrication of compound fork-shaped gratings in nanomultilayer structures based on chalcogenide glasses. *Opt Lett.* 2021, **46(13)**, 3037—3040. ISSN 0146-9592. Doi: [10.1364/OL.427335](https://doi.org/10.1364/OL.427335) (IF:3,776).
14. **Guc, M.**; Gurieva, G.; **Hajdeu-Chicarosh, E.**; Schorr, S.; **Lisunov, K.G.; Arushanov, E.** Conductivity mechanisms and influence of the Cu/Zn disorder on electronic properties of the powder  $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)_4$  solid solutions. *J Mater Research Technol.* 2021, **13**, 2251—2259. ISSN 2238-7854. Doi: [10.1016/j.jmrt.2021.06.003](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.003) (IF: 5,039).
15. Morari, V.; Pyrtsac, C.; **Curmei, N.**; Grabco, D.; Rusu, E.V.; Ursachi, V.V.; Tiginyanu, I.M. Nanoindentation of ZnSnO/Si thin films prepared by aerosol spray pyrolysis. *Rom J Phys.* 2021, **66(3-4)**, 603-1—603-18. ISSN 1221-146X (IF: 1,888).
16. Bodnar, I.V.; Victorov, I.A.; Karosa, A.G.; **Arushanov, E.K.; Levchenko, S.**; Polarized infrared reflectivity of  $Cu_2CdSnS_4$  single crystals. *Appl Phys Lett.* 2020, 117(18), 182102-1—182102-4. Doi: [10.1063/5.0024482](https://doi.org/10.1063/5.0024482) (IF: 3,597).
17. **Levchenko, S.; Hajdeu-Chicarosh, E.**; Serna, R.; **Guc, M.**; Victorov, I.A.; **Nateprov, A.**; Bodnar, I.V.; Caballero, R.; Merino, J.M.; **Arushanov, E.**; León, M.; Spectroscopic ellipsometry study of  $Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$  bulk polycrystals. *J. Alloys Compd.* 2020, 843, 156013. Doi: [10.1016/j.jallcom.2020.156013](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.156013) (IF: 4,175).
18. Shoydin, S.A.; **Meshalkin, A.Yu.**; Kovalev, M.S. Formfactor of a hologram on a chalcogenide glassy semiconductor and azopolymer. *Opt Mater Express.* 2020, **10(8)**, 1819—1825. Doi: [10.1364/OME.399017](https://doi.org/10.1364/OME.399017) (IF: 2,673).

19. Morari, V.; Pantazi, A.Gh.; **Curmei, N.**; Postolache, V.; Rusu, E.; Enachescu, M.; Tiginyanu, I.; Ursaki, V. Band tail state related photoluminescence and photoresponse of ZnMgO solid solution nanostructured films. *Beilstein J Nanotech.* 2020, **11**, 899—910. Doi: [10.3762/bjnano.11.75](https://doi.org/10.3762/bjnano.11.75) (IF: 2,612).
20. Lähderanta, E.; Lebedev, A.A.; Shakhov, M.A.; Stamov, V.N.; **Lisunov, K.G.**; Lebedev, S.P. Low-temperature quantum magnetotransport of graphene on SiC (0 0 0 1) in pulsed magnetic fields up to 30 T. *J Phys-Condens Mat.* 2020, **32(11)**, 115704-1—115704-9. Doi: [10.1088/1361-648X/ab5bb6](https://doi.org/10.1088/1361-648X/ab5bb6) (IF: 2,711).
21. Goryunov, Yu.V.; **Nateprov, A.N.** Effect of the Landau Levels on the Super Hyperfine Structure of ESR Spectra of Fe<sup>3+</sup> Precipitates in Dirac 3D Semimetal Cd<sub>3</sub>As<sub>2</sub>. *Phys Solid State.* 2020, **62(1)**, 100—105. Doi: [10.1134/S1063783420010114](https://doi.org/10.1134/S1063783420010114) (IF: 0,95).
22. Sergeev, S.A.; Iovu, M.S.; **Meshalkin, A.Yu.** Superimposed equally oriented diffraction gratings formed in As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> films. *Chalcogenide Lett.* 2020, **17(1)**, 25—31 (IF: 0,977).
23. Schorr, S.; Gurieva, G.; **Guc, M.**; Dimitrievska, M.; Pérez-Rodríguez, A.; Izquierdo-Roca, V.; Schnohr, C.S.; Kim, J.; Jo, W.; Merino, J.M.; Point defects, compositional fluctuations, and secondary phases in non-stoichiometric kesterites. *J Phys Energy.* 2020, **2(1)**, 012002-1-012002-40. Doi: [10.1088/2515-7655/ab4a25](https://doi.org/10.1088/2515-7655/ab4a25) (IF: 6,9).
24. Ruiz-Perona, A.; Sánchez, Y.; **Guc, M.**; Khelifi, S.; Kodalle, T.; Placidi, M.; Manuel Merino, J.; León, M.; Caballero R.; Effect of Na and the back contact on Cu<sub>2</sub>Zn(Sn, Ge)Se<sub>4</sub> thin-film solar cells: Towards semi-transparent solar cells. *Sol Energy*, 2020, **206**, 555 – 563. Doi: [10.1016/j.solener.2020.06.044](https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.044) (IF: 4,608).
25. Ruiz-Perona, A.; Sánchez, Y.; **Guc, M.**; Calvo-Barrio, L.; Jawhari, T.; Merino, J.M.; León, M.; Caballero, R.; Influence of Zn excess on compositional, structural and vibrational properties of Cu<sub>2</sub>ZnSn<sub>0.5</sub>Ge<sub>0.5</sub>Se<sub>4</sub> thin films and their effect on solar cell efficiency. *Sol Energy* 2020, **199**, 864-871. Doi: [10.1016/j.solener.2020.02.082](https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.082) (IF: 4,608).
26. Benhaddou, N.; Aazou, S.; Sánchez, Y.; Andrade-Arvizu, J.; Becerril-Romero, I.; **Guc, M.**; Giraldo, S.; Izquierdo-Roca, V.; Saucedo, E.; Sekkat, Z.; Investigation on limiting factors affecting Cu<sub>2</sub>ZnGeSe<sub>4</sub> efficiency: Effect of annealing conditions and surface treatment. *Sol Energy Mat Sol Cells*, 2020, **216**, 110701. Doi: [10.1016/j.solmat.2020.110701](https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110701) (IF: 6.984).
27. Ojeda-Durán, E.; Monfil-Leyva, K.; Andrade-Arvizu, J.; Becerril-Romero, I.; Sánchez, Y.; Fonoll-Rubio, R.; **Guc, M.**; Jehl, Z.; Luna-López, J.A.; Muñoz-Zurita, A.L.; Hernández-de la Luz, J.A.D.; Izquierdo-Roca, V.; Placidi, M.; Saucedo E.; CZTS solar cells and the possibility of increasing VOC using evaporated Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> at the CZTS/CdS interface. *Sol Energy*, 2020, **198**, 696-703. Doi: [10.1016/j.solener.2020.02.009](https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.009) (IF: 4,608).
28. Gurieva, G.; Többens, D.M.; **Levcenco, S.**; Unold, T.; Schorr, S.; Cu/Zn disorder in stoichiometric Cu<sub>2</sub>ZnSn(S<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>)<sub>4</sub> semiconductors: A complementary neutron and anomalous X-ray diffraction study. *J. Alloys and Compd.* 2020, **846**, 156304. Doi:

[10.1016/j.jallcom.2020.156304](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.156304) (IF: 4,65).

29. Handweg, M.; Mitdank, R.; **Levcenco, S.**; Schorr, S.; Fischer, S.F.; Thermal and electrical conductivity of single crystalline kesterite  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ . *Mater. Res. Express*, 2020, **7(10)**, 105908. Doi: [10.1088/2053-1591/abc276](https://doi.org/10.1088/2053-1591/abc276) (IF: 1,929).
30. Gurieva, G.; Márquez, J.A.; Franz, A.; Hages, C.J.; **Levcenko, S.**; Unold, T.; Schorr, S.; Effect of Ag incorporation on structure and optoelectronic properties of  $(\text{Ag}_{1-x}\text{Cu}_x)_2\text{ZnSnSe}_4$  solid solutions. *Phys. Rev. Materials*, 2020, **4**, 054602. Doi: [10.1103/PhysRevMaterials.4.054602](https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.4.054602) (IF: 3,337).
31. Pareek, D.; Taskesen, T.; Márquez, J.A.; Stange, H.; **Levcenco, S.**; Simsek, I.; Nowak, D.; Pfeiffelmann, T.; Chen, W.; Stroth, C.; Sayed, M.H.; Mikolajczak, U.; Parisi, J.; Unold, T.; Mainz, R.; Gütay, L.; Reaction Pathway for Efficient  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  Solar Cells from Alloyed Cu-Sn Precursor via a Cu-Rich Selenization Stage. *RRL Solar*, 2020, **4(6)**, 2000124. Doi: [10.1002/solr.202000124](https://doi.org/10.1002/solr.202000124) (IF: 7,527).

## 1.2. *în alte reviste din străinătate recunoscute*

1. Мешалкин, Ф.Ю.; Шойдин, С.А. Дифракционная эффективность и эффект формфактора голограмм (обзор). *Оптический журнал*. 2023, **90(5)**, 50—62. Doi: [10.17586/1023-5086-2023-90-05-50-62](https://doi.org/10.17586/1023-5086-2023-90-05-50-62).
2. Paiuk, O.; Meshalkin, A.; Stronski, A.; Achimova, E.; Losmanschii, C.; Botnari, V.; Korchovyi, A.; Popovych, M. Direct magnetic and surface relief patterning using carbazole-based azopolymer. *Phys Chem Solid State*. 2023, **24(1)**, 197—201. Doi: [10.15330/pcss.24.1.197-201](https://doi.org/10.15330/pcss.24.1.197-201).
3. Горюнов, Ю.В.; Натепров, А.Н. Анизотропия парамагнитной восприимчивости дираковского полуметалла  $\text{Cd}_3\text{As}_2$ , обусловленная примесью хрома: ЭПР на ионах  $\text{Cr}^{3+}$ . *Физика твердого тела*. 2023, **65(3)**, 367—371. Doi: [10.21883/FTT.2023.03.54733.553](https://doi.org/10.21883/FTT.2023.03.54733.553).
4. Gojayev, E.M.; Aliyeva, Sh.V.; Salimova, V.V.; Meshalkin, A.Yu.; Jabarov, S.H. The Influence of UV Irradiation on Dielectric Properties of Biocomposites. *Surf Eng Appl Elect*. 2020, **56(6)**, 740—745. ISSN 1068-3755. Doi: [10.3103/S106837552006006X](https://doi.org/10.3103/S106837552006006X).
5. Cazac, V. Improved 3D imaging of phase shifting digital holographic microscope by compensation for wavefront distortion. *J Phys Conf Ser*. 2021, **1745**, 012020-1—012020-7. ISSN 1742-6588. Doi: [10.1088/1742-6596/1745/1/012020](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1745/1/012020).
6. Шевченко, Г.П.; Бокшиц, Ю.В.; Ковель, Е.А.; Шинкевич, Н.В.; Мазаник, А.В.; Шербан, Д.А.; Курмей, Н.Н.; Брук, Л.И.; Першукевич, П.П. Переизлучающие пленки состава оксид – йодид меди(I) для кремниевых солнечных элементов. *Журнал Белорусского*



- государственного университета. *Химия* . 2021, **1**, 50—57. ISSN 2520-257X. Doi: [10.33581/2520-257X-2021-1-50-57](https://doi.org/10.33581/2520-257X-2021-1-50-57).
7. Melnikova, E.A.; Gorbach, D.V.; Rushnova, I.I.; Kabanova, O.S.; Slusarenko, S.S.; Tolstik, A.L.; **Losmanschii, C.**; **Meshalkin, A.**; **Achimova, E.** Optical Vortices Generation by Azopolymeric Relief Gratings. *Nonlinear Phenom Complex Syst.* 2021, **24(2)**, 104—111. ISSN 1561 - 4085. Doi: [10.33581/1561-4085-2021-24-2-104-111](https://doi.org/10.33581/1561-4085-2021-24-2-104-111).
  8. **Simashkevich, A.**; Shevchenko, G.; Bokshyts, Yu.; **Bruc, L.**; Caraman, M.; Dementiev, I.; Goglidze, T.; **Curmei, N.**; **Serban, D.** Low-Cost ITO/n-Si Solar Cells with Increased Sensitivity in UV Spectrum Range. *Surf Eng Appl Elect.* 2021, **57(3)**, 315—322. ISSN 1068-3755. Doi: [10.3103/S1068375521030133](https://doi.org/10.3103/S1068375521030133).
  9. **Dermenji, L.**; **Curmei, N.**; Gurieva, G.; **Bruc, L.** (Ag<sub>x</sub>Cu<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>-Based Thin Film Heterojunctions: Influence of CdS Deposition Method. *Surf Eng Appl Elect.* 2022, **57(3)**, 323—329. ISSN 1068-3755. Doi: [10.3103/S1068375521030054](https://doi.org/10.3103/S1068375521030054).
  10. Choubrac, L.; Bär, M.; Kozina, X.; Félix, R.; Wilks, R.G.; Brammertz, G.; **Levcenko, S.**; Arzel, L.; Barreau, N.; Harel, S.; Meuris, M.; Vermang, B.; Sn substitution by Ge: Strategies to overcome the open circuit voltage deficit of kesterite solar cells. *ACS Appl. Energy Mater.* 2020, **3(6)**, 5830—5839. Doi: [10.1021/acsaem.0c00763](https://doi.org/10.1021/acsaem.0c00763).

### 1.3. în alte reviste naționale

1. **Акимова, Е.А.**; **Абашкин, В.Г.**; **Мешалкин, А.Ю.**; **Лошманский, К.С.**; **Вотнарь, В.С.** Поляриметрические характеристики полимера РЕРС, легированного фотоизомеризуемым хромофорным азокрасителем SY3. *Электронная обработка материалов.* 2023, **59(4)**, 33—41. Doi: [10.52577/eom.2023.59.4.33](https://doi.org/10.52577/eom.2023.59.4.33).

## 2. Articole în materiale ale conferințelor științifice

### 2.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

1. Pedrini, G.; Schiebelbein, A.; **Achimova, E.**; **Abashkin, V.** Lensless phase imaging microscopy by multiple intensity diffraction pattern. În: *Proceedings SPIE, V. 12136 "Unconventional Optical Imaging III"*. SPIE Photonics Europe, 3 April - 23 May 2022, Strasbourg, France, p. 1213605-1—1213605-8. Doi: [10.1117/12.2620778](https://doi.org/10.1117/12.2620778).
2. Pakstas, V.; Kondrotas, R.; Drabavicius, A.; Naujokaitis, A.; Franckevicius, M.; **Meshalkin, A.**; Cesiulis, H. Improvement of the performance of Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> solar cell by TiO<sub>2</sub> layer treatment. Abstract book of 14<sup>th</sup> International Conference on Physics of Advanced Materials (ICPAM-14), September 08-15, 2022, Dubrovnik, Croatia, p. 180-182.

3. **Мешалкин, А.Ю.**; Шойдин, С.А. Актуальные исследования кинетики записи голограмм с использованием формфактора, Тезисы докладов XIX Международной конференции по голографии и прикладным оптическим технологиям HOLOEXPO 2022, 20–22 сентября, 2022, Санкт-Петербург, Россия, с. 306-312. ISBN 978-5-00202-182-6.
4. **Meshalkin, A.YU.**; **Losmanschii, C.S.**; **Cazac, V.O.**; **Achimova, E.A.**; Podlipnov, V.V.; Analysis of diffraction efficiency of phase gratings in dependence of grooves number, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НАНОТЕХНОЛОГИИ (ИТНТ-2020) Сборник трудов по материалам VI Международной конференции и молодежной школы. В 4-х томах. Под редакцией С.В. Карпеева, 143-146, 2020.
5. **Лошманский, К.**; **Акимова, Е.**; **Мешалкин, А.**; **Абашкин, В.**; **Присакар, А.**; Сравнительные характеристики азополимеров: синтез, оптические и регистрирующие свойства, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НАНОТЕХНОЛОГИИ (ИТНТ-2020) Сборник трудов по материалам VI Международной конференции и молодежной школы. В 4-х томах. Под редакцией С.В. Карпеева, 461-466, 2020.
6. **Simashkevich, A.**; Ulyashin, A.; Thogersen, A.; Shevchenko, G.; Bokshitz, Iu.; **Bruc, L.**; Caraman, M.; Dementiev, I.; Goglidze, T.; **Curmei, N.**; **Serban, D.**, Functional ITO/c-Si heterojunction in the solar radiation spectrum range of 300-1100 nm, INTERNATIONAL SEMICONDUCTOR CONFERENCE 43rd Edition, October 7 - 9, 2020, Romania, pp. 73-76, ISBN: 978-1-7281-1072-1.

## 2.2. *în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)*

1. **Loșmanschii, C.**; **Achimova, E.**; **Abashkin, V.**; **Mesalchin, A.**; **Prisacar, A.**; **Botnari, V.** Optical Properties and Photoinduced Anisotropy of PEPC-co-SY3 Nanocomposite. În: *IFMBE Proceedings, vol 91. Springer, Cham. Volume 1: Nanotechnologies and Nano-biomaterials for Applications in Medicine*. 6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, September 20–23, 2023, Chisinau, Moldova, p. 156—165. Doi: [10.1007/978-3-031-42775-6\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-031-42775-6_17).
2. **Achimova, E.**; **Abashkin, V.**; **Meshalkin, A.**; **Losmanschii, C.**; **Botnari, V.**; Pedrini, G. Nanocomposite Films Based on Photosensitive Azopolymer with Gold Nanoparticles: Synthesis, Film Deposition, Diffractive Optical Elements Recording and Characterization. În: *IFMBE Proceedings, vol 91. Springer, Cham. Volume 1: Nanotechnologies and Nano-biomaterials for Applications in Medicine*. 6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, September 20–23, 2023, Chisinau, Moldova, p. 60—69. Doi: [10.1007/978-3-031-42775-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-42775-6_7).
3. **Meshalkin, A.**; **Prisacar, A.**; **Triduh, G.**; **Abashkin, V.**; **Achimova, E.**, Tintaru, N. *In situ study of chalcogenide thin films growth during vacuum thermal evaporation*. În: *AIP Conference Proceedings 2803 (2023)*. 11<sup>th</sup> International Advances in Applied Physics and

Materials Science Congress & Exhibition, October 17-23, 2021, Fethiye, Turkey, p. 040001-1—040001-5. Doi: [10.1063/5.0143711](https://doi.org/10.1063/5.0143711).

4. Paiuk, O.; Meshalkin, A.; Stronski, A.; Achimova, E.; Losmanschii, K.; Korchovyi, A.; Denisova, Z.; Goroneskul, V.; Oleksenko, P. Direct Surface Patterning Using Carbazole-Based Azopolymer. În: *ICNBME 2021, IFMBE Proceedings 87, 2022*. 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3–5, 2021, Chisinau, Moldova, p. 117—123. Doi: [10.1007/978-3-030-92328-0\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_16).
5. Achimova, E.; Abaskin, V.; Cazac, V.; Prisacar, A.; Meshalkin, A.; Loshmanschi, C. The Anisotropy of Light Propagation in Biological Tissues. În: *ICNBME 2021, IFMBE Proceedings 87, 2022*. 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3–5, 2021, Chisinau, Moldova, p. 149—156. Doi: [10.1007/978-3-030-92328-0\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_20).
6. Losmanschii, C.; Achimova, E.; Abashkin, V.; Botnari, V.; Meshalkin, A. Photoinduced Anisotropy in Azopolymer Studied by Spectroscopic and Polarimetric Parameters. În: *ICNBME 2021, IFMBE Proceedings 87, 2022*. 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3–5, 2021, Chisinau, Moldova, p. 314—321. Doi: [10.1007/978-3-030-92328-0\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_42).

### 3. Teze ale conferințelor științifice

#### 3.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

1. Meshalkin, A.; Achimova, E.; Abaskin, V.; Prisacar, A.; Triduh, G.; Tsyntaru, N. Nanomultilayer structures based on chalcogenide amorphous semiconductors: obtaining and applications. *Book of Abstracts of 5<sup>th</sup> International Conference on Nanomaterials Science and Mechanical Engineering*, July 5-8, 2022, University of Aveiro, Portugal, p. 172. Doi: [10.48528/11t1-bw91](https://doi.org/10.48528/11t1-bw91)
2. Meshalkin, A.; Achimova, E.; Abaskin, V.; Losmanschii, C.; Botnari, V.; Pakstas, V. Study of surface relief patterning based on diffraction methods. În *Abstract book of 14<sup>th</sup> International Conference on Physics of Advanced Materials (ICPAM-14)*, September 08-15, 2022, Dubrovnik, Croatia, p. 310-312.
3. Cazac, V.; Losmanschii, C.; Achimova, E.; Meshalkin, A.; Abaskin, V.; Podlipnov, V.; Characterization of polarization holographic gratings obtained on azopolymer thin films by digital holographic microscopy. În *VII International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT-2021)*, 20-24 September 2021, Samara, Russia.
4. Rudzikas, M.; Šetkus, A.; Curmei, N.; Serban, D.; Donèlienè, J.; Ulbikas, J.; Ulyashin, A.; Sol-gel method for double layer coated colored silicon solar cells. În *38<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 6 - 10 September, 2021, online, Lisbon, Portugal.

### **3.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)**

1. **Losmanschii, C.; Achimova, E.; Abaskin, V.,** Botnari, V.; **Meșalchin, A.;** Photoinduced Anisotropy in Azopolymer Studied by Spectroscopic and Polarimetric Parameters. În 5<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, 3-5 November 2021, Chisinau, Republic Of Moldova.
2. **Achimova, E.; Abaskin, V.; Cazac, V.; Prisacar, A.; Meshalkin, A.; Losmanschii, C.;** The Anisotropy of Light Propagation in Biological Tissues. În 5<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, 3-5 November 2021, Chisinau, Republic Of Moldova.
3. Paiuk, O.; **Meshalkin, A.;** Stronski, A.; **Achimova, E.; Losmanschii, C.;** Korchovyi, A.; Denisova, Z.; Goroneskul, V.; Oleksenko, P.; Direct Surface Patterning Using Carbazole-based Azopolymer. În 5<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering”, 3-5 November 2021, Chisinau, Republic Of Moldova.

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

#### **4.1. cărți (cu caracter informativ)**

1. „*Solar Radiation and Radiation Balance Data (the World Network)*”, WRDC, GAW OMM, Rusia.

## Volumul total al finanțării proiectului 2020-2023

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.03

Anul	Finanțarea planificată (mii lei)	Finanțarea Executată (mii lei)	Cofinanțare (mii lei)
2020	2494,8	2494,8	-
2021	2617,0	2613,9	-
2022	2680,9	3033,8	-
2023	3203,4	3288,4	-
<b>Total</b>	<b>10996,1</b>	<b>11430,9</b>	-

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / Ernest Arușanov

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

LȘ

**Componența echipei pe parcursul anilor 2020-2023**

Lista executorilor, potențialul științific, inclusiv indicarea modificărilor echipei de cercetare pe durata Programului de stat

**Cifrul proiectului 20.80009.5007.03**

<b>Echipei proiectului conform contractului de finanțare 2020-2023</b>						
<b>Nr.</b>	<b>Nume, prenume</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.	Arușanov Ernest	1941	dr. hab.	1.0	01.01.2020	31.12.2023
2.	Simașchevici Alexei	1929	dr. hab.	0.5	01.01.2020	31.12.2023
3.	Șerban Dormidont	1939	dr. hab.	1.0	01.01.2020	26.08.2023
4.	Achimova Elena	1959	dr. hab.	1.0	01.01.2020	31.12.2023
5.	Abășkin Vladimir	1948	dr.	1.0	01.01.2020	31.12.2023
6.	Aculinin Alexandr	1961	dr.	1.0	01.01.2020	31.12.2023
7.	Bruc Leonid	1952	dr.	1.0	01.01.2020	31.12.2023
8.	Guc Maxim	1986	dr.	1.0	01.01.2020	03.01.2023
9.	Lisunov Constantin	1959	dr.	1.0	01.01.2020	31.12.2023
10.	Nateprov Alexandr	1945	dr.	1.0	01.01.2020	31.12.2023
11.	Curmei Nicolai	1989	dr.	1.0	01.01.2020	31.12.2023
12.	Hajdeu-Chicaroș Elena	1989	dr.	1.0	01.01.2020	31.12.2023
13.	Levcenco Sergiu	1983	dr.	1.0	01.01.2020	03.01.2023
14.	Meșalchin Alexei	1978	dr.	0.5	01.01.2020	31.12.2023
15.	Damaschin Ion	1942	dr.	0.75	01.01.2020	31.12.2023
16.	Batîr Valentin	1995		1.0	01.01.2020	31.12.2023
17.	Cazac Veronica	1994		0.75	01.01.2020	31.12.2023
18.	Dermenji Lazari	1978		1.0	01.01.2020	31.12.2023
19.	Loșmanschii Constantin	1990		1.0	01.01.2020	31.12.2023
20.	Prisacar Alexandru	1969		1.0	01.01.2020	31.12.2023
21.	Smîcov Vladimir	1954		1.0	01.01.2020	24.09.2021
22.	Triduh Ghennadi	1946		1.0	01.01.2020	31.12.2023
23.	Petco Aliona	1997		1.0	01.01.2020	31.10.2022
24.	Rotaru Victoria	1998		1.0	01.01.2020	03.01.2023
25.	Slepnirov Ivan	1950		0.5	01.01.2020	22.06.2022
26.	Zalamai Victor	1977		0.5	04.01.2021	31.12.2021
27.	Nedeoglo Dmitrii	1942		0.25	09.06.2021	31.12.2021
28.	Moldovanu Serghei	1967		0.5	01.01.2022	31.12.2023
29.	Micu Alexandru	1963		0.5	04.01.2021	31.12.2023
30.	Ceban Victor	1987		0.5	02.03.2023	31.12.2023

Pondereea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform proiectului	<b>33,33</b>
-------------------------------------------------------------------------------	--------------

<b>Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2020 - 2023</b>					
<b>Nr.</b>	<b>Nume, prenume</b>	<b>Anul nașterii</b>	<b>Titlul științific</b>	<b>Norma de muncă conform contractului</b>	<b>Data angajării</b>
1.	Levcenco Sergiu	1983	dr	-1.0	04.01.2021
2.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	+0.5	04.01.2021
3.	Zalamai Victor	1977		+0.5	04.01.2021
4.	Triduh Ghennadi	1946		-0.5	
5.	Prisacar Alexandru	1969		+0.5	01.06.2021
6.	Simașchevici Alexei	1929	dr. hab.	-0.25	
7.	Nedeoglo Dmitrii	1942		+0.25	09.06.2021
8.	Cazac Veronica	1994		-0.5	
9.	Dermejni Lazar	1978		+0.5	01.07.2021
10.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	-1.0	
11.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	-0.5	
12.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	+0.5	01.08.2021
13.	Abașkin Vladimir	1948	dr.	+0.5	01.08.2021
14.	Nateprov Alexandr	1945	dr.	+0.5	01.08.2021
15.	Smîcov Vladimir	1954		-1.0	
16.	Aculinin Alexandr	1961	dr.	+0.5	25.09.2021
17.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	+0.5	25.09.2021
18.	Cazac Veronica	1994		-1.0	
19.	Dermejni Lazar	1978		+0.5	01.01.2022
20.	Moldovanu Serghei	1967		+0.5	01.01.2022
21.	Slepnirov Ivan	1950		-0.5	
22.	Cazac Veronica	1994		+0.5	07.07.2022
23.	Guc Maxim	1986	dr.	-0.75	
24.	Nateprov Alexandr	1945	dr.	+0.5	01.03.2023
25.	Achimova Elena	1959	dr. hab.	+0.25	01.03.2023
26.	Levcenco Sergiu	1983	dr.	-1.0	
27.	Bruc Leonid	1952	dr.	+0.5	11.04.2023
28.	Abașkin Vladimir	1948	dr.	+0.25	01.03.2023
29.	Aculinin Alexandr	1961	dr.	+0.25	01.03.2023
30.	Rotaru Victoria	1998		-1.0	
31.	Dermejni Lazari	1978		+0.5	01.03.2023
32.	Batîr Valentin	1995		+0.5	01.03.2023
33.	Triduh Ghennadi	1946		-0.5	
34.	Prisacar Alexandru	1969		+0.5	02.03.2023
35.	Cazac Veronica	1994		-0.5	
36.	Ceban Victor	1987		+0.5	02.03.2023

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_/ **Ernest Arusanov**

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

LȘ

**Formular privind raportarea indicatorilor în cadrul proiectului Programe de Stat  
pentru perioada 2020 – 2023, cifra 20.80009.5007.03**

Indicator 1	Rezultat				Indicator 2	Rezultat				Indicator 3	Rezultat			
	2020	2021	2022	2023		2020	2021	2022	2023		2020	2021	2022	2023
<b>Nr. de cereri de brevete</b> înregistrate în cadrul proiectului de cercetare finanțat	0	0	0	0	<b>Nr. de brevete</b> obținute în cadrul proiectului de cercetare finanțat	0	0	0	0	Procentul lucrărilor științifice aplicate în practică, din totalul lucrărilor publicate în cadrul proiectului de cercetare finanțat				
<b>Total</b>	<b>0</b>					<b>0</b>								

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / **Ernest Arușanov**

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

LȘ