

**RECEȚIONAT**

Agencia Națională pentru Cercetare  
și Dezvoltare \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2021

**AVIZAT**

Secția AȘM \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2021

**RAPORT ANUAL**

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

***"Dispozitive fotovoltaice și fotonice cu elemente active din noi materiale calcogenice obținute prin tehnologii economic accesibile"***

**cu cifrul ANCD 20.80009.5007.03**

Prioritatea Strategică: Competitivitate economică și tehnologii inovative

Conducătorul proiectului

acad. Ernest ARUȘANOV

Directorul organizației

dr. hab. Mihai MACOVEI

Consiliul științific/Senatul

dr. hab. Mihai MACOVEI

\_\_\_\_\_



Chișinău 2021

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

Elaborarea tehnologiilor de formare a heterojoncțiunii  $(Ag,Cu)_2Zn(Cd)Sn(S,Se)_4/CdS$  în baza straturilor subțiri de tip kesterit de diverse compoziții, precum și a schemelor optice pentru înregistrarea holografică directă.

## 2. Obiectivele etapei anuale

1. Investigarea proprietăților optice și electrice ale compușilor de tip kesterit  $Cu_2(Zn,Cd)SnS_4$ ,  $Cu_2ZnGe(S,Se)_4$  și  $(Ag,Cu)_2ZnSn(S,Se)_4$  (monocristale, policristale și straturi subțiri).
2. Studiarea proceselor de formare a heterojoncțiunii  $(Ag,Cu)_2Zn(Cd)Sn(S,Se)_4/CdS$  în baza straturilor subțiri de tip kesterit cu diverse compoziții.
3. Elaborarea nanomultistraturilor din sticle calcogenice și straturi subțiri de azopolimeri pentru înregistrare optică (scalară și vectorială) și holografică digitală.
4. Investigarea proprietăților anizotrope ale nanomultistraturilor obținute.

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

1. Investigarea proprietăților de transport, magnetotransport, elipsometrice, vibraționale și structurale ale compușilor  $Cu_2(Zn,Cd)SnS_4$ ,  $Cu_2ZnGe(S,Se)_4$  și  $(Ag,Cu)_2ZnSn(S,Se)_4$  cu compoziție și stare macroscopică diferită.
2. Selectarea celor mai optime compoziții ale acestor materiale în scopul utilizării lor în structuri fotovoltaice tandem.
3. Studiarea proceselor de formare a heterojoncțiunii de tip  $(Ag,Cu)_2Zn(Cd)Sn(S,Se)_4/CdS$  în baza straturilor subțiri de tip kesterit cu diverse compoziții.
4. Obținerea nanomultistraturilor din sticle calcogenice și a straturilor subțiri de azopolimeri pentru înregistrare optică (scalară și vectorială) și holografică digitală.
5. Investigarea proprietăților anizotrope ale nanomultistraturilor obținute, în scopul înregistrării într-un singur ciclu a EOD cu eficiență sporită.

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

1. Au fost măsurate și analizate detaliat dependențele de temperatură ale rezistivității probelor-pulbere de  $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)_4$  cu compoziție diferită;
2. Au fost măsurate și analizate detaliat dependențele de temperatură ale rezistivității și magnetorezistivității a monocristalelor de  $Cu_2(Zn,Cd)SnS_4$ ;
3. Au fost măsurate spectrele EDX compoziționale ale tuturor probelor studiate;
4. Au fost măsurate și studiate spectrele Raman și elipsometrice ale probelor policristaline ale soluțiilor solide  $Cu_2Zn(Ge_xSi_{1-x})Se_4$ ;
5. Au fost investigate heterojoncțiunile  $(Ag_xCu_{1-x})_2ZnSnS_4/CdS$ ;
6. A fost realizată investigarea comparativă a metodelor de formare a regiunilor intermediare în celulele solare ITO/n-Si;

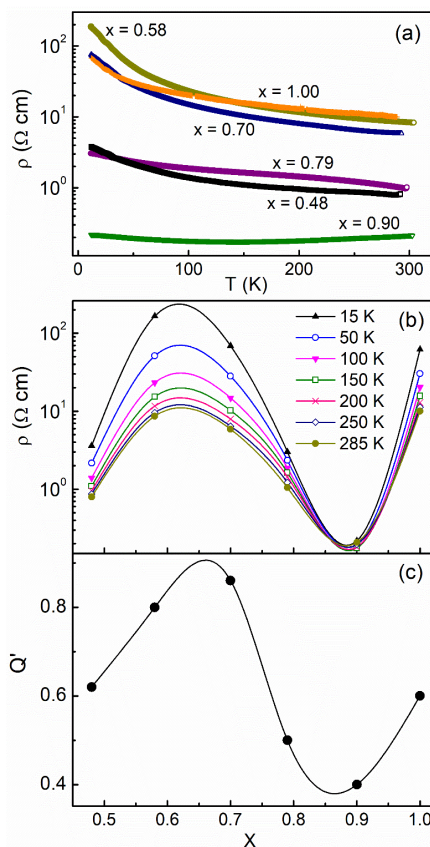
7. Au fost obținute straturi subțiri de azopolimer nou, s-au analizat parametrii optici și de înregistrare ai straturilor subțiri obținute.

8. A fost realizată înregistrarea holografică prin trei configurații ale sistemului optic: analogică polarizată într-un singur pas prin lamelă retardoare de tip vortex, polarizată cu un singur fascicul prin modulator spațial de lumină, polarizată cu fascicul dublu prin modulator spațial de lumină.

## 5. Rezultatele obținute

### 5.1. Investigarea proprietăților de transport, magnetotransport, elipsometrice, vibraționale și structurale ale compușilor de tip kesterit cu stare macroscopică diferită.

Pe parcursul etapei de referință au fost măsurate dependențele de temperatură ale rezistivității  $\rho(T)$  ale diferitor probe de tip kesterit, în absența cât și prezența câmpului magnetic. În particular a fost investigată rezistivitatea soluțiilor solide de  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_4$  (CZTSSe) (probe pulbere) într-un interval larg de temperatură. Conținutul de faze și compoziția chimică a acestora a fost determinată cu ajutorul spectroscopiei de dispersie a razelor X (WDX), cu utilizarea unui sistem cu microsonde electronice (JEOL-JXA 8200). În rezultatul acestor investigații a fost demonstrat gradul înalt de uniformitate compozițională a probelor și absența oricăror defecte punctuale în acestea. Analiza dependențelor experimentale  $\rho(T)$  (Fig. 1(a)) a permis determinarea mecanismelor de transfer al sarcinilor în diferite intervale de temperatură, incluzând conductibilitatea prin salt pe acceptorii apropiați (NNH), urmată de conductibilitatea prin salt de tip VRH-Mott cu scăderea temperaturii și de cea de activare a golurilor peste pragul de mobilitate al benzii acceptoare la cele mai joase temperaturi din spectrul de măsurători.

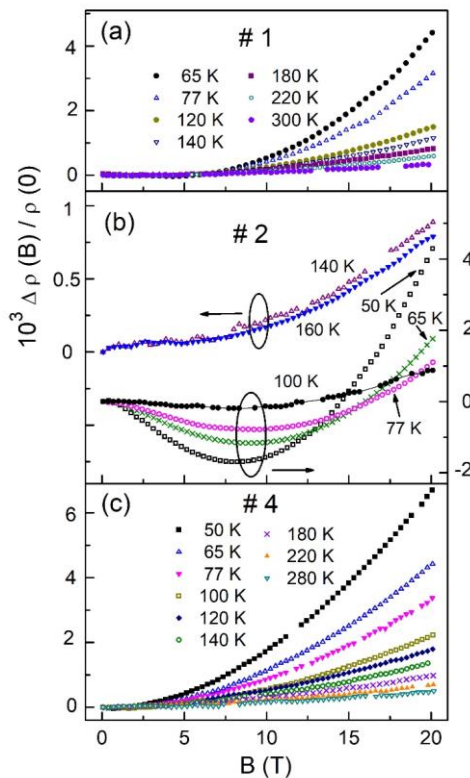


**Fig. 1.** (a) Dependențele de temperatură ale rezistivității probelor pulbere de  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_4$  pentru diferite valori  $x$ . (b) Dependența rezistivității de compoziția  $x$  a probelor la diferite temperaturi. (c) Dependențele parametrului  $Q'$  vs.  $x$ .

În urma analizei detaliate a datelor experimentale au fost determinați parametrii electronici caracteristici pentru fiecare mecanism de conductibilitate observat și au fost calculați un șir de parametri microscopici importanți precum raza de localizare a acceptorilor ( $a$ ) și concentrația acestora ( $N_A$ ), lățimea benzii acceptoare ( $W$ ), poziția nivelului Fermi ( $\mu$ ), precum și a pragului de mobilitate ( $E_c$ ), etc. O atenție sporită a fost oferită studiului influenței dezordinii cationice asupra proprietăților electronice ale materialului dat. Astfel, a fost observat un comportament neobișnuit al dependențelor  $\rho(x)$  care a fost interpretat ca fiind o imagine determinată de comportamentul parametrului care descrie gradul dezordinii structurale  $Q'$  în dependență de compoziția  $x$  (Fig. 1(b, c)). În plus, rolul important al dezordinii cationice în CZTSSe a fost accentuat de observarea directă a corelației între parametrul  $Q'$  și parametrii microscopici obținuți din analiza dependențelor  $\rho(T)$ . Rezultatele astfel obținute

ne permit să concluzionăm ca 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 compuşii de acest tip.

De asemenea, a fost realizat studiul detaliat al proprietăților de magnetotransport al monocristalelor de  $\text{Cu}_2(\text{Zn,Cd})\text{SnS}_4$  (CZCdTS). În cazul acestor probe, dependențele experimentale  $\rho(T)$  sunt determinate de conductibilitatea de tip VRH-Mott cu preponderență. Deviațiile de la acest comportament sunt legate de activarea golurilor peste pragul de mobilitate al benzii acceptoare și de apariția conductibilității prin salt de tip NNH cu scăderea și, corespunzător, cu creșterea temperaturii. Magnetorezistența (MR) măsurată în câmp magnetic pulsat de până la 20 T, la diferite temperaturi, este guvernată cu preponderență de contribuția pozitivă (Fig. 2).



**Fig. 2.** Dependențele  $\Delta\rho(B) / \rho(0)$  pentru probele # 1 (a), # 2 (b) și # 4 (c) de  $\text{Cu}_2(\text{Zn,Cd})\text{SnS}_4$  la diferite temperaturi.

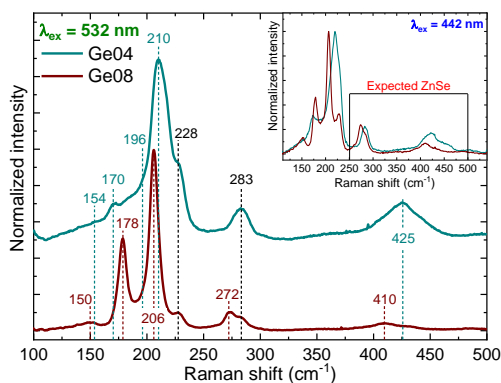
Cu toate acestea, la scăderea temperaturii sau/și a intensității câmpului magnetic, crește și efectul contribuției negative a MR. Un comportament similar al dependențelor  $\rho(T)$  și MR a fost observat anterior și în alți compuși de tip kesterit. Totuși, în acestea din urmă analiza conductibilității sub temperaturile la care se realizează conductibilitatea de tip VRH-Mott nu a fost studiată la fel de explicit ca în cazul probelor de  $\text{Cu}_2(\text{Zn,Cd})\text{SnS}_4$  analizate în cadrul acestui proiect.

Ca și în cazul probelor pulbere de CZTSSe, analiza detaliată a dependențelor  $\rho(T)$  și MR a permis determinarea unor astfel de parametri electronici ca lățimea benzii acceptoare ( $W$ ), densitatea de stări la nivelul Fermi ( $g(\mu)$ ), raza de localizare a acceptorilor ( $a$ ) și concentrația acestora ( $N_A$ ), poziția nivelului Fermi ( $\mu$ ) și a pragului de mobilitate ( $E_c$ ). Toți acești parametri au

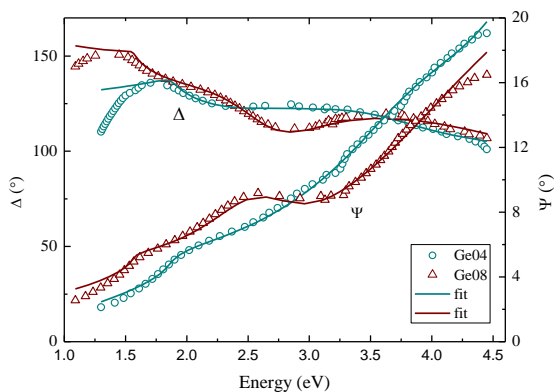
arătat o dependență sistematică de concentrația atomilor de Zn ( $N_{\text{Zn}}$ ). Creșterea parametrului  $W$  observată la majorarea valorii  $N_{\text{Zn}}$  demonstrează o creștere a dezordinii structurale intrinseci, pe când descreșterea valorii  $a$  cu creșterea  $N_{\text{Zn}}$  corelează cu descreșterea concentrației acceptorilor  $N_A$ , deplasând sistemul electronic într-o stare mai depărtată de tranziția metal-izolator (MIT). Ideea încorporării Cd în rețeaua CZTS urmărea descreșterea concentrației defectelor dăunătoare de  $\text{Cu}_{\text{Zn}}$ , adică a parametrului  $N_A$  prin minimizarea deficitului de Zn. Totuși, în urma investigațiilor s-a obținut că valoarea  $N_A$ , în probele ce conțin Cd, este comparabilă cu cea din alte materiale de tip kesterit care nu conțin Cd. Astfel, prezența Cd nu determină nici o îmbunătățire a spectrului defectelor de delocațiune  $\text{Cu}_{\text{Zn}}$  în CZTS după cum se menționa în unele studii recente.

În paralel, a fost inițiat studiul proprietăților optice ale soluțiilor solide de  $\text{Cu}_2\text{Zn}(\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x})\text{Se}_4$ . În acest context, au fost obținute spectrele elipsometrice și Raman ale două probe de  $\text{Cu}_2\text{Zn}(\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x})\text{Se}_4$  cu valoarea  $x = 0.4$  și  $0.8$ . Compoziția chimică a acestora a fost determinată cu ajutorul spectroscopiei dispersiei razelor X (EDX) de unde a rezultat o compoziție apropiată

de stoichiometrie a ambelor probe. Spectrele de împrăștiere Raman au fost măsurate la iradierea cu două lungimi de undă, 442 nm (laser cu gaz de He-Cd) și 532 nm (laserul cu corp solid). Din cauza efectului de rezonanță, prima lungime de undă este sensibilă la posibila prezență a fazelor secundare de ZnSe și GeSe<sub>2</sub>, pe când a doua lungime de undă, din cauza absorbției, permite determinarea prezenței fazei CuSe și a altor linii ale sistemului Ge-Se. Rezultatele studiului nu au arătat prezența nici unei faze secundare din cele presupuse în regiunile studiate ale fiecărei probe. Aspectul general al spectrelor Raman obținute, a permis să concluzionăm că principala fază este cea cuaternară fără prezența fazelor secundare în concentrații semnificative. Deplasarea slabă spre albastru a liniilor spectrului Raman cu creșterea conținutului de Si, corelează bine cu starea membrilor de capăt ai seriei, Cu<sub>2</sub>ZnGeSe<sub>4</sub> și Cu<sub>2</sub>ZnSiSe<sub>4</sub>. Totuși absența unor spectre de referință pentru aceste soluții solide, nu a permis estimarea valorilor exacte ale raportului Ge/(Ge+Si) (Fig. 3).



**Fig. 3.** Spectrul de împrăștiere Raman al probelor soluțiilor solide policristaline de Cu<sub>2</sub>Zn(Ge<sub>x</sub>Si<sub>1-x</sub>)Se<sub>4</sub> măsurate la iradierea cu lungimile de undă 532 nm (panoul principal) și 442 nm (panoul inserat). Numerele din panoul principal indică poziția vârfurilor liniilor Raman, pe când liniile verticale în figura inserată indică poziția liniilor Raman de ordinul întâi și doi al fazei secundare de ZnSe așteptată în probele analizate.



**Fig. 4.** Dependențele spectrale ale valorilor experimentale Ψ și Δ (puncte) și a celor calculate numeric (linii solide) cu utilizarea modelului cu trei faze (aer, suprafață și structură) pentru cele două probe de Cu<sub>2</sub>Zn(Ge<sub>x</sub>Si<sub>1-x</sub>)Se<sub>4</sub>.

Spectrele de elipsometrie au fost măsurate la temperatura camerei în intervalul de energie a fotonilor 0.75 – 4.5 eV sub două unghiuri de incidență, de 60° și 70°, pentru determinarea cu acuratețe a funcției dielectrice a compușilor. Datele elipsometrice au fost măsurate din aceleași regiuni ale probelor pentru care au fost anterior măsurate compoziția și spectrele Raman. Datele experimentale au fost modelate cu ajutorul modelului teoretic cu trei faze (Fig. 4).

## 5.2. Optimizarea procedurii tehnologice de formare a heterojuncțiunilor

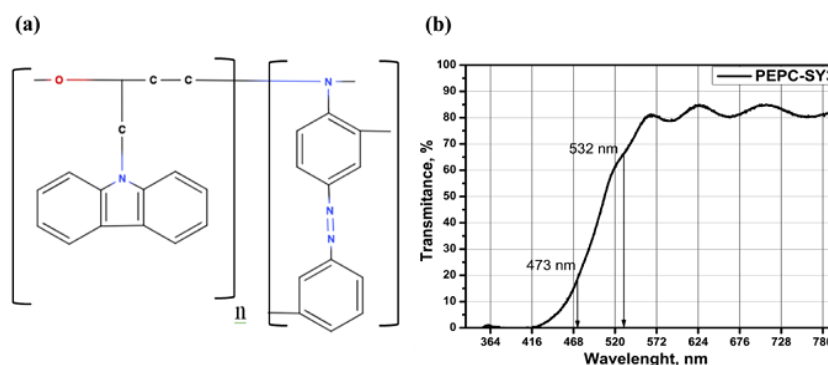
(Ag,Cu)<sub>2</sub>Zn(Cd)Sn(S,Se)<sub>4</sub>/CdS în baza straturilor subțiri de tip kesterit de diverse compoziții.

Au fost investigate heterojuncțiunile (Ag<sub>x</sub>Cu<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>/CdS în calitate de dispozitive fotovoltaice cu trei arhitecturi diferite. Straturile absorbante cu conținutul de argint 5% și 10% au fost obținute prin tehnica de cost redus de piroliză prin pulverizare. În testarea dispozitivelor fotovoltaice cu scopul optimizării eficienței acestora au fost utilizate trei metode diferite de depunere a filmelor de CdS.

Investigarea comparativă a metodelor de formare a regiunilor intermediare în celulele solare ITO/n-Si a urmărit scopul optimizării parametrilor fotovoltaici și utilizării celulelor în tandem cu joncțiunile în baza materialelor kesterite de tipul  $(Ag_xCu_{1-x})_2ZnSnS_4/CdS$ . 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  $SiO_x$  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), care este activ în zona sensibilității celulelor solare la acțiunea iradierii UV, pe partea frontală a celulei solare ITO /n-Si a fost demonstrată posibilitatea extinderii fotosensibilității acestora în domeniul UV al radiației solare. Funcționalitatea acestor dispozitive se observă în intervalul lungimilor de undă 300 – 1100 nm.

### 5.3. Obținerea nanomultistraturilor din sticle calcogenice și a straturilor subțiri de azopolimeri pentru înregistrare optică și investigarea proprietăților acestora.

Au fost obținute straturi subțiri de azopolimer nou. Azopolimerul fotosensibil a fost sintetizat prin polimerizarea poli-n-epoxipropil carbazolului (PEPC) cu cromoforul Solvent Yellow (SY3). Polimerizarea PEPC s-a realizat prin copolimerizarea polymerului cu azocolorantul SY3. Structura chimică a PEPC-co-SY3 (3:1) este prezentată în Fig.5(a). În conformitate cu spectrul de transitanță prezentat în Fig. 5(b), pentru lungimea de undă 473 nm, transitanța este de 19% și pentru o lungime de undă de 532 nm, transitanța azopolimerului este de 65%.



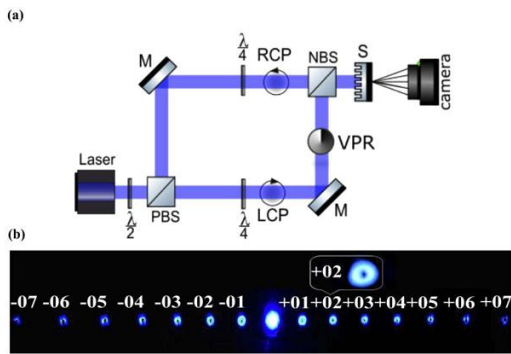
**Fig. 5.** (a) Structura chimică a azopolimerului PEPC-co-SY3; (b) Spectrul de transitanță a azopolimerului sintetizat PEPC-co-SY3, cu grosimea stratului 1.0  $\mu m$ .

Grosimea filmului obținut a fost determinată utilizând microscopul interferometric digital MII-4 modificat în modul de reflecție cu o mărire de 530x și o rezoluție de adâncime de 15 nm. Modelele de interferență ale luminii reflectate din regiunea azopolimerului deasupra și regiunea substratului de sticlă au fost înregistrate. Software-ul OpticMeter elaborat la etapa de referință a fost utilizat pentru procesarea de înaltă precizie a interferogramelor. Grosimea filmelor este egală cu  $1,0 \pm 0,027 \mu m$  și se calculează prin măsurarea deplasărilor corespunzătoare ale liniilor.

Înregistrarea holografică a fost realizată prin trei configurații.

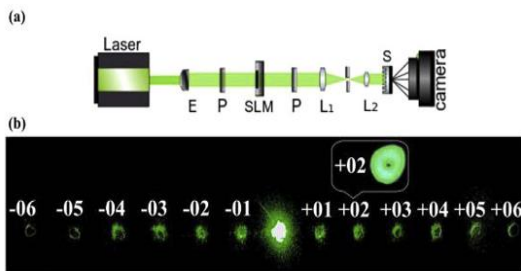
1. Înregistrare holografică analogică polarizată într-un singur pas (PHR) prin lamelă retardoare de tip vortex (VPR). VPR (WPV10L de la Thorlabs) generează fascicule Bessel nedifRACTANTE. Această lamelă retardoare este o placă sensibilă la polarizare care transformă fasciculul incident Gaussian într-un fascicul Laguerre-Gaussian de tip „gogoșă”. Schița

configurației PHR bazată pe un VPR este ilustrată în Fig. 6(a). Modelul de difracție rezultat proiectat pe cameră este ilustrat în Fig. 6(b).



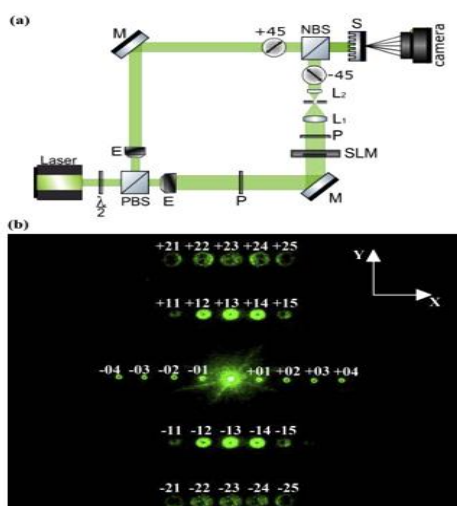
**Fig. 6.** (a) Aranjament interferometric analogic pentru micro-modelarea DOE de tip vortex prin VPR. CW DPSS laser ( $\lambda=473\text{nm}$ ,  $P = 100\text{mW}$ ), M – oglindă, PBS – Divizor polarizat de fascicul, NBS – divizor nepolarizat de fascicule, VPR- lamelă retardoare de tip vortex., S – probă;  $\lambda/4$  - lamelă retardoare,  $\lambda/2$  – lamelă retardoare, camera-camera digitală de 12 MPxs; (b) imaginea singularităților de fază afișate în modelul de difracție.

2. Înregistrare holografică polarizată cu un singur fascicul prin modulator spațial de lumină (SLM). Esența utilizării SLM pentru PHR este holograma generată de computer, care implică mai mult calculul numeric al modelului decât producerea fotografică a acesteia. Configurația PHR cu un singur fascicul este ilustrată în Fig. 7 (a). Singularitățile de fază de intensitate scăzută dislocate într-o singură linie pot fi observate în tabloul de difracție din Fig. 7(b).



**Fig. 7.** (a) Configurația digitală PHR cu un singur fascicul. Laser CW DPSS, E- expander, SLM-LC-2002 (rezoluție de  $800 \times 600$  pixeli și un pas al pixelilor de  $32 \mu\text{m}$ ), polarizator P, lentile L1, L2, probă S. (b) Imaginea singularităților de fază afișate în modelul de difracție generat de vortexul DOE înscris de PHR cu un singur fascicul prin LM.

3. Înregistrare holografică polarizată cu fascicul dublu prin SLM. DOE complex de tip vortex a fost înregistrat simultan prin intermediul a două moduri diferite de înregistrare, care funcționează în regim paralel. Primul mod de înregistrare funcționează în configurația cu SLM situat în brațul de obiect al configurației PHR, ilustrat în Fig. 8 (a). Al doilea mod de înregistrare funcționează ca o configurație de înregistrare interferometrică Mach-Zehnder datorită adăugării brațului de referință la sistemul de modelare. Configurația PHR cu fascicul dublu este prezentată în Fig. 8 (a). DOE de tip vortex fotoindus generează fascicule de vortex cu mai multe canale, așa cum este reprezentat în Fig. 8 (b).



**Fig. 8.** (a) Configurația digitală PHR cu fascicul dublu. Laser CW DPSS, M – oglindă, PBS–dispersor de fascicul polarizant, NBS – dispersor de fascicul nepolarizant, E – expander, SLM – modulator spațial de lumină LC-2002 cu o rezoluție de  $800 \times 600$  pixeli și un pas al pixelilor de  $32 \mu\text{m}$ , S – proba;  $\lambda/2$  – lamelă retardoare, P – polarizator, L1, L2 – lentile, (b) Modelul de difracție obținut în configurația digitală PHR cu fascicul dublu.

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

1. **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. Doi: [10.3103/S1068375521030133](https://doi.org/10.3103/S1068375521030133).
2. **Dermenji, L.**; **Curmei, N.**; Gurieva, G.; **Bruc, L.**  $(\text{Ag}_x\text{Cu}_{1-x})_2\text{ZnSnS}_4$ -Based Thin Film Heterojunctions: Influence of CdS Deposition Method. *Surf Eng Appl Elect.* 2022, 57(3), 323—329. Doi: [10.3103/S1068375521030054](https://doi.org/10.3103/S1068375521030054).
3. 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. Doi: [10.33581/1561-4085-2021-24-2-104-111](https://doi.org/10.33581/1561-4085-2021-24-2-104-111).
4. **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  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_4$  solid solutions. *J Mater Research Technol.* 2021, 13, 2251—2259. Doi: [10.1016/j.jmrt.2021.06.003](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.003) (IF: 5,289).
5. 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. Doi: [10.1364/OL.427335](https://doi.org/10.1364/OL.427335) (IF: 3,714).
6. Sergeev, S.A.; **Meshalkin, A.Y.**; Iovu, M.S. Diffraction Structures Formed by Two Crossed Superimposed Diffraction Gratings. *Surf Eng Appl Elect.* 2021, 57(2), 207—216. Doi: [10.3103/S1068375521020095](https://doi.org/10.3103/S1068375521020095).



7. 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. Doi: [10.33581/2520-257X-2021-1-50-57](https://doi.org/10.33581/2520-257X-2021-1-50-57).

8. 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 (IF: 1,197).

9. **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. Doi: [10.1088/1742-6596/1745/1/012020](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1745/1/012020).

10. Bodnar, I.V.; Victorov, I.A.; Kalita, O.V.; Khoroshko, V.V.; **Arushanov, E.** Growth, crystal structure, and properties of  $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{SnS}_4$  solid solutions. *Solid State Sci*. 2021, **113**, 106550. Doi: [10.1016/j.solidstatesciences.2021.106550](https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2021.106550) (IF: 2,434).

11. **Cazac, V.; Achimova, E.; Abashkin, V.; Prisacar, A.; Loschmanschii, 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. Doi: [10.1364/OE.415639](https://doi.org/10.1364/OE.415639) (IF: 3,669).

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

Elaborările de materiale noi și tehnologii moderne low-cost, metode eficiente de înregistrare a informației optice și a radiației IR și UV vor avea un impact considerabil științific și tehnologic la nivel internațional. Crearea materialelor și structurilor noi pentru convertoare FV și a tehnologiilor accesibile cu costul redus de producere a celulelor solare tandem are un impact de interes pentru întreaga comunitate științifică globală întrucât valorificarea surselor regenerabile de energie ecologic inofensive este unul din proiectele cele mai dinamice ale industriei mondiale. Impactul științific fundamental constă în elaborarea concepțiilor pentru design-ul diverselor materiale și publicarea rezultatelor în reviste științifice recenzate cu factor de impact înalt pe parcursul anului 2021 (Anexa 1A). Rezultatele și experiența obținute de echipa de executanți pe parcursul realizării proiectului în perioada de referință și metodele moderne de înregistrare computerizată a elementelor optice de difracție au fost folosite la instruirea specialiștilor în optoelectronică. Rezultatele obținute în cadrul proiectului vor contribui la asigurarea și ridicarea nivelului științifico-didactic a studenților și masteranzilor.

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

Realizarea sarcinilor stabilite pentru atingerea scopului etapei de referință a avut loc atât în laboratoarele Institutului de Fizică Aplicată (IFA), dar și în cele ale unităților de cercetare din țară și de peste hotare (Germania, Spania, Finlanda, Belarus, Rusia, etc.) cu care echipa de cercetare a proiectului colaborează. Astfel, 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. O parte din dependențele rezistivității de temperatură au fost măsurate la IFA la echipamentul modern din dotare iar cele în câmp magnetic de intensitate mare - la Universitatea Tehnică din Lappeenranta (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). Toate datele experimentale au fost analizate și prelucrate la IFA cu ajutorul calculatoarelor moderne din dotare cu utilizarea programelor Origin, MathCad. 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.

Pentru obținerea, studiul straturilor subțiri și a heterojoncțiunilor formate au fost folosite instalația automatizată de obținere a straturilor subțiri CY-MSK-USP-02 din dotarea IFA, aparatul de evaluare a parametrilor celulelor solare ST1000 (IFA), instalații de vid VUP-4 (două unități) pentru obținerea straturilor subțiri metalice și filmelor semiconductoare (IFA), instalații pentru producerea de straturi subțiri prin pulverizare pirolitică (4 buc) (IFA), instalație de efectuare a măsurătorilor de parametri electrici ai materialelor solide într-un interval larg de temperaturi (IFA), spectrofotometru SPECORD UV-VIS dublu-fascicul (IFA), Spectrofotometru Proscan MC 122 UV-VIS dublu-fascicul din dotarea Universității de Stat de Radioelectronică și Informatică din Belarus (BSUIR) (Belarus). 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 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.

## **9. Colaborare la nivel național în cadrul implementării proiectului**

Pe parcursul anului de referință echipa proiectului a colaborat cu Universitatea Tehnică a Moldovei pentru schimb de experiență și realizarea unor măsurători.

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

Pe parcursul etapei de referință a proiectului, echipa de cercetare a ținut legături în scopuri științifice cu colegii care se ocupă cu studierea compușilor cuaternari, ternari, silicidelor din centrele de cercetare externe: Universitatea Autonomă din Madrid și Institutul de Optică "Daza de Valdés" (Spania), Universitatea Tehnică din Lappeenranta (Finlanda), Institutul Catalan de Cercetare în Energetică IREC (Spania), Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) și Institutul de Optică a Universității din Stuttgart (Germania), Universitatea Națională de Cercetări Samara (Rusia), Universitatea de Stat de Radioelectronică și Informatică din Belarus (BSUIR) (Belarus), etc. O parte din acțiunile de cercetare necesare îndeplinirii scopului proiectului la etapa a doua au fost realizate în laboratoarele acestor centre de către membrii echipei care, periodic, au îndeplinit stagii de practică acolo prin diverse acorduri de colaborare încheiate de către conducătorii unităților de cercetare. De asemenea, șeful LMFF dr.hab. Ernest Arușanov și dr. Leonid Bruc, aflați în delegație la Vilnius (Lituania), în perioada septembrie - octombrie 2021, au vizitat instituțiile de cercetare UAB Modernios E-Technologijos (MET) și Center for Physical Sciences and Technology. În timpul delegației au luat cunoștință cu condițiile de asamblare a panourilor fotovoltaice cu diferite mărimi și puteri. La ședința seminarului colaboratorilor din timpul vizitei au prezentat referatul "*Preparation of ACZTS thin films with different concentrations of Ag by spray pyrolysis method and their characterization.*" S-a discutat despre metodele de obținere a structurilor fotovoltaice în straturi subțiri pe baza compușilor cuaternari, posibilele variante de asamblare a structurilor tandem. Au participat în procesele de obținere a probelor ACZTS și de cercetare ale acestora. Au efectuat măsurătorile proprietăților fotoelectrice a structurilor Glass/FTO/TiO<sub>2</sub>/ACZTS/Cu (concentrația Ag 0%-15%) cu straturi subțiri de kesterite. Ca urmare a cercetării comune cu oameni de știință din Germania, Norvegia și Belarus, în anul 2021 au fost publicate mai multe articole științifice în jurnale internaționale și au diseminat rezultatele la mai multe conferințe.

## **11. Dificultățile în realizarea proiectului**

Nu sunt.

**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)

1. **Cazac V., Loșmanschii C., dr. hab. Achimova E., dr. Meșalchin A., dr. Abaskin V.,** Podlipnov V., Conferința Internațională ”VII International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT-2021)”, 20-24 Septembrie 2021, Samara, Rusia. “*Characterization of polarization holographic gratings obtained on azopolymer thin films by digital holographic microscopy*” (prezentare orală).
2. Rudzikas M., Šetkus A., **dr. Curmei N., dr. hab. Serban D.,** Donėlienė J., Ulbikas J., Ulyashin A., Conferința Internațională ”38<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition”, 6 - 10 Septembrie, 2021, online, Lisabona, Portugalia. “*Sol-gel method for double layer coated colored silicon solar cells*” (poster).

➤ Manifestări științifice internaționale (în Republica Moldova)

1. Dr. hab. Achimova E., dr. Abaskin V., Cazac V., Prisacar A., dr. Meșalchin A. și Loșmanschii C., Conferința Internațională ”5<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering”, 3-5 Noiembrie 2021, Chisinau, Republica Moldova. “*The Anisotropy of Light Propagation in Biological Tissues*” (prezentare orală).
2. Dr. Paiuk O., dr. Meșalchin A., dr. Stronski A., dr. hab. Achimova E., Loșmanschii C., Korchovyi A., Denisova Z., Goroneskul V., Oleksenko P., Conferința Internațională ”5<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering”, 3-5 Noiembrie 2021, Chisinau, Republica Moldova. “*Direct Surface Patterning Using Carbazole-based Azopolymer*” (prezentare orală).
3. Loșmanschii C., dr. hab. Achimova E., dr. Abaskin V., Botnari V., dr. Meșalchin A., Conferința Internațională ”5<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering”, 3-5 Noiembrie 2021, Chisinau, Republica Moldova. “*Photoinduced Anisotropy in Azopolymer Studied by Spectroscopic and Polarimetric Parameters*” (prezentare orală).

➤ Manifestări științifice naționale

-

➤ Manifestări științifice cu participare internațională

-

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

-

**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 2021 de membrii echipei proiectului**

-

**16. Materializarea rezultatelor obținute în proiect**

- Au fost obținute date noi despre proprietățile de transport ale compușilor  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_4$  și corelația acestora cu proprietățile structurale. Acestea au fost documentate în jurnalul *J. Mater Research Technol.* (IF: 5,289).
- 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 jurnalul *Surf Eng Appl Elect.*
- Au fost obținute straturi subțiri experimentale de azopolimer nou. Datele au fost documentate prin prezentarea la conferințe internaționale.
- Software-ul OpticMeter elaborat la etapa de referință a fost utilizat pentru procesarea de înaltă precizie a interferogramelor.

**17. Informație suplimentară referitor la activitățile membrilor echipei în anul 2021**

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

1. Dr. Hab. Șerban Dormidont, membru CȘS D 133.04-21-13 la susținerea tezei de doctor din data de 3 septembrie 2021.
2. Dr. Hab. Șerban Dormidont, președinte CȘS D 134.01-21-33 la susținerea tezei de doctor din data de 21 septembrie 2021.
3. Dr. Hajdeu-Chicaros Elena, secretar științific în CȘS D 134.01-21-33 la susținerea tezi de doctor din data de 21 septembrie 2021.

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

-

**18. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect.**

**RO**

Pe parcursul etapei de referință au fost investigate proprietățile de transport ale soluțiilor solide de  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_4$  (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 CZTS urmândă 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 CZTS. 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, demonstrează că principala fază este cea cuaternară.

Au fost investigate heterojuncțiunile  $(\text{Ag}_x\text{Cu}_{1-x})_2\text{ZnSnS}_4/\text{CdS}$  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 scopul optimizării parametrilor fotovoltaici și utilizării 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  $450\text{-}500^\circ\text{C}$  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 ( $\text{CdS}:\text{Cu}+\text{lac acrilic}$ ), pe partea frontală a celulei solare ITO/n-Si, a fost demonstrată posibilitatea extinderii fotosensibilității acestora în domeniul UV al radiației solare.

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 deșus și regiunea substratului de sticlă. Software-ul OpticMeter elaborat la etapa de referință a fost utilizat pentru procesarea de înaltă precizie a interferogramelor. Grosimea filmelor este egală cu  $1,0 \pm 0,027 \mu\text{m}$  și se calculează prin măsurarea deplasărilor corespunzătoare ale liniilor. Înregistrarea holografică a fost realizată prin trei configurații ale sistemului optic.

## **EN**

During the reference period, the transport properties of  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_4$  (CZTSSe) (powder samples) and  $\text{Cu}_2(\text{Zn,Cd})\text{SnS}_4$  (CZCdTS) (single crystals) solid solutions were investigated in a wide temperature range, with the determination of the main conductivity mechanisms and a set of important characteristic electronic parameters. A special attention has been paid to the influence of the cation disorder on the electronic properties of the CZTSSe

compound. The obtained results permit to infer, that namely the disorder in the Cu/Zn substructure is probably a decisive factor, which is responsible for appearance of the acceptor band and the observed complicated charge transfer mechanism in these materials. In the case of CZCdTS samples, the magnetoresistance measured in pulsed magnetic field up to 20 T, at different temperatures, is mainly governed by the positive contribution. The joint analysis of  $\rho(T)$  and MR yielded the values of important electronic parameters exhibiting systematic dependences on the Zn concentration  $N_{Zn}$ . The idea of incorporation of Cd into the CZTS lattice was to decrease the concentration of detrimental  $Cu_{Zn}$  defects. However it was obtained that the presence of Cd does not lead to any damping of the detrimental  $Cu_{Zn}$  defects in our material. In parallel, the study of the optical properties of solid solutions of  $Cu_2Zn(Ge_xSi_{1-x})Se_4$  (CZGSiSe) was initiated. In this context, the ellipsometry and Raman spectra of the CZGSiSe samples with the value  $x = 0.4$  and  $0.8$  were obtained. EDX spectra revealed a composition close to stoichiometry of the samples. Raman scattering spectra did not show the presence of any secondary phase. Their general aspect shows that the main phase is the quaternary one.

$(Ag_xCu_{1-x})_2ZnSnS_4/CdS$  heterojunctions were investigated as photovoltaic devices with three different architectures. In order to optimize the efficiency of photovoltaic devices, for the testing purposes, three different methods of deposition of CdS films were used. The comparative investigation of the formation methods of the intermediate regions in ITO/n-Si solar cells was performed in order to optimize the photovoltaic parameters and further using of the cells in tandem junctions based on kesterite materials such as  $(Ag_xCu_{1-x})_2ZnSnS_4/CdS$ . The method of oxidizing the surface of silicon wafers at a temperature of 450-500°C for 10-15 minutes demonstrated the formation of thin SiOx layers of nanometric thickness. This allows to obtain a photovoltaic conversion efficiency of suitable values for the use of mentioned solar cells in tandem structures. By depositing thin composite layers, activated with nano- and microparticles from semiconductor materials (CdS:Cu<sup>+</sup> acrylic lacquer), on the front of the ITO/n-Si solar cell, the possibility of extending their photosensitivity in the UV domain of solar radiation was demonstrated.

During the project realization thin layers of new photosensitive azopolymer were obtained. It was synthesized by polymerizing poly-n-epoxypropyl carbazole (PEPC) with the Solvent Yellow chromophore (SY3). PEPC polymerization was performed by copolymerizing the polymer with SY3 aqueous dye. According to the transmittance spectra, for a wavelength of 473 nm, the transmittance was 19% and for a wavelength of 532 nm, the transmittance of the azopolymer is 65%. Interference patterns of the reflected light from the deposited azopolymer region and the glass substrate region were recorded. The OpticMeter software developed at the reference stage was used for the high-precision processing of interferograms. The thickness of the films is equal to  $1,0 \pm 0,027 \mu m$  and is calculated by measuring the corresponding displacements of the lines. Holographic recording was performed through three configurations of the optical system.

## 18. Recomandări, propuneri

-

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / dr. hab. Arușanov ERNEST

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

LS

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

**”Dispozitive fotovoltaice și fotonice 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. 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 (IF: 0,895).
2. Cazac, V.; Achimova, E.; Abashkin, V.; Prisacar, A.; Loshmanschii, 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 (IF: 3,894).
3. 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 (IF: 3,059).
4. 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 (IF:3,776).
5. 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 (IF: 5,039).
6. 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).

*1.2. în alte reviste din străinătate recunoscute*

1. Gojayevev, 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.



5. 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.
6. Dermeñji, L.; Curmei, N.; Gurieva, G.; Bruc, L.  $(Ag_xCu_{1-x})_2ZnSnS_4$ -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.

## 2. Teze ale conferințelor științifice

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

1. 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" in VII International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT-2021), 20-24 September 2021, Samara, Russia.
2. 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" in 38<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 6 - 10 September, 2021, online, Lisbon, Portugal.

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

1. Losmanschii, C.; Achimova, E.; dr. Abaskin, V., Botnari, V.; Mașalchin, A.; "Photoinduced Anisotropy in Azopolymer Studied by Spectroscopic and Polarimetric Parameters" in 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" in 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" in 5<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering", 3-5 November 2021, Chisinau, Republic Of Moldova.

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

**Cifrul proiectului: ANCD 20.80009.5007.03**

<b>Cheltuieli, mii lei</b>				
<b>Denumirea</b>	<b>Cod</b>		<b>Anul de gestiune</b>	
	<b>Eco (k6)</b>	<b>Aprobat</b>	<b>Modificat +/-</b>	<b>Precizat</b>
Remunerarea muncii angajaților conform statelor	211180	2011.4		2011.4
Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii	212100	583.3		583.3
Servicii editoriale	222910	0.1		0.1
Indemnizații pentru incapacitatea temporară de muncă achitate din mijloacele financiare ale angajatorului	273500	6.1		6.1
Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	335110	10.1		10.1
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizitelor de birou	336110	6.0		6.0
<b>Total</b>		<b>2617.0</b>		<b>2617.0</b>

Conducătorul organizației \_\_\_\_\_/ dr. Macovei MIHAI

Contabil șef \_\_\_\_\_/ Mitroșenco LARISA

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_/ dr. hab. Arușanov ERNEST

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

LS

## Componența echipei proiectului

Cifrul proiectului: **ANCD 20.80009.5007.03**

<b>Echipea proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului)</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.	Arușanov Ernest	1941	dr.hab.	1.00	04.01.2021	
2.	Simașchevici Alexei	1929	dr.hab.	0.25	04.01.2021	
3.	Șerban Dormidont	1939	dr.hab.	1.00	04.01.2021	
4.	Achimova Elena	1959	dr.hab.	1.00	04.01.2021	
5.	Abașkin Vladimir	1948	dr.	1.00	04.01.2021	
6.	Aculinin Alexandr	1961	dr.	1.00	04.01.2021	
7.	Bruc Leonid	1952	dr.	1.00	04.01.2021	
8.	Guc Maxim	1986	dr.	0.25	04.01.2021	
9.	Lisunov Constantin	1959	dr.	1.00	04.01.2021	
10.	Nateprov Alexandr	1945	dr.	1.00	04.01.2021	
11.	Curmei Nicolai	1989	dr.	1.00	04.01.2021	
12.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	1.00	04.01.2021	
13.	Levcenco Sergiu	1983	dr.	1.00	04.01.2021	
14.	Meșalchin Alexei	1978	dr.	0.50	04.01.2021	
15.	Batîr Valentin	1995		1.00	04.01.2021	
16.	Cazac Veronica	1994		1.00	04.01.2021	05.11.21
17.	Damaschin Ion	1942	dr.	0.75	04.01.2021	
18.	Dermenji Lazar	1978		1.00	04.01.2021	
19.	Loșmanschii Constantin	1990		1.00	04.01.2021	
20.	Micu Alexandru	1963		0.50	04.01.2021	
21.	Prisacar Alexandru	1969		1.00	04.01.2021	
22.	Smîcov Vladimir	1954		1.00	04.01.2021	24.09.21
23.	Triduh Ghennadi	1946		0.50	04.01.2021	
24.	Petco Aliona	1997		1.00	04.01.2021	
25.	Rotaru Victoria	1998		1.00	04.01.2021	
26.	Slepnirov Ivan	1950		0.50	04.01.2021	
	<b>Total</b>			<b>22.25</b>		

<b>Pondereea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform contractului de finanțare</b>	<b>30,7 %</b>
--	---------------

<b>Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2021</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>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1.	Levcenco Sergiu	1983	dr	-1.00	04.01.2021
2.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	0.50	04.01.2021
3.	Zalamai Victor	1977		0.50	04.01.2021
4.	Triduh Ghennadi	1946		-0.50	
5.	Prisacar Alexandru	1969		0.50	01.06.2021
6.	Simașchevici Alexei	1929	dr.hab.	-0.25	
7.	Nedeoglo Dmitrii	1942		0.25	09.06.2021
8.	Cazac Veronica	1994		-0.50	

1	2	3	4	5	6
9.	Dermenji Lazar	1978		0.50	01.07.2021
10.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	-1.00	
11.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	-0.50	
12.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	0.50	01.08.2021
13.	Abaşkin Vladimir	1948	dr.	0.50	01.08.2021
14.	Nateprov Alexandr	1945	dr.	0.50	01.08.2021
15.	Smîcov Vladimir	1954		-1.00	
16.	Aculinin Alexandr	1961	dr.	0.50	25.09.2021
17.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	0.50	25.09.2021

Pondereea tinerilor (%) din numărul total al executorilor <b>la data raportării</b>	26,92%
---	--------

Conducătorul organizației \_\_\_\_\_ / dr. Macovei MIHAI

Contabil șef \_\_\_\_\_ / Mitroşenco LARISA

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / dr. hab. Aruşanov ERNEST

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

LŞ