

RECEPȚIONAT

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

AVIZAT

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

_____ 2024

_____ 2024

RAPORT ȘTIINȚIFIC ANUAL**pentru etapa 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

*M. 99*

CUPRINS:

1. Scopul etapei 2023 conform proiectului depus la concurs
2. Obiectivele etapei 2023
3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei 2023
4. Acțiunile realizate
5. Rezultatele obținute
6. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului
7. Colaborare la nivel național și internațional în cadrul implementării proiectului
8. Dificultățile în realizarea proiectului (financiare, organizatorice, legate de resursele umane etc.)
9. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de publicații
10. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de prezentări la foruri științifice.
11. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în proiect în mass-media
12. Teze de licență / masterat / doctorat / postdoctorat susținute și confirmate în anul 2023 de membrii echipei
13. Concluzii
14. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2023 (Anexa nr. 1)
15. Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice publicate în anul 2023 în cadrul proiectului din Programul de Stat (Anexa nr. 2)
16. Executarea devizului de cheltuieli, conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare pentru anul 2023 (Anexa nr. 3)
17. Componența echipei conform contractului de finanțare 2023 (Anexa nr. 4)

1. Scopul etapei 2023 conform proiectului depus la concurs

Obținerea și testarea mostrelor funcționale ale dispozitivelor fotovoltaice și fotonice pe bază de materiale calcogenice.

2. Obiectivele etapei 2023

- Obținerea joncțiunilor Si/ITO.
- Asamblarea dispozitivului fotovoltaic tandem Si/ITO + (Ag,Cu)₂Zn(Cd)Sn(S,Se)₄/CdS.
- Investigarea proprietăților fotovoltaice ale mostrelor de structuri tandem Si/ITO + (Ag,Cu)₂Zn(Cd)Sn(S,Se)₄/CdS și aprecierea eficienței acestora.
- Elaborarea exemplelor practice de elemente optice de difracție implementate pe medii din sticle calcogenice și azopolimeri în conformitate cu algoritmi dezvoltati.
- Analiza potențialului materialelor noi studiate pentru utilizarea în aplicații fotovoltaice și fotonice.

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei 2023

- Obținerea joncțiunilor Si/ITO.
- Asamblarea dispozitivului fotovoltaic tandem Si/ITO + (Ag,Cu)₂Zn(Cd)Sn(S,Se)₄/CdS.
- Investigarea proprietăților fotovoltaice ale mostrelor de structuri tandem Si/ITO + (Ag,Cu)₂Zn(Cd)Sn(S,Se)₄/CdS și aprecierea eficienței acestora.
- Elaborarea exemplelor practice de elemente optice de difracție implementate pe medii din sticle calcogenice și azopolimeri în conformitate cu algoritmi dezvoltati.
- Analiza potențialului materialelor noi studiate pentru utilizarea în aplicații fotovoltaice și fotonice.

4. Acțiunile realizate

- Au fost continuate procesele de sinteză și depunere a straturilor subțiri pe bază de compuși de tip kesterit, determinarea condițiilor optime pentru obținerea de materiale pentru structuri fotovoltaice cu caracteristici îmbunătățite, a fost analizat efectul tratării termice asupra calității și caracteristicilor structurale ale acestora, precum și au fost studiate proprietățile optice cu ajutorul spectroscopiei elipsometrice și a spectroscopiei UV–VIS.
- Au fost realizate lucrări de asamblare ale structurilor Si/ITO + (Ag,Cu)₂Zn(Cd)Sn(S,Se)₄/CdS;
- Au fost dezvoltate metode numerice pentru calcularea proprietăților optice și chimico-fizice ale nanostructurilor din sticle calcogenice și straturi subțiri de azopolimeri.
- Au fost dezvoltati algoritmi de calcul și procesare a imaginilor pentru EOD.
- Au fost proiectate prototipuri de EOD cu proprietăți specifice pe baza materialelor obținute și studiate la etapele anterioare.

- A fost realizată măsurarea continuă a valorilor radiației solare de intrare (cu rezoluție de 1 minut) în intervalele spectrale de la UV la IR, măsurarea regulată a valorilor grosimii optice a aerosolilor atmosferici (GOA) și a caracteristicilor optice ale aerosolilor atmosferici, dinamica modificării acestora. Au fost determinate variațiile (zilnice, lunare, sezoniere, anuale) ale parametrilor statistici ale valorilor măsurate.

5. Rezultatele obținute

5.1. Obținerea și studiul straturilor subțiri de $Cu_2Cd_xZn_{1-x}SnS_4$ și structurilor pe baza acestora

Pe parcursul etapei anului 2023 au fost continuate lucrările de optimizare a proceselor de depunere a straturilor subțiri de tip kesterit pe substraturi din sticlă precum și studiul proprietăților și caracteristicilor acestora. Straturile subțiri au fost obținute prin pulverizarea soluției complexe cu conținut de Cu, Cd, Zn, Sn și S pe substrat de sticlă încălzit la temperatura de 270-280 °C. Metoda de depunere presupune prepararea a 3 soluții precursoare (S1, S2 și S3). S1 conține complexe de Cu, S2 conține complexe de Zn și Sn și S3 conține complexe de Cd. În acest fel, se pot obține soluții destul de stabile și omogene. Soluția complexă era preparată direct înainte de depunere. Raportul dintre S1, S2 și S3 era, de obicei, S1:S2 = 3:1 pentru a obține un amestec stoichiometric de precursori. Aici, precursorul S1 a fost obținut prin adăugarea unei cantități diferite pentru a obține raportul necesar Cd/Zn. Soluția complexă era dispersată pe suportul de sticlă încălzit la temperatura de 270 – 280 °C. Procedeele de pulverizare s-a efectuat în atmosferă de dioxid de carbon, pentru a evita oxidarea elementelor chimice ce intră în componența straturilor subțiri de kesterit. Pentru a îmbunătăți calitatea cristalină a straturilor subțiri de kesterit s-a realizat tratarea termică a acestora în atmosferă de S_2 la temperatura de 525 °C timp de 30 min.

Analiza straturilor subțiri netratate termic cu ajutorul difracției razelor X (XRD) au prezentat unele dintre vârfurile caracteristice kesteritelor. Intensitatea scăzută a liniilor sugerează un conținut ridicat de material amorf. Odată cu creșterea conținutului de Cd, vârfurile proeminente de kesterite (corespunzând planurilor 112, 200, 220 și 312) ale filmelor subțiri netratate termic s-au mutat la valori mai mici de 2θ , indicând încorporarea cu succes a Cd în rețeaua cristalină a CCZTS-20, 40, 60, 80 și CCTS datorită substituției ionilor de Zn (raza atomică de 0,74Å) cu ionii de Cd cu raza mai mare (raza atomică de 0,94Å). Utilizarea Cd-ului ca înlocuitor pentru Zn în kesterite reduce probabilitatea formării unor faze secundare dăunătoare și a unor defecte de delocațiune care determină performanța scăzută a dispozitivelor fotovoltaice pe bază de kesterite. Pentru valori ale randamentului mai bune, atunci când se utilizează Cd în kesterite, este necesar un raport optimizat dintre Cd și Zn. Unele dintre fazele secundare detectate în straturile subțiri netratate termic sunt sulfura de cupru (II) (CuS), sulfura de zinc (ZnS), sulfura de cupru staniu (CTS). Prezența CuS indică un conținut ridicat de cupru, deși conținutul ridicat de cupru promovează formarea unui kesterit monofazic. Formarea unei faze secundare de ZnS este posibilă în straturile subțiri cu conținut ridicat de zinc, cum ar fi CZTS, CCZTS-20 și CCZTS-40. Formarea fazei secundare de ZnS este de așteptat să scadă pe măsură ce crește conținutul de Cd. Formarea fazei secundare CTS este de așteptat să aibă loc într-o manieră progresivă pentru filmele subțiri cu conținut scăzut de

zinc, cum ar fi CCZTS-20, 40, 60, 80 și CCTS. Filmele subțiri tratate termic au arătat o cristalinitate îmbunătățită (Fig. 1b).

În modelele obținute pentru filmele subțiri tratate termic, vârfurile atribuite planurilor 112, 200, 220 și 312 sunt mai accentuate și deplasarea lor spre stânga devine mai evidentă odată cu creșterea conținutului de Cd, indicând încorporarea atomilor de Cd care duce la expansiunea rețelei cristaline.

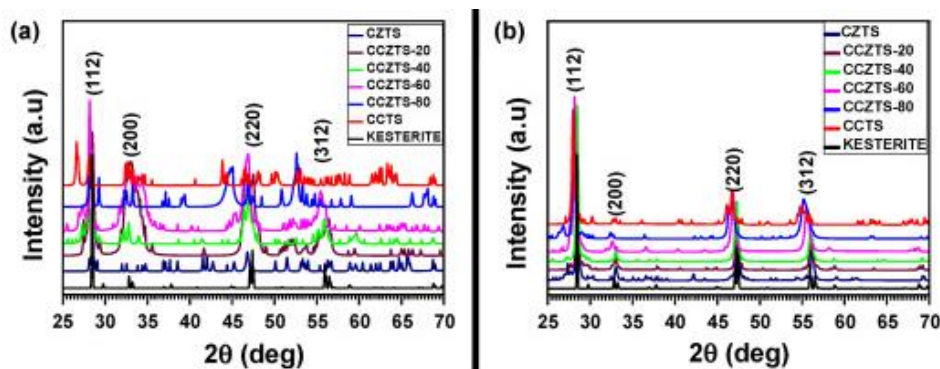


Fig. 1. Spectrele de difracție cu raze X pe pulbere ale (a) Filme subțiri netratate termic (b) Filme subțiri tratate termic ale CZTS, CCZTS-20, CCZTS-40, CCZTS-60, CCZTS-80 și CCTS cu diagrame de referință a fazei kesterite.

La un conținut mai scăzut de Cd (CCZTS-20 și 40), nu a existat o variație semnificativă a fazei cristaline. Straturile subțiri CCZTS-60, CCZTS-80 și, respectiv, CCTS, pot fi atribuite unei transformări din faza kesterit în faza stanit, precum și unei schimbări în constantele rețelei. Rezultatele au arătat că acesta este cazul materialului pe bază de kesterit cu conținut ridicat de Cd.

Morfologia de suprafață a straturilor subțiri netratate termic a evidențiat faptul că pe măsură ce raportul Cd crește, particulele asemănătoare tije încep să se formeze și devin mai răspândite, iar particulele asemănătoare cubului scad, sugerând înlocuirea cu succes a Cd-ului. Particulele asemănătoare tije sunt probabil rezultatul înlocuirii Cd cu Zn. În cazul straturilor subțiri de CZTS tratate termic, temperatura ridicată utilizată pentru acest proces 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.

Spectroscopia cu raze X (EDX) a straturilor subțiri netratate termic au prezentat un conținut ridicat de Cu, în special în filmele subțiri cu conținut scăzut de Cd (CZTS, CCZTS-20 și CCZTS-40). A existat, de asemenea, un conținut scăzut de sulf în toate filmele subțiri netratate termic, indicând o abatere de la stoichiometria dorită. Această abatere poate sugera și formarea unor faze secundare. Conținutul scăzut de sulf a fost compensat de atmosfera de sulf utilizată în timpul tratamentului termic. Populația atomilor de Cd a crescut, de asemenea, odată cu creșterea raportului Cd, așa cum era de așteptat.

Spectrele de absorbție ale straturilor subțiri depuse au fost măsurate într-un interval de lungimi de undă de 300-900 nm la temperatura camerei. Atât straturile subțiri care nu au fost tratate termic, cât și cele tratate termic prezintă un coeficient de absorbție ridicat ($\sim 10^4 \text{cm}^{-1}$, ignorând pierderile de reflexie și transmisie). Pragul de absorbție pentru toate probele netratate termic a fost localizat în regiunea spectrului vizibil. Debutul pragului de absorbție pentru straturile subțiri netratate termic a arătat că CCZTS-60 este raportul potrivit pentru proprietăți optice optime. În

general, s-a observat că creșterea conținutului de Cd a dus la deplasarea spre roșu a pragului de absorbție ale straturilor subțiri netratate termic. Din aceasta reiese înlocuirea parțială a Zn cu Cd duce la îmbunătățirea proprietăților optice. Tratarea termică la temperatură ridicată 525 °C a dus la o deplasare spre roșu a spectrului de absorbției optice a tuturor filmelor subțiri și lărgirea acestuia. Din aceasta rezultă că tratarea termică, la temperatura de 525 °C, îmbunătățește proprietățile optice ale filmelor subțiri.

Valorile benzii interzise obținute pentru filmele subțiri netratate termic au fost diferite de lărgimea benzii interzise optime pentru dispozitivele PV și valorile raportate în literatură. Micșorarea benzii interzise nu a urmat un model definit. Acest lucru poate fi atribuit cantității mari de incongruență optică datorată fazelor amorfe/secundare ridicate în straturile obținute. Conținutul ridicat al stărilor amorfe și formarea fazelor secundare pot fi atribuite variațiilor în compoziția chimică a materialului, ceea ce reduce amploarea deplasării spre roșu în spectrele de absorbție ale acestor materiale. Alte proprietăți optice ale peliculelor subțiri, cum ar fi indicele de refracție și constanta dielectrică, s-au îmbunătățit cu creșterea conținutului de Cd. Acest lucru indică un rezultat pozitiv în înlocuirea Zn cu atomi de Cd. Lărgimea benzii interzise a straturilor subțiri tratate termic s-a îmbunătățit în comparație cu filmele subțiri netratate termic. Pentru probele tratate termic, deplasarea spectrului de absorbție indică o reducere a lărgimii benzii interzise a materialului. Este de remarcat faptul că reducerea benzii interzise pentru filmele subțiri tratate termic a avut loc pentru mostrele lor succesive de straturi subțiri netratate. Lărgimea benzii interzise a CZTS netratat termic a scăzut de la 2,38 eV la 1,77 eV, cel al CCZTS-20 de la 1,73 eV la 1,43 eV. Aceste îmbunătățiri ale proprietăților optice sugerează o bună aplicabilitate ca strat absorbant de tip p în dispozitivele fotovoltaice pe bază de kesterite.

În cadrul etapei de referință 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 kesterit. 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 ce sugerează că o mare parte din pierderi se datorează reflexiei radiației incidente. Este necesară și optimizarea contactului din spate a structurii, care consta 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. 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 peliculelor. 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.

5.2. Studiul proprietăților optice cu algoritmi dezvoltați și prototipuri de EOD ale nanostructurilor din sticle calcogenice și straturi subțiri de azopolimeri

Aranjamentul optic pentru măsurarea anizotropiei fotoinduse în peliculele subțiri de azopolimeri sunt prezentate în Fig. 2. În schema optică s-au utilizat două lasere. În calitate de sursă a fascicolului de probă s-a utilizat laserul He-Ne, cu lungimea de undă 633 nm, fascicolul polarizat cu Polarizator de calcite Glan-Thomson (coeficientul de extincție - 100000:1). Retardorul de ordinul zero continuu variabil al compensatorului Soleil-Babinet a fost utilizat în calitate de lamelă retardoare. Fascicolul de probă cu emisie la 633 nm, lungime de undă la care materialul practic nu absoarbe, a fost folosit pentru a investiga caracteristicile birefrinței. Datorită puterii scăzute a fascicolului de probă și luând în considerare faptul că lungimea de undă este în fereastra de transparență a azopolimerului (vezi Fig. 3), fasciculul de probă nu induce sau influențează anizotropia fotoindusă în azopolimer.

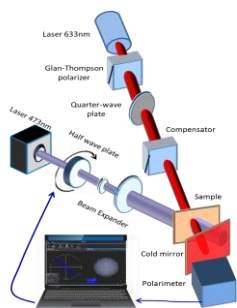


Fig. 2. Schema optică pentru controlul anizotropiei.

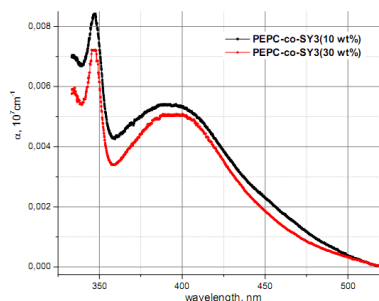


Fig. 3. Spectrele coeficientului de absorbție a PEPC-SY3 cu 10 wt% și 30 wt% de azocolorant SY3.

Spectrele coeficientului de absorbție $\alpha(\lambda)$ pentru azopolimerii PEPC-SY3 cu concentrații diferite de azocolorant sunt prezentate în Fig. 3. Spectrul coeficientului de absorbție a fost obținut din spectrele de transmitanță și reflectanță, în conformitate cu legea Bouguer-Lambert. Spectrele de absorbție pentru ambele concentrații de azocolorant (10 wt% and 30 wt%) posedă două maximumuri de absorbție. Primul este la 345 nm, care este atribuit tranziției electronice a izomerilor *trans*. Maximumul la 390 nm poate fi atribuit tranziției *cis* a azocolorantului.

Dependența birefrinței induse după iluminarea mostrei cu fasciculul laserului de excitare în dependență de orientarea polarizării fascicolului de excitare este prezentată în Fig. 4.

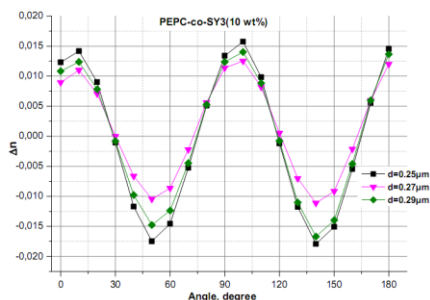


Fig. 4. Dependenta birefringentei probei a fasciculului de proba de unghiul de polarizare incident al fasciculului de excitare pentru PEPC-SY3 (10 wt%).

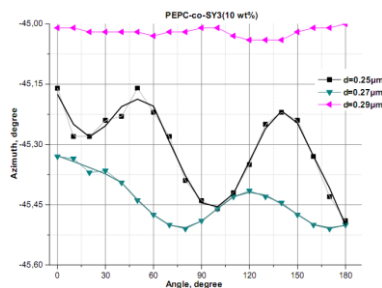


Fig. 5. Dependenta unghiului de azimut al fasciculului de proba de unghiul de polarizare incident al fasciculului de excitare pentru PEPC-SY3 (10 wt%).

Se poate observa că birefringenta fotoindusă oscilează de la $\Delta n = 0$ până la $\Delta n = \pm 0,017$ în funcție de unghiul dintre direcțiile de polarizare ale fasciculului de probă și excitare cu aceeași amplitudine la temperatura camerei.

Folosind configurația optică, Fig. 6, s-au determinat dependențele unghiului de rotație a azimutului de ieșire (ψ) al fasciculului de probă de unghiul de polarizare incident. Se vede că rotația azimutală a acestor probe este mică. Independența poziției azimutului față de unghiul de polarizare al fasciculului de excitare polarizat liniar este o dovadă în favoarea modificărilor fotoinduse ale indicelui de refracție care se află numai în planul transversal al mostrei, iar aceste modificări nu au componentă longitudinală.

Înregistrarea holografică directă a structurilor difractive bifurcate de suprafață a fost realizată folosind un laser polarizat liniar, monomodal, cu $\lambda = 532$ nm. Elementul principal al configurației este un interferometru Mach-Zehnder. Fascicolul Gaussian inițial polarizat liniar de la un laser DPSS a fost extins și filtrat spațial folosind un sistem format dintr-un pinhole PH (apertura de $40 \mu\text{m}$) și o lentilă L1 (distanța focală de 150 mm). Lamelele retardoare PR1 și PR2 au fost utilizate pentru a roti polarizarea fasciculului liniar inițial în fiecare dintre brațele interferometrului.

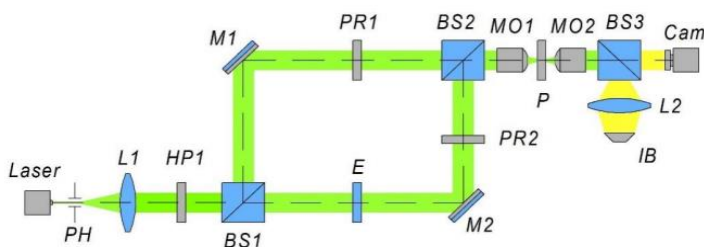


Fig. 6. Schema optică utilizată în experiment.

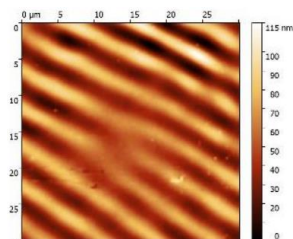


Fig. 7. Imaginea structurii obținute la interferența fasciculelor cu polarizări circulare dextrogire și levogire.

Parametrii rețelelor formate au fost măsurați folosind un microscop cu sondă de scanare SPM. Imaginea rețelei de difracție formate este prezentată în Fig. 7. Rețeaua, așa cum se poate vedea din Fig. 7, posedă o dislocare de tip „furcă”. Perioada rețelei formate este de $5 \mu\text{m}$. Înălțimea rețelei formate prin interferența fasciculelor cu polarizări circulare levogire și dextrogire este de 115 nm. Noi am prezentat o metodă de formare a rețelelor de difracție bifurcate într-o structură multistrat pe

bază de pe semiconductori din sticle calcogenice As_2S_3 și Se. Analiza teoretică a arătat o dependență puternică a înălțimii reliefului de componenta longitudinală a câmpului electric, înălțimea maximă a profilului rețelelor formate fiind obținută atunci când componentele Y și Z coincid. Mai mult, această caracteristică se observă atât la formarea rețelelor liniare, cât și a celor bifurcate.

5.3. Măsurarea valorilor radiației solare și a grosimii optice a aerosolilor atmosferici

Pe tot parcursul anului au fost realizate măsurători continue ale valorilor radiației solare de intrare (cu rezoluție de 1 minut) în intervalele spectrale de la UV la IR. A fost efectuată măsurarea regulată a valorilor grosimii optice aerosolilor atmosferici (GOA) și a caracteristicilor optice ale aerosolilor atmosferici. Aceste măsurători au fost efectuate la stația terestra a IFA USM, mun Chisinau. În rezultat a fost înregistrată dinamica modificării acestor caracteristici cu determinarea variației (zilnice, lunare, sezoniere, anuale) parametrilor statistici ai valorilor măsurate.

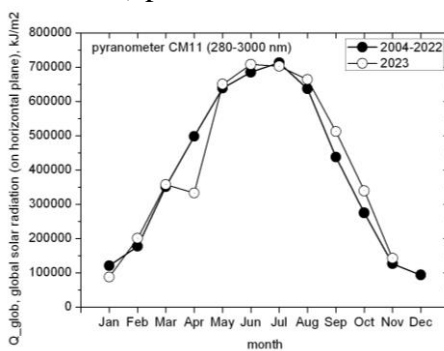


Fig. 8. Modificarea radiației solare globale medii pe luni Q_{glob} (280-3000 nm) incidentă pe o suprafață orizontală (perioada Ian – Noi 2023) în comparație cu aceleași valori medii pe luni pentru perioada anilor 2004- 2022.

Acest tip de măsurare a radiației solare și GOA s-a efectuat pentru prima dată în Republica Moldova.

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

Rezultatele obținute în cadrul proiectului vor contribui la progresul științific în general și vor avea impact major pentru știință, societate și economie.

Datele noi legate de materialele de perspectivă pentru utilizare în fotovoltaică, vor ajuta la creșterea eficienței celulelor solare prin înțelegerea mai profundă a proceselor care au loc în straturile absorbante de tip kesterit la interacțiunea cu radiația solară incidentă și la combinarea acestora în structuri tandem cu alte tipuri de celule solare, în special Si. Impactul social al implementării acestor rezultate presupune reducerea costurilor de producție a celulelor solare confecționate în baza semiconductorilor cuaternari, contribuind la sporirea accesibilității energiei solare și la ameliorarea problemelor legate de „sărăcia energetică”. Din punct de vedere economic, dezvoltarea tehnologiilor fotovoltaice bazate pe compușii cuaternari v-a crea noi oportunități de

afaceri, investiții și locuri de muncă în sectorul energiei regenerabile, accelerând tranziția către un sistem energetic mai sustenabil. Acest lucru va juca un rol esențial în reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și în combaterea schimbărilor climatice. În plus, va consolida independența energetică reducând dependența de sursele tradiționale de energie.

De asemenea, se anticipează că rezultatele care se referă la elipsometrie și polarimetrie vor contribui la dezvoltarea tehnologiei imagistice biomedicală și vor eficientiza păstrarea optică a datelor. Pe lângă optica computerizată, rezultatele respective pot constitui un pas de bază pentru tehnologiile holografice avansate, prelucrarea semnalelor și imaginilor all-optics. Analiza pieții mondiale indică existența unei tendințe de dezvoltare a tehnologiilor opticii digitale și utilizarea tehnologiilor laser noi în funcție de necesitățile clienților. Obiectivul proiectului în baza dezvoltării structurilor 2D și EOD va avea un impact considerabil în așa direcții ca Materiale, tehnologii și produse inovative, Sănătate și biomedicină, Securitate, Biotehnologie. Într-un sistem optic de transmisie a datelor, EOD poate fi utilizat ca multiplexor și demultiplexor, modulator de lumină, comutator sau ca divizor de fascicul.

Rezultatele studiului radiației solare incidente și a variației aerosolilor vor ajuta pe termen lung la evaluarea eficienței utilizării sistemelor fotovoltaice moderne și a colectoarelor solare, a schimbărilor climatice locale (pentru mediul urban), al impactului radiațiilor UV asupra oamenilor și florei, și a gradului de poluare a aerului datorată transportului transfrontalier de aerosoli și generarea localizată a acestuia (incendii, arderea deșeurilor etc.).

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

Pe parcursul etapei de referință a proiectului, 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 Semiconductoarelor “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 (Spania), Institutul Catalan de Cercetare în Energetică (IREC, Spania), Laboratoarele CENTERA ale Institutului de Fizica Presiunilor Înalte a Academiei de Științe Poloneze (Polonia). Datele colectate din măsurătorile radiației solare și a aerosolilor 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).

La nivel local, echipa proiectului a colaborat activ cu Universitatea Tehnică din Moldova, Institutul de Inginerie Electronică și Nanotehnologii “D. Ghițu” și Institutul de Chimie.

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

Printre dificultățile întâmpinate la realizarea proiectului în perioada de referință se numără finanțarea insuficientă pentru efectuarea de cercetări de înaltă calitate și alocarea întârziată a finanțării planificate pentru procurarea echipamentului modern de cercetare, a consumabilelor și pentru suportul în funcționarea stabilă a echipamentelor științifice unice.

De asemenea, o altă dificultate constă în birocrăția și procesele administrative care deseori încetinesc progresul proiectelor, impunând obstacole în accesarea fondurilor și aprobarea bugetelor necesare.

În plus, situația este agravată de migrarea tinerilor cercetători la centrele științifice de peste hotarele țării, în căutare de oportunități și resurse mai avantajoase pentru cercetare.

9. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de publicații

Rezultatele obținute în cadrul etapei de referință au fost publicate în 9 articole în jurnale internaționale recunoscute (dintre care 4 articole în jurnale cu IF) și în două teze ale conferințelor. Lista acestora este prezentată în *Anexa nr. 2*.

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

1. **Batîr V.;** comunicare *Spray-pyrolyzed Cd-substituted kesterite thin-films for photovoltaic applications*, Târgul Internațional de Inventică și Educație Creativă pentru Tineret, ICE-US, Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, România, 07.07.2023 - 09.07.2023. Medalie de bronz.
2. **Nateprov A.;** comunicare *Interplay of the d-impurities electrons and band electrons in the 3D Dirac semimetal Cd₃As₂*, Conferința internațională “Modern Development of Magnetic Resonance”, Kazan, Russia, 2023.
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)*. 11th 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. **Loșmanschii, C.; Achimova, E.; Abaskin, 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 Nanobiomaterials 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).

5. **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 Nanobiomaterials 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).

11. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în proiect în mass-media

- Emisiuni radio/TV de popularizare a științei

Nu sunt.

- Articole de popularizare a științei

Nu sunt.

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

- **Veronica CAZAC** a susținut teza de doctorat cu tema „*Dezvoltarea microscopului holografic digital pentru cercetarea elementelor optice de difracție înregistrate pe straturi subțiri de sticle calcogenice și azopolimeri*” la data 22.12.2023, conducător științific dr. hab. Achimova Elena.
- **Vladislav BOTNARI** a susținut teza de licență cu tema „*Sinteza nanocompozitelor pe baza azopolimerilor cu potențială aplicare în biomedicină*” la data 08.06.2023, conducător științific dr. hab. Achimova Elena.

13. Concluzii

Pe parcursul etapei anului 2023 au fost lucrările științifice s-au concentrat asupra optimizării proceselor de obținere și analiza proprietăților nanostructurilor din sticle calcogenice, a straturilor subțiri de azopolimeri și a celor de tip kesterit pe substraturi din sticlă.

Utilizarea Cd-ului ca înlocuitor pentru Zn în straturile subțiri de tip kesterit reduce probabilitatea formării unor faze secundare dăunătoare și a unor defecte de delocațiune care determină performanța scăzută a dispozitivelor fotovoltaice pe bază de kesterite. Pentru a îmbunătăți calitatea cristalină a straturilor subțiri de kesterit s-a realizat tratarea termică a acestora în atmosferă de S₂ la temperatura de 525 °C timp de 30 min. În straturile subțiri netratate termic au fost detectate faze secundate 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 stinit, precum și o modificare a constantelor rețelei. În cazul straturilor subțiri de CZTS tratate termic, temperatura ridicată utilizată pentru acest proces 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 indicând faptul că proprietățile materialelor kesterite pot fi optimizate la această temperatură. În general, s-a observat că creșterea conținutului de Cd a dus la deplasarea spre roșu a pragului de absorbție ale straturilor subțiri netratate termic. Alte proprietăți optice ale peliculelor subțiri, cum ar fi indicele de refracție și constanta dielectrică, s-au îmbunătățit cu creșterea conținutului de Cd. Îmbunătățirea proprietăților optice ale materialelor cu adăugarea de Cd sugerează o bună aplicabilitate ca strat absorbant de tip p în dispozitivele fotovoltaice pe bază de kesterite. Lărgimea benzii interzise a straturilor subțiri tratate termic s-a îmbunătățit în comparație cu filmele subțiri netratate termic.

În cadrul etapei de referință 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, c-Si și kesterit. 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 obținute privind îmbunătățirea timpului de viață al purtătorilor de sarcină a stratului de Si după depunerea stratului absorbant de tip kesterit de-asupra – sunt promițătoare.

S-a obținut că anizotropia fotoindusă în PEPC-co-SY3 prin iluminarea cu lumină actinică cu polarizare liniară are câteva particularități. S-a observat că fasciculului de probă posedă rotații azimutale mici care depind de unghiul dintre polarizarea liniară a fasciculului de excitare și polarizarea liniară a fasciculului de probă. În același timp, rotația azimutală diferă semnificativ pentru diferite grosimi ale peliculelor de azopolimer; Comportamentul birefrinței liniare fotoinduse a PEPC-co-SY3 indică o corelare a unghiului dintre polarizarea liniară a fasciculului de excitare și polarizarea liniară a fasciculului de probă, atingând valoarea maximă la unghiul 90° dintre polarizările liniare ale fasciculului de excitare și fascicul de probă. Faza geometrică a azopolimerilor anizotropi cu conținut de carbazol, spre deosebire de faza dinamică, poate fi măsurată prin metoda polarimetrică fără a implica metode interferometrice. În cazul azopolimerilor, se poate presupune că faza geometrică este formată nu numai de componenta azocolorantului, ci și de matricea polimerică. Analiza teoretică a formării rețelelor de difracție bifurcate într-o structură multistratificată pe bază de semiconductori de sticlă calcogenice As_2S_3 și Se a evidențiat o dependență puternică a înălțimii reliefului de componenta longitudinală a câmpului electric cu înălțimea maximă a profilului rețelelor formate, care s-a obținut atunci când componentele Y- și Z-coincid. Mai mult, această caracteristică se observă atât la formarea rețelelor liniare, cât și a celor bifurcate.

Pe tot parcursul anului au fost obținute date experimentale noi ale nivelurilor de radiație solară (cu rezoluție de 1 minut) și a grosimii optice a aerosolilor atmosferici (GOA) la stația terestră a IFA USM, mun Chișinău.

Conducătorul de proiect _____


Ernest Arușanov



Data: _____

LȘ

Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2023***”Dispozitive fotovoltaice cu elemente active din noi materiale calcogenice obținute prin tehnologii economic accesibile”***Cifrul proiectului: **20.80009.5007.03****RO**

Pe parcursul etapei anului 2023 au lucrările științifice s-au concentrat asupra optimizării proceselor de obținere și analiza proprietăților nanostructurilor din sticle calcogenice, a straturilor subțiri de azopolimeri și a celor de tip kesterit pe substraturi din sticlă.

Utilizarea Cd-ului ca înlocuitor pentru Zn în straturile subțiri de tip kesterit reduce probabilitatea formării unor faze secundare dăunătoare și a unor defecte de delocațiune care determină performanța scăzută a dispozitivelor fotovoltaice pe bază de kesterite. 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 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 indicând faptul că proprietățile materialelor kesterite pot fi optimizate prin acest tratament post-depunere. Îmbunătățirea proprietăților optice ale materialelor cu adăugarea de Cd sugerează o bună aplicabilitate ca strat absorbant de tip p în dispozitivele fotovoltaice pe bază de kesterite. Lărgimea benzii interzise a straturilor subțiri tratate termic s-a îmbunătățit în comparație cu filmele subțiri netratate termic.

În cadrul etapei de referință s-a lucrat și la obținerea elementelor constituente 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, c-Si și kesterit. Chiar dacă în cadrul studiului nu s-a reușit obținerea unei structuri reale Si/kesterit, rezultatele obținute privind îmbunătățirea timpului de viață al purtătorilor de sarcină a stratului de Si după depunerea stratului absorbant de tip kesterit – sunt promițătoare. Sunt necesare studii avansate adiționale pentru identificarea metodelor de diminuare a efectelor negative ale defectelor din kesterite și de îmbunătățire a cristalinității acestora. De asemenea este necesar studiul procedeelelor optime de conectare a componentelor unor astfel de structuri.

S-a obținut că anizotropia fotoindusă în PEPC-co-SY3 prin iluminarea cu lumină actinică cu polarizare liniară are câteva particularități. S-a observat că fasciculului de probă posedă rotații azimutale mici care depind de unghiul dintre polarizarea liniară a fasciculului de excitare și polarizarea liniară a fasciculului de probă. În același timp, rotația azimutală diferă semnificativ pentru diferite grosimi ale peliculelor de azopolimer; Comportamentul birefringenței liniare fotoinduse a PEPC-co-SY3 indică o corelare a unghiului dintre polarizarea liniară a fasciculului de excitare și polarizarea liniară a fasciculului de probă, atingând valoarea maximă la unghiul 90° dintre polarizările liniare ale fascicolului de excitare și fascicul de probă. Faza geometrică a azopolimerilor anizotropi cu conținut de carbazol, spre deosebire de faza dinamică, poate fi

măsurată prin metoda polarimetrică fără a implica metode interferometrice. Acest lucru este posibil deoarece faza geometrică nu este controlată de diferența de căi optice, dar este rezultatul unei schimbări de polarizare în interiorul peliculelor din cauza modificărilor fotoinduse în structura sa spațială. În cazul azopolimerilor, se poate presupune că faza geometrică este formată nu numai de componenta azocolorantului, ci și de matricea polimerică. Analiza teoretică a formării rețelelor de difracție bifurcate într-o structură multistratificată pe bază de semiconductori de sticlă calcogenice As_2S_3 și Se a evidențiat o dependență puternică a înălțimii reliefului de componenta longitudinală a câmpului electric cu înălțimea maximă a profilului rețelelor formate, care s-a obținut atunci când componentele Y- și Z- coincid. Mai mult, această caracteristică se observă atât la formarea rețelelor liniare, cât și a celor bifurcate.

Pe tot parcursul anului au fost obținute date experimentale noi ale nivelurilor de radiație solară și a grosimii optice a aerosolilor atmosferici la stația terestră a IFA USM, mun Chișinău.

Rezultatele obținute pe parcursul anului 2023 au fost publicate în 9 articole științifice în jurnale internaționale și au fost prezentate în cadrul a 4 forumuri științifice.

EN

During the 2023 stage, the scientific work was mainly focused on the optimization of the obtaining processes of nanostructures from chalcogenous glasses, thin layers of azopolymers and those of the kesterite type on glass substrates as well as the analysis of their properties.

The use of Cd as a substitute for Zn in kesterite thin films reduces the probability of the formation of harmful secondary phases and dislocation defects that cause low performance of kesterite-based photovoltaic devices. At a lower Cd content, there was no significant variation of the crystalline phase, while in high Cd thin films, the transformation from the kesterite phase to the stannite one was observed, as well as a change in the lattice constants. In the case of annealed CZTS thin films, the high temperature removed the amorphous content from the samples, causing the particles to coalesce and form larger and more uniform particles, resulting in an improved crystallinity and indicating that the properties of kesterite materials can be optimized by this post-deposition treatment. The improvement of the optical properties of the materials with the addition of Cd suggests good applicability as a p-type absorber layer in kesterite-based photovoltaic devices. The bandgap of annealed thin films has improved compared to non-annealed thin films.

There were also actions on obtaining the constituent elements for a tandem structure based on Si/kesterite, trying to assemble them monolithically in a photovoltaic structure. Work has been carried out to obtain high-quality layers of FTO, c-Si and kesterite. Even if in the study it was not possible to obtain a real Si/kesterite structure, the results obtained regarding the improvement of the life time of the charge carriers of the Si layer after the deposition of the kesterite absorbing layer - are promising. Additional advanced studies are necessary to identify methods of mitigating the negative effects of the defects in kesterites and improving their crystallinity. It is also necessary to study the optimal procedures for connecting the components of such structures.

The anisotropy photoinduced in the PEPC-co-SY3 by illuminating the linear polarized

actinic light has some peculiarities: the observed azimuth rotations of the probe beam small depend on the angle between the linear polarization of the pump beam and linear polarization of probe the beam, while it significant differs for different thicknesses of azopolymer films; the behavior of photoinduced linear birefringence of the PEPC-co-SY3 follows for the angle between the linear polarization of the pump beam and the linear polarization of the probe beam reaching the maximum value at the angle 90^0 between linear polarizations of the pump and probe beam. The geometric phase of anisotropic carbazole-containing azopolymers, in contrast to the dynamic phase, can be measured by the polarimetric method without involving interferometry methods. This is possible because the geometric phase is not controlled by the difference in optical paths, but is the result of a change of polarization inside the films due to photoinduced changes in its spatial structure. In the case of azopolymers, it can be assumed that the geometric phase is formed not only by the azo-dye component, but also by the polymer matrix. The theoretical analysis of the formation of forked diffraction gratings in a multilayer structure based on chalcogenide glass semiconductors As_2S_3 and Se has shown a strong dependence of the relief height on the longitudinal component of the electric field, with the maximum profile height of the formed gratings being obtained when the Y- and Z-components coincide. Moreover, this feature is observed both in the formation of linear and forked gratings.

During the entire year, new high quality experimental data of solar radiation levels and aerosol optical thickness of atmospheric aerosols were obtained at the ground station of IFA USM, Chisinau.

The results obtained during 2023 were published in 9 scientific articles in international journals and were presented at 4 scientific forums.

Conducătorul de proiect _____



Ernest Arușanov

Data: _____

LȘ

**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice
publicate în anul 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

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 (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 Cu₂ZnSnS₄ 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 Sb₂S₃ and Sb₂Se₃ bulk polycrystals. *Phys Chem Chem Phys.* 2023, **25(45)**, 31188—31193. Doi: [10.1039/D3CP04490D](https://doi.org/10.1039/D3CP04490D) (IF: 3,3).

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.
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 Cd_3As_2 , обусловленная примесью хрома: ЭПР на ионах 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).

1.3. în alte reviste naționale

1. Акимова, Е.А.; Абашкин, В.Г.; Мешалкин, А.Ю.; Лошманский, К.С.; Вотнар, 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 (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)*. 11th 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).

3. Alte lucrări științifice

3.1. cărți (cu caracter informativ)

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

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

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.03

Cheltuieli, mii lei				
Denumirea	Cod		Anul de gestiune	
	Eco (k6)	Aprobat	Modificat +/-	Precizat
Remunerarea muncii angajaților conform statelor	211180	2560,0		2560,0
Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii	212100	614,4		614,4
Deplasări de serviciu peste hotare	222720	7,4	-7,4	0,0
Indemnizații pentru incapacitatea temporară de muncă achitate din mijloacele financiare ale angajatului	273500	5,1		5,1
Alte prestații sociale ale angajaților	273900	0,0	+90,0	90,0
Cheltuieli curente neatribuite la alte categorii	281900	0,7	+0,3	1,0
Procurarea pieselor de schimb	332110	0,3	+7,1	7,4
Materiale pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	335110	12,0		12,0
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizitelor de birou	336110	3,5		3,5
Total		3203,4	+90,0	3293,4

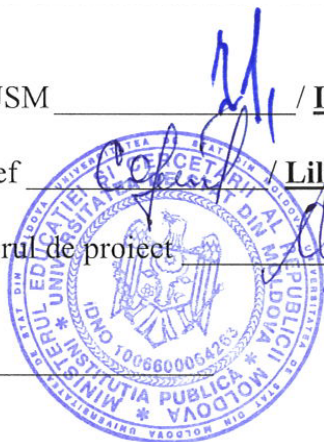
Rectorul USM _____ / Igor Sarov

Contabil șef _____ / Liliana Cojocaru

Conducătorul de proiect _____ / Ernest Arușanov

Data: _____

LȘ



Componența echipei conform contractului de finanțare 2023

Cifrul proiectului 20.80009.5007.03


Echipa proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului) pentru 2023						
Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării	Data eliberării
1.	Simașchevici Alexei	1929	dr. hab.	0.25	02.01.2023	31.12.2023
2.	Achimova Elena	1959	dr. hab.	1.00	02.01.2023	31.12.2023
3.	Arușanov Ernest	1941	dr. hab.	1.00	02.01.2023	31.12.2023
4.	Șerban Dormidont	1939	dr. hab.	1.00	02.01.2023	26.08.2023
5.	Abașkin Vladimir	1948	dr.	1.00	02.01.2023	31.12.2023
6.	Aculinin Alexandr	1961	dr.	1.00	02.01.2023	31.12.2023
7.	Bruc Leonid	1952	dr.	1.00	02.01.2023	31.12.2023
8.	Lisunov Constantin	1959	dr.	1.00	02.01.2023	31.12.2023
9.	Nateprov Alexandr	1945	dr.	1.00	02.01.2023	31.12.2023
10.	Guc Maxim	1986	dr.	0.75	02.01.2023	03.01.2023
11.	Curmei Nicolai	1989	dr.	1.00	02.01.2023	31.12.2023
12.	Levcenco Sergiu	1983	dr.	1.00	02.01.2023	03.01.2023
13.	Meșalchin Alexei	1978	dr.	0.50	02.01.2023	31.12.2023
14.	Hajdeu-Chicaros Elena	1989	dr.	0.50	02.01.2023	31.12.2023
15.	Batîr Valentin	1995		1.00	02.01.2023	31.12.2023
16.	Cazac Veronica	1994		1.00	02.01.2023	31.12.2023
17.	Dermejni Lazari	1978		1.00	02.01.2023	31.12.2023
18.	Loșmanschii Constantin	1990		1.00	02.01.2023	31.12.2023
19.	Moldovanu Serghei	1967		1.00	02.01.2023	31.12.2023
20.	Prisacar Alexandru	1969		1.00	02.01.2023	31.12.2023
21.	Triduh Ghennadi	1946		1.00	02.01.2023	31.12.2023
22.	Damaschin Ion	1942	dr.	0.75	02.01.2023	31.12.2023
23.	Micu Alexandru	1963		0.50	02.01.2023	31.12.2023
24.	Rotaru Victoria	1998		1.00	02.01.2023	03.01.2023

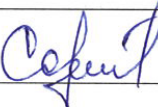
Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform contractului de finanțare	33,3
--	-------------

Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2023					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării
1	2	3	4	5	6
1.	Guc Maxim	1986	dr.	-0.75 (detașat)	
2.	Nateprov Alexandr	1945	dr.	+0.5 (cumul intern)	01.03.2023

1	2	3	4	5	6
3.	Achimova Elena	1959	dr. hab.	+0.25 (cumul intern)	01.03.2023
4.	Levcenco Sergiu	1983	dr.	-1.0 (detașat)	
5.	Bruc Leonid	1952	dr.	+0.5 (cumul intern)	11.04.2023
6.	Abașkin Vladimir	1948	dr.	+0.25 (cumul intern)	01.03.2023
7.	Aculinin Alexandr	1961	dr.	+0.25 (cumul intern)	01.03.2023
8.	Rotaru Victoria	1998		-1.0 (detașată)	
9.	Dermenji Lazari	1978		+0.5 (cumul intern)	01.03.2023
10.	Batîr Valentin	1995		+0.5 (cumul intern)	01.03.2023
11.	Triduh Ghennadi	1946		-0.5 (schimbare normă)	
12.	Prisacar Alexandru	1969		+0.5 (cumul intern)	02.03.2023
13.	Cazac Veronica	1994		-0.5 (schimbare normă)	
14.	Ceban Victor	1987		+0.5	02.03.2023

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor	28,6
--	-------------

Rectorul USM  / **Igor Șarov**

Contabil șef  / **Liliana Cojocaru**

Conducătorul de proiect  / **Ernest Arușanov**

Data: _____

LȘ

