



INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ

INSTITUTE OF APPLIED PHYSICS

INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ
REGISTRARE 11-236
din 2.12.2025
MD-2028, mun. Chișinău, str. Academiei, 5

EXTRAS

din PROCESUL VERBAL nr. 6
al ședinței Consiliului Științific al Institutului de Fizică Aplicată al USM
din 24 noiembrie 2025

PREZENȚI: 10 (din 13) membri ai Consiliului Științific.

Obiect de referință:

Aprobarea rapoartelor științifice anuale
pentru etapa 2025.

Ca urmare a prezentării publice se aprobă rezultatele științifice anuale (2025), obținute în cadrul proiectului stimularea excelenței în cercetare “ **Modelarea directă a fasciculului de electroni a elementelor optice difractive pe medii avansate bazate pe sticlele calcogenice nanostructurate și nanocompozite polimerice**”, cu cifrul 24.80012.5007.23SE, conducător de proiect **ABASKIN Vladimir**.

Președintele Consiliului Științific IFA USM

dr. ȘIKIMAKA Olga

Secretarul Consiliului Științific IFA USM

dr. MEȘALCHIN Alexei



RECEPȚIONAT

Agenția Națională pentru Cercetare
și Dezvoltare _____

_____ 2026

AVIZAT

Secția AȘM _____

_____ 2026

RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL

privind implementarea proiectului din cadrul concursului

Proiectul ANCD "Stimularea excelenței în cercetare pentru anii 2024-2025"

Proiectul „Modelarea directă a fasciculului de electroni a elementelor optice difractive pe medii avansate bazate pe sticlelor calcogenice nanostructurate și nanocompozite polimerice”

Cifra proiectului **24.80012.5007.23SE**

Prioritatea strategică **V. Tehnologii inovative, energie sustenabilă, digitalizare**

Rectorul Universității de Stat din Moldova

SAROV Igor, dr., prof. univ.

Președintele Consiliul

CULIUC Leonid, dr. hab., acad.

Conducătorul proiectului

ABAȘKIN Vladimir dr.

L.Ș.

Chișinău, 2026

CUPRINS:

1. Scopul proiectului depus la concurs.....	3
2. Obiectivele	3
3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor	3
4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor	3
5. Rezultatele obținute	3
6. Diseminarea rezultatelor la foruri științifice.....	10
7. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului	10
8. Colaborare la nivel național în cadrul implementării proiectului	11
9. Colaborare la nivel internațional în cadrul implementării proiectului	11
10. Dificultăți în realizarea proiectului: financiare, organizatorice, legate de resursele umane	
11. Recomandări, propuneri.....	11
12. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în limba română și în limba engleză (Anexa 1).....	12
13. Lista lucrărilor științifice, publicate (Anexa 2).....	14
14. Executarea devizului de cheltuieli din contractul de finanțare (Anexa 3).....	16
15. Componenta echipei conform contractului de finanțare (Anexa 4).....	17

1. Scopul proiectului depus la concurs

Scopul proiectului nostru este de a dezvolta investigații științifice și design tehnologic pentru nanomodele de înregistrare directă a microstructurilor de suprafață variate pe medii din **sticlelor calcogenice nanostructurate (SGN) și a nanocompozitelor pe bază de azopolimeri (NAP)** prin iradiere cu fascicul de electroni.

2. Obiectivele

1. Elaborarea structurilor noi bazate pe azopolimeri sensibili la iradierea cu fascicul de electroni, datorită anizotropiei induse.
3. Pentru a avansa modelarea directă cu fascicul de electroni pentru înregistrarea elemente optice difracționale EOD multifuncționale pe medii dezvoltate.

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor

Următoarele acțiuni au fost planificate pentru perioada 15.07.2024 - 2025:

- a) Se vor obține nanostructuri din sticle chalcogenice pentru a studia dependența proprietăților fizico-chimice de nanostructurare.
- b) Se vor studia proprietățile optice ale nanostructurilor în baza de sticlelor calcogenice nanostructurate - $\text{As}_2\text{S}_3\text{--Se}$ (ChGN) sub influența radiației fasciculului de electroni.
- c) Se vor obține pelicule subțiri de nanocompozite pe bază de azopolimeri cu nanoparticule de ZnO pentru studiul proprietăților fizico-chimice.
- d) Se vor studia proprietățile anizotrope ale nanocompozitelor pe bază de azopolimeri sub influența radiației fasciculului de electroni.
- e) Se vor modela procesele de înregistrare a elementelor optice difractive cu utilizarea radiației fasciculului de electroni pe nanostructurilor ChGN - $\text{As}_2\text{S}_3\text{--Se}$.
- f) Se vor modela procesele de înregistrare a elementelor optice de difracție cu utilizarea radiației fasciculului de electroni pe peliculelor subțiri de nanocompozite pe bază de azopolimeri.

4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor

- a) Studiarea dependența proprietăților fizico-chimice nanostructuri din sticle calcogenice (ChGN) obținute.
- b) Studiarea proprietăților optice ale nanostructurilor ChGN - $\text{As}_2\text{S}_3\text{--Se}$ după expunerea la fascicul de electroni.
- c) Studiarea proprietățile lor fizico-chimice ale pelicule subțiri de nanocompozite pe bază de azopolimeri după expunerea la fascicul de electroni.
- d) Studiarea proprietăților anizotrope ale nanocompozitelor pe bază de azopolimeri după expunerea la fascicul de electroni.
- e) Modelarea proceselor de înregistrare a elementelor optice difractive pe nanostructuri ChGN- $\text{As}_2\text{S}_3\text{--Se}$ cu utilizarea radiației fasciculului de electroni
- f) Modelare procesele de înregistrare a elementelor optice difractive pelicule subțiri de nanocompozite pe bază de azopolimeri cu utilizarea radiației fasciculului de electroni.

5. Rezultatele obținute (descriere narativă 3-5 pagini)

Trebuie subliniat faptul că toate compozițiile de ChG și APN sunt sensibile la iradierea cu fascicul de electroni. Mai mult, se observă modificări ale proprietăților de suprafață și în volum,

care au loc direct, fără nici o prelucrare ulterioară (de exemplu, corodare chimică). Rezoluția spațială a straturilor este comensurabilă cu diametrul fascicului de electroni focalizat, adică de câțiva nanometri. Acest studiu a fost realizat pentru a investiga efectul fascicului de electroni asupra proprietăților superficiale și anizotropiei optice ale peliculelor nanostructurate de ChG cât și de APN, utilizând microscopul TESCAN VEGA în regimul EBL fără mască. EBL creează un relief conform designului modelului, direct pe suprafața probei, fără necesitatea utilizării unei măști. Aceasta este o proprietate unică a ChGN și APN, care totodată sunt și transparente în spectrul vizibil.

Toate EOD-urile sunt înregistrate punct cu punct, așa că în unele cazuri procesul EBL ar putea dura multe minute sau chiar ore. Există o altă problemă în procesul de înregistrare EOD. Observarea rezultatelor înregistrării de EOD pe ChGN și APN, direct în camera de vid TESCAN VEGA nu este posibilă, deoarece fasciculul de electroni distruge EOD înregistrat. Prin urmare, analiza rezultatelor litografiei cu EBL este posibilă numai în modul de post-procesare utilizând microscopia optică.

ChGN pe lamelă. Etapele de preparare a probei sunt următoarele.

Pentru a elimina efectele sarcinii acumulate pe suprafața mostrelor, s-au utilizat straturi subțiri și conductibile ($(100 \div 2 \cdot 10^2) \Omega/\text{cm}^2$) de SnO_2 sau ITO, transparente în domeniul vizibil ($400 \div 700 \text{ nm}$) depuse pe lamele din sticle. Substraturile din sticlă de tip de Soda-Lime Float Glass® utilizate au fost conductibile numai pe o față. Indicele de refracție a acestor sticle, în regiunea spectrală $400 \div 700 \text{ nm}$ este $1,48 \div 1,55$. Stratul transparent este necesar pentru înregistrarea, studierea și aplicarea optică a EOD. Acest strat subțire depus pe substratul de sticlă constituie baza pentru depunerile ulterioare a nanomultistraturilor de ChG și nanocompozitul poly-n-epoxipropilcarbazole (PEPC)-Solvent Yellow 3 (SY3) cu nanoparticule de ZnO - PEPC-SY3: ZnONP.

A fost elaborată și modificată instalația computerizată pentru evaporării termice în vid a ChGN pe substrat conductiv de lamela. Lamela a efectuat N rotații în timpul procesului de evaporare. Grosimea fiecărui strat separat (As_2S_3 și Se) a fost monitorizată în timpul evaporării din două surse independente și reglabile (As_2S_3 și Se). Grosimea straturilor de As_2S_3 și Se s-au măsurat prin intermediul a doi senzori interferometrici, câte unul pentru fiecare compoziție, fiecare sensor fiind pe bază de laser cu $\lambda = 0,95 \mu\text{m}$. Instalația de evaporare de ChGN permite selectarea următorilor parametri: grosimea stratului $D_{\text{As}_2\text{S}_3} \sim 10 \div 20 \text{ nm}$, grosimea stratului $D_{\text{Se}} \sim 8 \div 10 \text{ nm}$, numărul de straturi-pereche (grosimea stratului - pereche $D = D_{\text{As}_2\text{S}_3} + D_{\text{Se}}$) $100 \div 150$ și grosimea totală a ChGN $D_{\text{tot}} \sim 1 \div 3 \mu\text{m}$. Numărul de straturi-pereche este egal cu numărul de rotații ale substratului de sticlă. Grosimea calculată a unui nanostrat (nm) $D_{\text{As}_2\text{S}_3} = D_{\text{As}_2\text{S}_3(\text{tot})} / N_{\text{straturi}}$ și respectiv pentru Se $D_{\text{Se}} = D_{\text{Se}(\text{tot})} / N_{\text{straturi}}$. Grosimea stratului de ChGN a fost determinată suplimentar folosind un microscop interferometric digitalizat MII-4 (soft pentru interferometrie "OpticMeter"). Studiul peliculelor de ChGN, pe baza comparației spectrelor de transmitanță optică ($\lambda = 400 \div 700 \text{ nm}$, 633 nm -50%, 700 nm -80%) ale straturilor As_2S_3 , Se și ChGN, s-a stabilit un fapt important: s-a stabilit un fapt important: în timpul procesului de evaporare termică, nu are loc amestecarea chimică sau difuzia nanostraturilor. Indicele de refracție As_2S_3 în această regiune spectrală este $2,48 \div 2,53$ și pentru Se -2 ($\lambda = 633 \text{ nm}$). Aceste valori au fost obținute din interferența spectrelor de transmisie folosind metoda Swanepoil. Cele mai bune rezultate în regimul EBL au fost obținute pe probe ChGN cu o grosime de $1,5 \mu\text{m}$ ($N = 100 \pm 1$) și $3 \mu\text{m}$ ($N = 150 \pm 1$).

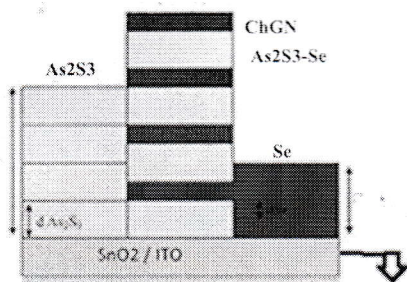


Fig.1. Secțiune transversală a probelor ChGN realizate din As_2S_3 și Se pentru aplicații în tehnologia EBL fără mască. Partea As_2S_3 - Se a probei a fost utilizată pentru expunerea a EOD utilizând microscopul TESCAN VEGA în mod EBL.

Pentru a obține distribuția optică a fazei EOD, parametrii EBL trebuie să fie astfel încât să se creeze un relief de suprafață, care să ducă la modularea optică a fazei. Acest relief este creat prin transferul de mase al peliculei între zonele iradiate și cele neiradiate, însoțit de deformare micromecanică ulterioară. În aceste materiale amorfe, se știe că deformarea neuniformă provoacă birefringență. Acest fenomen a fost studiat folosind distribuția optică a fazei. Expunerea punct cu punct a fost efectuată de-a lungul liniilor EOD utilizând modul EBL al microscopului TESCAN VEGA.

Pentru a identifica parametrii optimi și pentru a studia dependența adâncimii reliefului de condițiile de înregistrare prin metoda EBL au fost setați următorii parametri fasciculului de electroni: energia fasciculului de electroni în keV și doza, dwell time și write time. Experimental, s-a identificat energia optimă a fasciculului este de 20 keV și un curent maxim de 5-7 nA, variația cărui va determina ulterior doza și timpul total de expoziție.

În așa mod, s-au realizat două serii de înregistrări ale EOD - rețelei de difracție prin metoda EBL cu aceiași parametri (ChGN - seria №4-60÷ №4-65 și seria №4-66÷ №4-75), pentru a vedea repetabilitatea, fiind modificată doza (densitatea sarcinii superficiale), de la (700 la 12230 cu pasul ~ 1300) $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, ($10^3 \div 1.8 \cdot 10^4$ cu pasul ~ 200) μs , timpul total de expoziție - write time EOD - (7÷75 cu pasul ~ 8) min. Timpul de staționare (dwell time) stabilește durata în care fasciculul de electroni rămâne într-un singur punct / la poziția unui pixel.

Nanocompozite pe baza de azopolimeri. Azopolimerul pe bază de carbazol **Poly-n-epoxipropilcarbazol-co-Solvent Yellow 3 (SY3)** a fost sintetizat prin metoda reflux, prin amestecarea polimerului PEPC cu azocolorantul SY3 (30 wt%, Sigma Aldrich®), raportul procentual de mase stabilit ca optim pentru înregistrări EBL. Pe baza acestei soluții în toluenă de **PEPC-SY3** care s-a utilizat ca matrice polimerică pentru nanocompozite.

APN cu compoziția **PEPC-SY3:ZnONP** a fost preparat prin adăugarea nanoparticulelor (NP) de ZnO Sigma-Aldrich® (dimensiunea < 50 nm) în concentrații de la 0 la 120 $\mu\text{g}/\text{ml}$, cu pasul de 20 $\mu\text{g}/\text{ml}$, însă începând cu concentrația 80 $\mu\text{g}/\text{ml}$ pasul a fost 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Astfel fiind obținute 9 mostre cu concentrațiile respective. În continuare, s-a aplicat procesul de omogenizare ultrasonică (frecvența=40 kHz, 60 min) a soluției. Peliculele au fost depuse pe lamele de sticlă cu straturi conductive din soluție prin tehnologii fără vid prin metoda digitalizată de rod-coating (viteza de avans $v=14$ mm/min) la temperatura camerei. Grosimea stratului de APN a fost determinată folosind un microscop interferometric digitalizat MII-4. După uscare grosimile peliculelor APN au variat între 690÷900 nm. Mostrele de APN sunt transparente în domeniul spectral vizibil 330 ÷800 nm (473 nm-20%, 633 nm-80%). Indicele de refracție a APN are valoarea 1,5 pentru lungimea de undă 633nm.

Pentru a determina influența parametrilor fasciculului de electroni în modul punctiform asupra proprietăților de suprafață ale probelor din APN, s-au efectuat o serie de măsurători cu monitorizarea suprafeței rezultate folosind AFM.

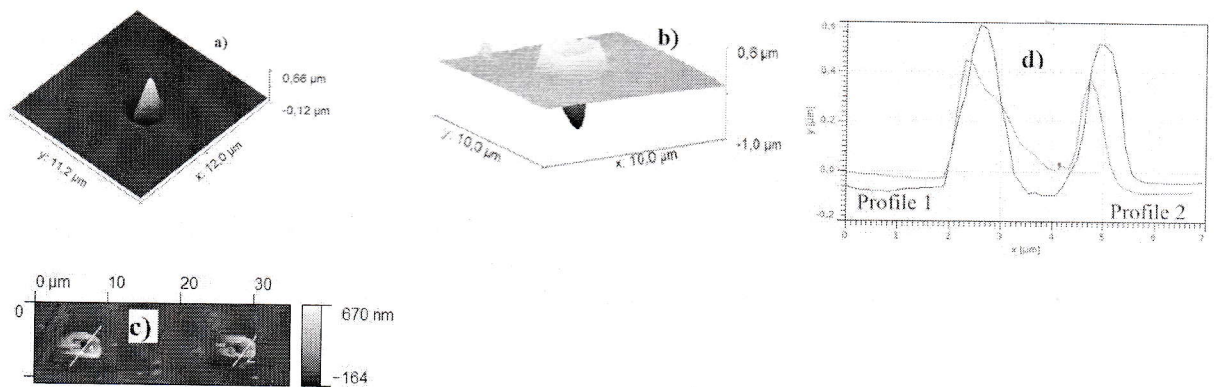


Fig.2. Imagini ale suprafeței nanocompozitului PEPC-SY3: ZnONP a), b) și c) obținute folosind AFM după expunere punctiformă ($\varnothing \sim 3 \mu\text{m}$) la EBL. Profiluri ale punctelor înregistrate la c, 1) și c, 2) au fost studiat cu AFM, sunt prezentate la Fig.2, d). Parametrii de înregistrare prin metoda EBL: E – 30keV, I -45nA, doză $10^3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ timpul de expoziție pentru înregistrarea punctului pentru a)- 3 ms și b) - 36 ms.

În Fig. 2, a) și b) sunt prezentate rezultatele obținute la timp de expunere mic și la timp de expunere maxim. Valoarea maximă a timpului de expunere într-un punct este limitată de distrugerea peliculei și de desprinderea acesteia de pe substrat. În urma comparării imaginilor din Fig. 2, a) și b), se observă că în urma procesului se formează fie un vârf, fie un punct în formă de «vulcan». Înălțimea reliefului este de aproximativ 600 nm. Pentru înregistrarea EOD au fost setați următorii parametri în modul EBL, care conduc la o modificare a suprafeței cu formă de vârf, considerată cea mai favorabilă.

Această doză în timpul înregistrării are ca rezultat o creștere gigantică a suprafeței în punct cu aproximativ 400-600 nm, dar fără a compromite integritatea peliculei APN. Se observă o depresiune în centru datorită deplasării polimerului. Deformarea neuniformă a peliculei, însoțită de redistribuirea masei acesteia, conduce la apariția anizotropiei optice induse.

Modele digitale a EOD pentru a înregistrări prin metoda EBL.

Pentru a înregistra elementele optice difractive pe nanostructurile ChGN și APN folosind litografia cu fascicul de electroni (EBL), au fost calculate mai întâi câteva imagini digitale EOD:

- a) rețelelor de difracție cu perioade diferite ($5 \div 10 \mu\text{m}$);
- b) matricile punctelor cu perioade diferite ($5 \div 10 \mu\text{m}$);
- c) rețelei de difracție în formă de furcă pentru vortex; (Egl.forked diffraction grating)
- d) modele de testare ale metalentilelor.

Ca model de EOD, în programul KLayout® pentru TESCAN VEGA a fost prezentată o rețea de difracție cu o perioadă de $5 \mu\text{m}$ (Fig.3,a). Software-ul de proiectare asistată de PC (CAD) este utilizat pentru a pune modele pentru EBL.

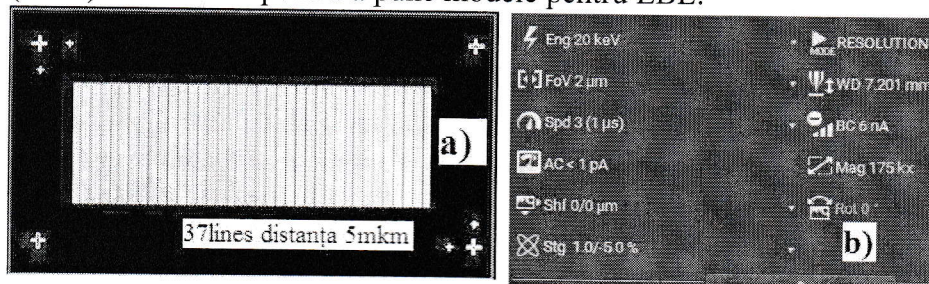


Fig.3. Modelul unei rețele de difracție cu o perioadă de $5 \mu\text{m}$ - a), concepută pentru utilizare în EBL. Crucile sunt utilizate în calitate de marker pentru a indentifica dacă a avut loc înregistrarea modelului pe probă. Parametrii de înregistrare cu EBL o rețea de difracție –b). EBL creează direct un relief conform designului a modelul pe suprafața probei fără mască.

La înregistrare s-a ales un compromis între o frecvență mai mare de scriere a punctelor (dots) și doză, pentru înregistrarea EOD. Aceasta înseamnă că parametrii de înregistrare au fost aleși sub pragul de distrugere a peliculei, astfel încât timpii reali de scriere să nu fie foarte mari (nu de ordinul orelor), precum și în funcție de dimensiunea ariei EOD.

Pentru a înregistra un EOD cu o perioadă de aproximativ $10\ \mu\text{m}$ pe ChGN, a fost ales un FoV de $2\ \mu\text{m}$. În majoritatea experimentelor, această distanță lucru este suficientă pentru proprietățile EOD.

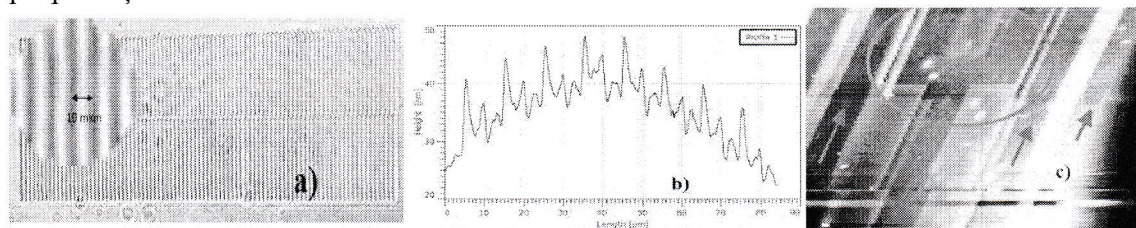


Fig.4. Imagini a suprafeței EOD ChGN: rețea- a) rețea de difracție cu dislocare de tip "Furcă" cu o sarcină topologică $m=1$ și o perioadă de $7\ \mu\text{m}$. - c). Profilul de suprafață a rețelei a) - b) obținute folosind AFM după expunere punctiformă la modurile sale extreme doză $10^3\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ și timpul de expunere -7 min, indicate mai sus (Fig.2.b). Adâncimea a reliefului este $\sim 12\div 14\ \text{nm}$.

La înregistrarea pe APN a unei rețele de difracție cu perioada de $10\ \mu\text{m}$, s-a observat apariția unor neregularități relativ periodice între liniile rețelei formate. Aceste neregularități creează maxime suplimentare în tabloul de difracție, similar cu o rețea suplimentară cu o direcție perpendiculară a „liniilor”. Acest fenomen este aparent cauzat de mișcarea din interiorul peliculei, așa cum se arată în Fig. 5, imagine înregistrată folosind un microscop optic în modul de transmitanță.

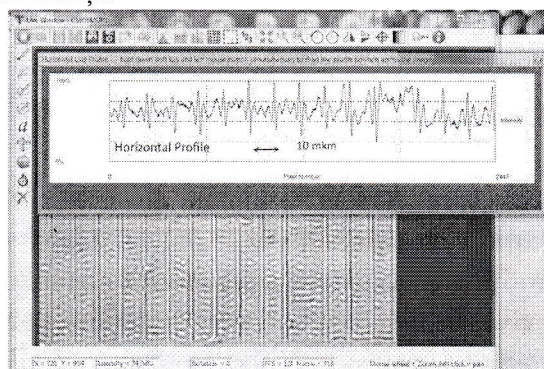


Fig.5. Imagine obținută prin microscopie optică (magn. 40x, NA 0,65) și profil orizontal a rețelei de difracție obținută pe nanocompozitul PEPC-SY3: ZnONP.

În studierea proprietăților optice anizotropiei și de difracție ale EOD, au fost utilizate următoarele metode: măsurarea tabloului de difracție prin metoda polarimetrică, AFM, microscopie holografică digitală de polarizare (MHDP) și microscopie optică în câmp întunecat. Au fost aplicate două metode polarimetrice: formalismul Stokes și formalismul Jones. Procesarea imaginilor EOD obținute s-a realizat cu ajutorul softul camerei video de polarizare a MHDP, cât și cu programul elaborat în mediile LabVIEW și Matlab.

Polarimetrie O analiză prin Transformanta Rapidă Fourier (FFT) permite apoi calcularea celor 3 vectori Stokes normalizați S_1 , S_2 și S_3 , a puterii luminii polarizate și a gradului de polarizare DoP. Acești parametri sunt suficienți pentru o descriere completă a stării de polarizare a luminii difractate de EOD. Aplicarea formalismului Stokes bazat pe caracteristica de amplitudine a EOD ne permite să studiem proprietățile sale doar prin ordine de mărime ale intensității luminii difractate, adică prin evaluarea integrală a întregii zone EOD. Rezultatele studiului caracteristicilor anizotrope ale rețelei din ChGN cu o perioadă de $10\ \mu\text{m}$ în ordinele de

difracție -1, 0, +1 utilizând un polarimetru digital PAX-1000VIS (Thorlabs®) sunt prezentate în tabel. Pentru măsurători s-a utilizat un laser heliu-neon monomod (5 mW, $\lambda = 633$ nm) printr-o prismă polarizantă Glan-Thompson (coeficient de extincție $T_p/T_s > 5 \times 10^{-5}$); la ieșirea din prismă, polarizarea a fost verticală, azimut 0° , elipticitate 0° , gradul de polarizare DoP a fost de 99,5%. O valoare atât de mare a coeficientului de extincție este necesară pentru a determina cele mai mici modificări ale birefrinței.

Perioada rețelei 10 μm	În ordinul 0	În ordinul +1	În ordinul -1
Orientare	Stânga	Stânga	Stânga
Putere, μW	496	5,38	3,85
DoP, %	95,20	91,28	95,10
Azimut	$0,47^\circ$	$-0,17^\circ$	$0,05^\circ$
Elipticitate	$-0,43^\circ$	$-0,55^\circ$	$-0,11^\circ$

Un studiu al proprietăților de polarizare ale unei rețele de difracție de suprafață a relevat că elipticitatea se modifică cu $0,1 \div 0,5^\circ$ pe ordinele difracției, orientarea polarizării se modifică de la dreapta la stânga, DoP se modifică doar în ordinul +1 cu 4%, iar azimutul în ordinul zero se modifică cel mai mult cu $-0,7^\circ$. Aceste date din tabel indică faptul dacă se utilizează analiza integrală de fază pe suprafața probei DOP că această rețea prezintă o mică anizotropie indusă

de EBL. Se va demonstra în continuare că, atunci când se analizează modelul de microinterferență al EOD, se observă schimbări mici de fază pe suprafața probei.

Perioada rețelilor ale elementelor rezultate au fost măsurate folosind maximele în coordonatele X-Y ale tabloului de difracție.

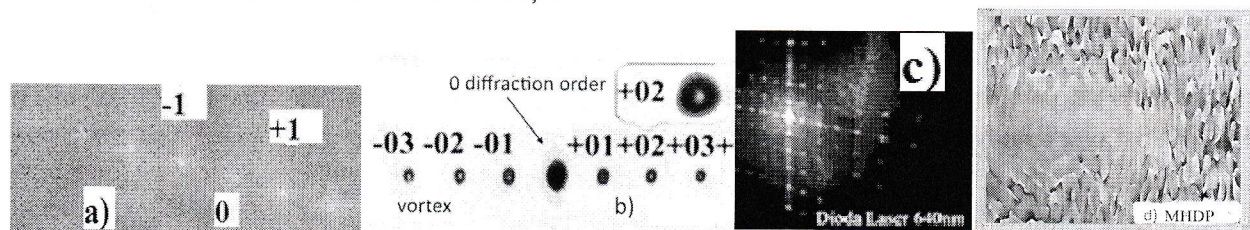


Fig.6. Tabloului de difracție al intensităților rețelei de difracție cu o perioadă de $10 \mu\text{m}$ a), rețele de difracție în formă de furcă b) și matrice de puncte $10 \times 10 \text{p}$ c); (laser cu $\lambda = 633$ nm). Rezultatul distribuției fazei optice a unei rețele de difracție cu o furcă d) după procesarea părții centrale a 4 interferograme obținute folosind MHDP.

Iluminarea unei rețele de difracție în formă de furcă (vezi Fig.4. c) convertirea unei unde plane de laser într-o undă vortex optic care „răsucește” fronturile de lumină, formând o singularitate spațială - un inel de lumină cu o pată întunecată în centru b) ($\pm 3, \pm 2 \pm 1$ ordine de difracție). Pată întunecată în centru d) este vizibilă. Acest EOD convertește fasciculul Gaussian al laserului TEM00 în moduri Laguerre-Gaussiene cu o fază de tip vortex, adică într-o intensitate în formă de „donut”.

Microscopie holografică digitală de polarizare -MHDP. 4 hologramele obținute au fost procesate folosind un software pentru a obține faza optică a probei ca indicator al anizotropiei induse. Proba EOD cu regiunea sa de comparație au fost montate într-un microscop (obiectiv 40x NA0.65, rezoluție $0,6 \mu\text{m}$) și iluminate cu un fascicul laser în 2 direcțiile verticală și 2 orizontală.

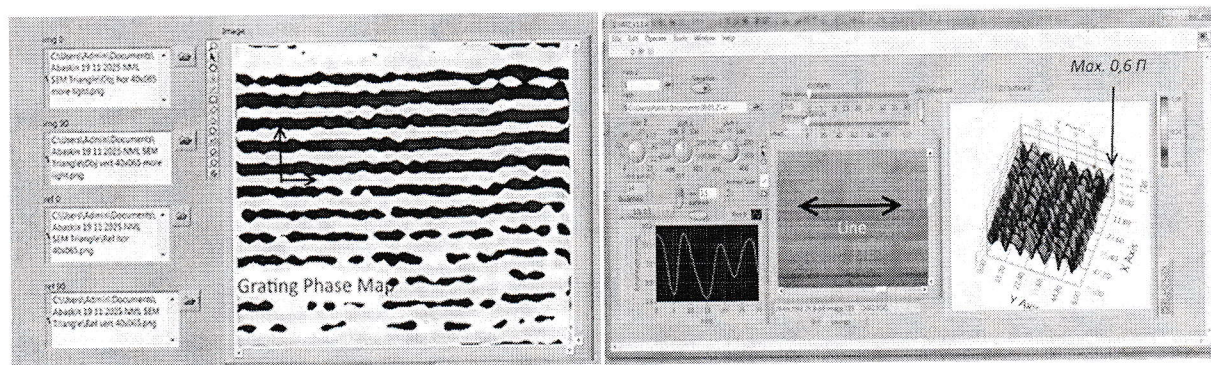


Fig.7. Software-ul LabVIEW N1 pentru MHDP extragerea fazele optice ale rețelei ChGN (period 10, grosimea 3 μm) folosind transformării rapide Fourier ($FFT \rightarrow \text{Alegere: Region of Interest in frequency domain} \pm 1 \rightarrow FFT$) în difracții de ordinul 1 (Fig.7., stângă). Săgețile arată diferența dintre valorile de fază pe X-Y. Softul LabVIEW N2 (Fig.7, dreapta) calculează mapa de faza optică pe baza a patru holograme obținute în MHDP. Sunt prezentate imaginea de fază 3D și un profil de-a lungul liniei specificate.

Variația tridimensională a fazei este neuniformă și corespunde liniilor ascuțite ale rețelei, cu o valoare maximă de $0,6 \pi$. Matricele Jones în domeniile fazei/amplitudinii optice au fost obținute prin prelucrarea hologramelor în Matlab. Distribuțiile indicelui de refracție indus au fost calculate prin scăderea valorilor fazei optice și a celor obținute prin AFM.

Modificările periodice ale fazei optice, reprezentate ca intensități pe suprafața rețelei de difracție, diferă de-a lungul și transversal pe linii. O astfel de rețea introduce o modulație X-Y a fazei optice atunci când este iluminată de un laser. Această analiză a interferogramelor confirmă prezența unui model complex de anizotropiei optice în benzile întunecate și luminoase în această EOD (Fig.7., stângă).

Adâncimea maximă a fazei optice a rețelei de difracție de-a lungul liniei este de $0,6 \pi$ (laser $\lambda=0,640 \text{ nm}$). Înălțimea medie a profilului d de la AFM a rețelei este $0,35 \mu\text{m}$. Utilizarea softului LabVIEW N2 pentru a construi o imagine 3D și un profil de fază optică al unei rețele de difracție completează măsurătorile AFM. Cu toate acestea, acest proces de studiu este mult mai rapid decât AFM și "full field". Valorile calculate ale distribuției fazei optice și măsurătorile AFM sunt utilizate pentru a separa modificările indicelui de refracție n și d .

Modelul metalentilei a fost generat în Matlab, având mărimea $100 * 100$ micrometri și apertura numerică NA 0,1. Fișierul obținut a fost exportat cu extensie *.GDS, compatibilă modulului TESCAN EBL. EBL utilizează un fascicul focalizat de electroni pentru a crea modele la scară nanometrică de **metalentile**. Din păcate, procesul de înregistrare pe ChGN a unui astfel de model a necesitat prea mult timp (orele). A fost posibilă înregistrarea doar a unei porțiuni mici a lentilei ($10*10 \mu\text{m} \times \mu\text{m}$). Eng-30 keV, I-30 nA, doze- $40 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, beam diameter - 520 nm. Această variantă de lentilă este un rezultat preliminar care va fi finalizat.

Metoda matricei Jones a fost utilizată pentru studierea anizotropiei în EOD. Această metodă este utilizată pe scară largă pentru materiale transparente cu anizotropia. Software-ul nostru Matlab de procesare a hologramelor de la MHDP, este capabil să extragă calcule spațiale (câmp complet) ale matricei Jones asociate cu distribuția anizotropiei în probele: modulația amplitudinii, fazei și polarizării. Softul extragea mapele în coordonate de faza J_{xx} , J_{xy} , J_{yy} și J_{yx} și de amplituda J_{xx} , J_{xy} , J_{yy} și J_{yx} .

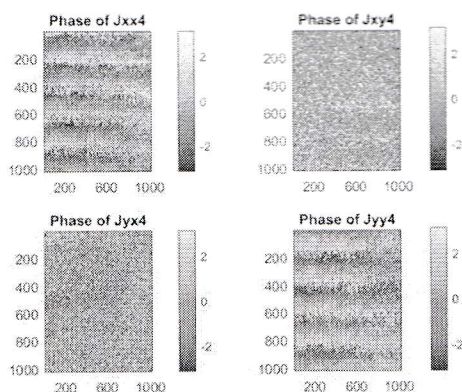


Fig.8. Cuantative matrice de fază derivată din matricea Jones izolează schimbările de fază a unei rețele de difracție (perioadă 10 μm , grosimea 0, 9 μm) pe APN. Este reprezentată o proiecție pe un subspațiu complex unidimensional al vectorilor Jones Jxx, Jxy, Jyy și Jyx.

Polarization transformation of laser beam leads to differences in the intensity distribution of the phase maps. Jnn indicates the presence of anisotropy. It is important to mention that the anisotropy in the APN film is induced directly by EBL. The values of the optical phase vary from -2π to $+2\pi$.

3 software programs developed allow not only the determination of the presence of optical anisotropy, but also the obtaining of data about its distribution on the sample.

6. **Diseminarea rezultatelor** obținute în proiect în formă de publicații (obligatoriu) și în formă de prezentări la foruri științifice (comunicări, postere – pentru cazurile când nu au fost publicate în materialele conferințelor)

Prezentare: 1. National Conference with International Participation - Abaşkin, V. et al. Non mask e-beam lithography of TESCANA VEGA for direct recording of diffraction optical elements: part 1-lines recording. "Materials Science and Condensed Matter Physics" International conference (10; 2024; Chişinău). 10th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics : MSCMP: Chişinău 2024: October 1-4, 2024: Book of abstracts/conference organizers: Leonid Culiuc (chair) [et al.] - Chişinău, 2024. 89 p. ISBN 978-9975-62-763-4. <https://mscmp.usm.md/>

2. Prezentare: E. Achimova, V. Abaşkin, V. Cazac, C. Loşmanschii, V. Botnari, Surface morphology study of azopolymer-based nanocomposites as a function of nanoparticles concentration using AFM. Conferința "INTEGRARE PRIN CERCETARE ŞI INOVARE - 2025" 6-7 noiembrie 2025, Chişinău USM. <https://cercetare.usm.md/?p=7681>

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

Results obtained as a result of activities carried out in the framework of the project have an impact at the scientific, social and economic level. This project is dedicated to the exploitation of the advantages of electron microscopy as an instrument for direct lithography without a mask, in a single step, at the scientific level, and it will allow the creation of optical diffractive elements with thin films in the field of modern optical technologies.

At the scientific level it will generate new knowledge in the field of diffractive optics with properties of polarization, optical anisotropy and will contribute to the deepening of the possibilities of practical application of the films of nanocomposite polymers and chalcogenide nanomultilayers.

Au fost dezvoltate tehnologii pentru producerea de nanostructuri sensibile la fascicul de electroni din sticlă chalcogenică și nanocompozite pe bază de azopolimeri cu nanoparticule axate pe crea o generație nouă de elementele difractive.

8. Colaborare la nivel național în cadrul implementării proiectului

Universitatea de stat de Medicină și Farmacie, Institutul Național de Cercetare în Medicină și Sănătate, Rep Moldova. Discuție cu prof. M. Todiraș pe teme Îmbunătățirea unui microscop holografic digital folosind elemente optice difractive pentru studiul materialelor biologice și redactarea unei propuneri pentru un proiect comun “Marie Curie”.

9. Colaborare la nivel internațional în cadrul implementării proiectului

-În cadrul implementării proiectului se realizează colaborări internaționale cu universități, inclusiv cu Universitatea de Medicină și Farmacie „Carol Davila”, Centrul de Cercetare de Excelență în Biofizică și Biotehnologie Celulară, București. S-au dus unele discuții cu Dr. Mihaela Moisescu despre utilizarea elementul nostru de tip vortex în “optical tweezers” pentru manipularea celulelor canceroase.

-Pavol Jozef Šafárik University in Košice, Slovacia. În acest context, a fost organizată o vizită de schimb privind utilizarea SEM pentru înregistrarea elementelor optice difractive.

-The Faculty of Engineering and Natural Sciences at Istanbul Medipol University, Istanbul, Turkish. Cu profesorul Pr. Dr. Muhammed Fatih Toy au fost discutate aspectele legate de depunerea unui proiect bilateral privind înregistrarea metalentilelor pe peliculă polimerică folosind litografia în fascicul de electroni SEM.

10. Dificultățile în realizarea proiectului de natură financiară, organizatorică, legate de resursele umane etc.

Problema utilizării resurselor umane este legată de faptul că studenții nu pot fi incluși în lista participanților la proiecte științifice. Riscurile asociate proiectelor de cercetare se numără întârzierile în achiziții și pierderea finanțării, în special la sfârșitul anului.

11. Recomandări, propuneri

Având în vedere faptul că fondurile pentru achiziționarea de echipamente din străinătate se pierd din cauza constrângerilor de timp (1 lună pentru licitație + 2 luni pentru producător + jumătate de lună în decembrie + jumătate de lună pentru livrarea la sfârșitul anului). Aceasta presupunând că tender este câștigătoare! Prin urmare, fondurile pentru achiziție trebuie alocate până la sfârșitul lunii august. A permite studenților, începând cu anul I de universitate, să participe la proiecte ANCD.

12. Lista publicațiilor Anexa 2

Conducătorul de proiect _ Abaşkin Vladimir

Data: _____

LŞ



Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anii 15.07.2025-2026

Cifra proiectului 24.80012.5007.23SE

Denumirea Proiectului Modelarea directă a fasciculului de electroni a elementelor optice difractive pe medii avansate bazate pe sticlelor calcogenice nanostructurate și nanocompozite polimerice

Primul obiectiv a vizat dezvoltarea depunerii în vid, controlate de PC, a nanomultistraturilor din sticle calcogenide (ChGN) pentru litografie directă în fascicul de electroni EBL fără mască. Compușii As_2S_3 și Se au fost evaporati termic, separat și secvențial, pe un strat ITO depus pe substrat de sticlă, cu control interferometric al grosimii. Numărul de straturi suprapuse ChGN As_2S_3 -Se care formează nanomultistratul (NML) pentru EBL a fost de 100–150; grosimea totală $1,5 \div 3 \mu\text{m}$; grosimea unui nanostrat: $7 \div 10 \text{ nm}$.

Un alt obiectiv al proiectului a vizat dezvoltarea condițiilor de preparare a nanocompozitelor de azopolimeri (AP) de tip PEPC-SY3:ZnONP (APN). Azopolimerul cu azocolorant SY3 (30wt%) a fost sintetizat prin metoda reflux. APN a fost obținut prin amestecarea azopolimerului cu nanoparticule de ZnO cu dimensiuni $< 50 \text{ nm}$; au fost preparate concentrații cuprinse între 0 și $120 \mu\text{g/ml}$.

EBL induce atât modificări de suprafață, cât și anizotropie optică, cu efect asupra fazei, fenomen exploatat pentru realizarea EOD. În programul KLayout® au fost proiectate rețele de difracție, matrice de puncte și rețele cu dislocări de tip "furcă", cu perioade de $5\text{--}10 \mu\text{m}$, pentru înregistrare prin EBL.

Anizotropia optică a DOE a fost investigată prin polarimetria în ordinele de difracție (PAX-1000VIS, Thorlabs®), AFM și microscopia holografică digitală de polarizare (MHDP). Au fost aplicate două metode de descriere a polarizării luminii: formalismul Stokes și Jones. Ordinele de difracție ale DOE au fost măsurate pentru toate compozițiile, iar perioadele și intensitățile maximelor au servit la controlul operativ al înregistrării EBL. Un polarimetru a fost utilizat pentru a măsura gradul de polarizare, azimutul și elipticitatea fiecărui maxim de difracție al DOE, conform formalismului Stokes. Deoarece valorile fazei optice sunt distribuite pe suprafața probei, valorile măsurate oferă doar semnificații cumulative ($\sim 0, 45^\circ$). Înregistrarea rețelelor cu dislocație de tip "furcă" generează maxime de difracție sub forma unui „donut”, cu singularități.

MHDP: Imaginile cu variația fazei optice ale DOE au fost obținute din 2 holograme ortogonale ale probei și 2 holograme ortogonale de referință, utilizate pentru scădere. Prelucrarea hologramelor DOE, obținute prin MHDP, a fost realizată în LabVIEW și Matlab. Extragerea fazelor optice ale rețelelor ChGN cu ajutorul a două programe elaborate în LabVIEW și care arată că modelul de fază este complex. Variația tridimensională a fazei este neuniformă și corespunde liniilor ascuțite ale rețelei, cu o valoare maximă de $0,6 \pi$. Matricele Jones în domeniile fazei/amplitudinii optice au fost obținute prin prelucrarea hologramelor în Matlab. Distribuțiile indicelui de refracție indus au fost calculate prin scăderea valorilor fazei optice și a celor obținute prin AFM.

The first objective is devoted to the development of PC-controlled vacuum deposition technology of nanomultilayers from chalcogenide glasses (ChGN) applied for direct electron beam lithography (EBL) without a mask. Two components, As_2S_3 and Se, were separately and sequentially thermally evaporated on a conductive ITO layer deposited on a glass substrate. Thicknesses were controlled by 2 interferometers. The number of overlapping ChGN As_2S_3 -Se forming the NML for EBL was $100 \div 150$; total thicknesses $1,5 \div 3 \mu\text{m}$; one nanolayer $-7 \div 10 \text{ nm}$.

Another objective of the project aimed to develop conditions for the preparation of azopolymers (AP) nanocomposites PEPC-SY3:ZnONP (APN). The AP with azocolorant SY3 (30 wt%) by the reflux method was synthesized. APN was prepared by mixing AP with nanoparticles of ZnO at $<50 \text{ nm}$; concentrations from 0 to $120 \mu\text{g/ml}$ were prepared.

It was found that electron beam lithography causes not only changes in the surface due to the displacement of the film mass but also accompanying optical anisotropy. These phenomena leading to a change in the optical phase were used to create diffractive optical elements (DOE). The next images of DOE for EBL recording in the program KLayout® were designed: gratings, dot matrices, and forked gratings ($5 \div 10 \mu\text{m}$ periods).

For the optical anisotropy of DOE study, the following methods were used: diffraction pattern measurements by polarimetry method (PAX-1000VIS, Thorlabs®), AFM, and digital holographic polarization microscopy (MHDP). Two polarimetry methods describing the polarization of light were applied: Stokes formalism and Jones formalism. The measurements of the diffraction patterns of DOE from all compositions were carried out. Periods and intensities of diffraction maxima served for operative control of EBL recording results. A polarimeter was applied to measure Degree of Polarization, Azimuth, Ellipticity of each DOE diffraction maximum by Stokes formalism. As the values of optical phases are distributed over the sample, the measured values give only cumulative meanings ($\sim 0, 45^\circ$). Recording fork grating gives diffraction maxima in the form of a "donut" with singularities.

MHDP: The data for processing of the optical phase changes of DOE was obtained from the 2 sample orthogonal holograms and 2 reference orthogonal holograms for subtraction. Processing of DOE holograms, obtained using the MHDP, was performed in the developed programming software LabVIEW and Matlab. Extracting the optical phases of the grating ChGN by two elaborated LabVIEW software shows that the phase pattern is complex. 3D phase changing is not uniform and corresponds to grating pointed lines with a max value of 0.6π . Jones matrices in optical phase/amplitude domains were obtained by holograms processing by Matlab. The induced refractive index distributions were calculated by subtracting the optical phase and AFM values.

Conducatorul de proiect dr. Abşkin Vladimir

Data: _____

LŞ



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

Proiectului Modelarea directă a fasciculului de electroni a elementelor optice difractive pe medii avansate bazate pe sticlelor calcogenice nanostructurate și nanocompozite polimerice

6. Articole în materiale ale conferințelor științifice

6.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

V., Achimova, E., Abashkin, V., Loshmanskii, C., Botnari, V., Toy, M.F. (2025). Birefringence Mapping of Diffractive Optical Elements on Gold-Doped Azopolymer Nanocomposites by Polarization Digital Holographic Microscopy. In: Sontea, V., Tiginyanu, I., Railean, S. (eds) *7th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering*. ICNBME 2025. IFMBE Proceedings, vol 134. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-06494-3_17

7. Teze ale conferințelor științifice

7.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

Meshalkin A., Achimova E., Abaskin V., Losmanschii C., Botnari V., Muntean D., Toy M.F. „Multilayer chalcogenide glass nanostructures: towards the formation of high-efficiency diffractive optical elements”. Raport keynote la 9th *INTERNATIONAL CONFERENCE: MODERN TRENDS IN PHYSICS "MTP-2025"*, 27–28 noiembrie 2025, Baku State University, or. Baku, Azerbaidjan. Book of abstracts, p. 99-100. <https://mtp2025.bsu.edu.az/>

7.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

E. Achimova, V. Abaşkin, V. Cazac, C. Loşmanschii, V. Botnari, Raport “Surface morphology study of azopolymer-based nanocomposites as a function of nanoparticles concentration using AFM”, Conferința științifică națională cu participare internațională „*Integrare prin Cercetare și Inovare*”, 6-7 noiembrie 2025, Universitatea de Stat din Moldova, Chişinău, Moldova. https://cercetare.usm.md/?page_id=7687

11. Recomandări, propuneri.

**Executarea devizului de cheltuieli,
conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare pentru anul 2025**

Cifrul proiectului: 24.80012.5007.23SE

Cheltuieli, lei				
Denumirea	Cod		Anul de gestiune	
	Eco (k6)	Aprobat	Modifica t +/-	Precizat
Servicii de cercetări științifice	222930	195640,0		195640,0
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizitelor de birou	336110	160,0		160,0
Total		195800,0		195800,0

Conducătorul organizației

Igor SAROV, dr., prof. univ.

Contabil șef

Liliana COJOCARU

Conducătorul de proiect

Vladimir ABASKIN, dr.

Data: _____

LȘ

Componența echipei conform contractului de finanțare 2025

Cifrul proiectului 24.80012.5007.23SE

Echipa proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului) pentru 2025						
Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă sau nr. de ore conform contractului	Data angajării	Data eliberării
1.	Abașkin Vladimir	1948	Dr.	0,75	02.01.2025	31.12.2025
2.	Loșmanshii Constantin	1990		0,25	02.01.2025	31.12.2025
3.	Moldovanu Serghei	1967		0,25	02.01.2025	31.12.2025
4.						
5.						
6.						
7.						

Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2025					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă sau nr. de ore conform contractului	Data angajării
1.					
2.					

Conducătorul organizației

/ Igor SAROV, dr., prof. univ.

Contabil șef

/ Liliانا COJOCARU

Conducătorul de proiect

/ Vladimir ABASHKIN, dr.

Data: _____

LȘ