INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ
UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA

Cu titlu de manuscris
C.Z.U. 621.315.592.539.213

MEȘALCHIN ALEXEI

PROCESE FOTO- ŞI ELECTRON-INDUSE ÎN STRUCTURI SUBŢIRI DIN POLIMERI CARBAZOLICI ŞI STICLE CALCOGENICE

134.01 FIZICA ȘI TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Rezumatul tezei de doctor în științe fizice

CHIȘINĂU, 2025

Teza de doctor în științe fizice a fost elaborată în Laboratorul Materiale pentru Fotovoltaică și Fotonică al Institutului de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova.

Conducător științific:

ACHIMOVA Elena, doctor habilitat în ştiinţe fizice, conferenţiar cercetător.

Referenți oficiali:

1. **ȚIULEANU Dumitru**, doctor habilitat în ştiinţe fizico-matematice, profesor universitar, membru corespondent al AȘM
2. **CULEAC Ion,** doctor în ştiinţe fizico-matematice, conferenţiar cercetător.

Componența consiliului științific specializat:

1. **URSACHI Veaceslav**, **Preşedinte al CŞS**, doctor habilitat în ştiinţe fizico-matematice, conferențiar cercetător, membru corespondent al AȘM;
2. **COJOCARU Ion**, **Secretar ştiinţific al CŞS**, doctor în ştiinţe fizico-matematice;
3. **RUSU Emil, membru al CŞS**, doctor habilitat în ştiinţe tehnice, conferenţiar universitar;
4. **NEDEOGLO Dumitru, membru al CŞS**, doctor habilitat în ştiinţe fizico-matematice, profesor universitar;
5. **ZALAMAI Victor**, **membru al CŞS**, doctor în ştiinţe fizico-matematice, conferențiar cercetător;
6. **BUZDUGAN Artur**, **membru al CŞS**, doctor habilitat în ştiinţe tehnice, profesor universitar.
7. **CARAMAN Mihail, membru al CŞS** doctor habilitat în ştiinţe fizico-matematice, profesor universitar.

Susținerea a avut loc la 17 septembrie 2024, ora 15:00, în ședința Consiliului științific specializat D 134.01-24-28 din cadrul Institutului de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova, str. Academiei nr. 5, bir. 230, Chișinău, MD-2028, Republica Moldova.
Aprobarea versiunii modificate a autoreferatului și a tezei a fost realizată de către aceeași componență a Consiliului Științific Specializat D 134.01-24-28 la data de 29 mai 2025.
Teza de doctor și rezumatul tezei pot fi consultate la biblioteca Universității de Stat din Moldova și pe pagina web a ANACEC (www.anacec.md)

Secretar științific al Consiliului științific specializat:
COJOCARU Ion, dr.



Conducător științific:
ACHIMOVA Elena, dr. hab., conf. cerc.



Autor:
MEȘALCHIN Alexei



© Meşalchin Alexei, 2025

CUPRINS

REPERE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII 4

CONȚINUTUL TEZEI 8

1. PROCESE FOTO- ŞI ELECTRON-INDUSE ÎN STRUCTURI SUBŢIRI DIN POLIMERI CARBAZOLICI ŞI STICLE CALCOGENICE 8

2. OBȚINEREA ȘI CERCETAREA MICRO- ȘI NANO-STRUCTURILOR BAZATE PE STRATURI SUBȚIRI 8

3. PROCESE SCALARE FOTO- ȘI ELECTRON-INDUSE ÎN NANOSTRUCTURI SEMICONDUCTOARE DIN STICLE CALCOGENICE ȘI ÎN FILME SUBȚIRI DE POLIMERI CARBAZOLICI 12

4. PROCESE FOTO-INDUSE VECTORIALE ÎN NANOSTRUCTURI

SEMICONDUCTOARE DIN STICLE CALCOGENICE ȘI ÎN FILME SUBȚIRI DE POLIMERI CARBAZOLICI 18

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI 23

BIBLIOGRAFIE 25

LISTA LUCRĂRILOR ȘTIINȚIFICE ALE AUTORULUI LA TEMA TEZEI 28

ADNOTARE..... 31

АННОТАЦИЯ 32

SUMMARY 33

REPERE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și importanța problemei abordate

Dezvoltarea de noi elemente active și pasive pentru aplicații în fotonică, este domeniul științei și tehnologiei, apărut la intersecția a două direcții clasice: optica și electronica, și se bazează pe crearea și aplicarea de noi materiale optice și noi metode de fabricare a elementelor optice [1], inclusiv a elementelor optice difractive (EOD). Principalele avantaje ale EOD, elemente subțiri și plate, în comparație cu elementele optice masive sunt, în primul rând, posibilitatea realizării sistemelor optice mai compacte și, în al doilea rând, realizarea într-un singur EOD posibilității de combinare a mai multor elemente care îndeplinesc funcții complexe, adesea imposibil de realizat într-un element optic masiv. Aceste elemente fac posibile multe aplicații fotonice unice și devin o modalitate eficientă de minimizare și integrare a componentelor optice [2]. Deși există o mare necesitate de EOD multifuncționale, adică care să posede atât proprietăți scalare, cât și vectoriale, problema selectării materialelor și a metodelor de înregistrare corespunzătoare rămâne deschisă. Sticlele calcogenice (SC) reprezintă o clasă importantă de materiale amorfe utilizate ca medii de înregistrare a informației [3]. Aplicarea lor se bazează pe sensibilitatea lor la diferite tipuri de iradiere care duc la modificări structurale stimulate [4], ceea ce este important pentru o înțelegere mai profundă a naturii acestor modificări și o extindere semnificativă a domeniului de aplicare a acestora ca materiale optice multifuncționale [5].

O deosebită atenție în literatură este dedicată obținerii nanostructurilor pentru aplicații micro/nanoelectronice și fotonice. Structurile multistrat sunt nanostructuri artificiale care sunt fabricate cu parametri geometrici controlați și investigate ca filme subțiri. Acest lucru este important deoarece variațiile parametrilor optici (deplasarea pragului absorbției optice fundamentale și modificarea indicelui de refracție a luminii), precum și a conductivității electrice și a temperaturii de înmuiere a materialului sunt caracteristice și frecvent studiate în nanostructuri. Pentru a îmbunătăți în continuare performanța optică, scopul acestei lucrări este dezvoltarea de nanostructuri din SC, combinând astfel avantajele utilizării diferitelor tipuri de SC și proprietățile filmelor de grosime nanometrică. În plus, structurarea artificială a filmelor din SC permite exploatarea și a proprietăților legate de polarizarea luminii. Acest lucru este important pentru aplicațiile holografice, deoarece face ca holografia scalară să avanseze în domeniul vectorial.

Holografia în lumină polarizată are multe proprietăți unice în comparație cu holografia scalară, cum ar fi eficiență ridicată (până la 100%), acromaticitate și proprietăți speciale de polarizare.

O altă clasă de materiale utilizate pe scară largă pentru înregistrarea EOD sunt polimerii fotosensibili. Polimerii sunt în general materiale ductile și, prin urmare, pot prezenta relativ ușor deplasări atomice fotoinduse și modificări corespunzătoare ale proprietăților. Din această grupă fac parte polimerii carbazolici (PC), care au atras un interes larg datorită aplicațiilor lor potențiale în domenii precum stocarea optică a datelor și prelucrarea informațiilor. Problema înregistrării holografice în polimeri a beneficiat de o atenție deosebită în ultimul deceniu, în principal pentru a proteja documentele de manipulare sau falsificare, iar tehnicile de relief s-au dovedit a fi una dintre soluțiile la această problemă.

Există multe asemănări în comportamentul fotostructural al SC și al fotopolimerilor. La iluminarea SC și foitopolimerilor cu lumină polarizată se manifestă efectul de birefringența, precum și modificări de volum a amterialului, deformări anizotrope, fluiditate și mișcări mecanice. Un alt aspect care unește SC și PC dopați este sensibilitatea la iradierea optică și cu fascicule de electroni, precum și capacitatea de deformare directă (fără manipulări suplimentare) a suprafaței sub acțiunea lor.

Scopul tezei de doctorat: studiul rolului proceselor scalare și vectoriale care apar în nanostructurile multistrat pe bază de sticle calcogenice și în pelicule subțiri de polimeri carbazol sub influența iradierii optice și electronice în crearea elementelor optice difractive multifuncționale.

Pentru atingerea acestui scop, au fost identificate următoarele sarcini științifice:

1. Dezvoltarea și crearea de medii de înregistrare bazate pe nanostructuri multistrat (NMS) realizate din sticle calcogenice și straturi subțiri de polimeri carbazolici pentru înregistrarea EOD.
2. Studiul fenomenelor scalare fotoinduse în NMS din SC și straturi subțiri din PC.
3. Studiul fenomenelor vectoriale fotoinduse în NMS din SC și straturi subțiri din PC.
4. Studiul aplicabilității fenomenelor fotoinduse scalare și vectoriale în NMS din SC și straturi subțiri din PC pentru înregistrarea EOD multifuncționale.

Noutatea științifică şi originalitatea rezultatelor obţinute

A fost dezvoltată o tehnologie pentru producerea unui suport holografic de informații nanostructurat multistrat bazat pe SC de diferită compoziție. A fost obținut un nou purtător de informații în formă de straturi subțiri din fotopolimer PEPC sensibilizat cu iodoform CHI_3 și

azocolorant Disperse Orange (DO). S-a demonstrat că ambele medii dezvoltate sunt eficiente atât pentru înregistrarea holografică scalară cât și vectorială. Este propusă o metodă pentru măsurarea mărimii fotorăspunsului unui material holografic utilizând efectul de structurare a tabloului de difracție.

Principala problemă științifică rezolvată în teză constă în stabilirea rolului proceselor de înregistrare fotoinduse scalare și vectoriale a EOD multifuncționale pe în purtători de informație nanostructurați multistrat pe baza de SC și straturi subțiri de azopolimeri PEPC-DO.

Principalele rezultatele științifice înaintate spre susținere:

1. A fost dezvoltată o metodă și determinate modurile tehnologice de evaporare termică secvențială în vid controlată de calculator pentru crearea mediilor de înregistrare bazate pe structuri nanomultistrat din sticle calcogenice de diferită compoziție într-un singur ciclu tehnologic cu posibilitatea varierii grosimii fiecărui monostrat în domeniul a câțiva nanometri. Tehnologia permite depunerea de filme subțiri cu o grosime nanometrică a unui monostrat și o grosime totală a structurii multistrat de la 0,005 μm până la ~3,0 – 4,0 μm.
2. Au fost sintetizați o serie de compuși polimerici noi care conțin carbazol (PEPC, PETPC, PETPC:GB) pe bază de N-epoxipropilcarbazol (EPC) cu adaosuri diverse pentru creșterea sensibilității: iodoform (până la 10% din masă), roșu de metil (până la 50% din masă) și portocaliu dispersat (până la 50% din masă). Pentru a obține straturi subțiri de calitate optică din fotopolimerii studiați au fost elaborate hărți tehnologice spin-coating din soluții folosind o instalație SCS Spincoat G3P8.
3. S-a arătat că în timpul înregistrării holografice scalare în filme subțiri de SC rețelele de difracție sunt de amplitudine, cauzate de modificări fotoinduse ale coeficientului de absorbție și modificări scalare ale indicelui de refracție în volumul materialului. În straturile subțiri din fotopolimerii studiați, înregistrarea holografică scalară duce la formarea de rețele de difracție de amplitudine în volumul stratului polimeric. Pentru a obține o rețea în relief este necesară corodarea chimică ulterioară a materialului.
4. A fost demonstrat că atât la iradierea tip rastru, cât și grafică cu un fascicul de electroni a structurii nanomultistrat din SC-Se și a straturilor subțiri de fotopolimeri, se formează rețele de difracție de amplitudine și fază datorită formării perechilor electron-gol și modificării volumului materialului, cauzată adâncimii mari de penetrare a iradierii electronice.

5. A fost propusă o metodă de măsurare a valorii fotorăspunsului materialului holografic din efectul de structurare a tabloul de difracție structurat. În cazul hologramelor obținute cu fascicule gaussiene, eficiența de difracție (ED) maximală este limitată de efectul factorului de formă (*formfactor*), care este inerent atât în rețelele subțiri, cât și în cele groase.
6. S-a demonstrat că atât metodele analogice, cât și cele digitale de înregistrare holografică în lumină polarizată, care formează fascicule de lumină singulare (vortexuri optice) cu sarcini topologice diferite, permit crearea de EOD multifuncționale pe mediile de înregistrare dezvoltate.

Semnificația teoretică a lucrării constă în elucidarea proceselor fizice de interacțiune a materialelor cu radiațiile optice și cu fascicule de electroni. A fost studiat mecanismul interacțiunii scalare și vectoriale a luminii cu materialul.

Valoarea aplicativă a lucrării. Utilizând mediile dezvoltate în teză, s-au obținut elemente optice difractive pentru formarea de vortexuri optice cu randament de difracție ridicat și fascicule de lumină cu structură spațială controlată. S-a arătat că metoda de înregistrare holografică în lumină polarizată, în care se formează fascicule de lumină singulare (vortexuri optice) cu sarcini topologice diferite, face posibilă crearea de EOD multifuncționale folosind mediile de înregistrare în dezvoltate în lucrare. Acest lucru deschide noi perspective pentru dezvoltarea și/sau optimizarea unei game largi de aplicații practice ale EOD în optoelectronică și fotonică (optica difractivă, medicina, tehnologii de protecție, metode holografice de testare nedistructivă, holografie imagistică etc.).

Aprobarea rezultatelor științifice ale cercetării. Rezultatele principale au fost prezentate la seminare științifice ale Institutului de Fizică Aplicată al Universității de Stat din Moldova, deasemenea la următoarele conferințe:

6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, September 20-23, 2023, Chisinau, Moldova; 14th International Conference on Physics of Advanced Materials, September 8 – 15, 2022, Dubrovnik, Croatia; 5th International Conference on Nanomaterials Science and Mechanical Engineering, July 5-8, 2022, University of Aveiro, Portugal; 11th International Advances in Applied Physics &. Materials Science Congress, 17–23 October 2021, Muğla, Turkey; 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, 3–5 November, 2021, Chisinau, Moldova; XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям, 8–9 сентября 2020, Москва, Россия; 9th

International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics, Ed. 9, 25-28 septembrie 2018, Chișinău, Moldova; 9th International Conference "Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies", 23 - 26 August 2018, Constanta, Romania.

Implementarea rezultatelor științifice: A fost patentată o metodă de analiză prin difracție a fotoreacției de fază a materialelor fotosensibile. Metoda a găsit aplicare în activitățile de cercetare ale Laboratorului de Materiale pentru Fotovoltaică și Fotonică al Institutului de Fizică Aplicată.

Publicații la tema tezei. Rezultatele cercetării au fost publicate în 28 lucrări științifice, dintre care 18 de articole în reviste indexate din bazele de date Web of Science şi SCOPUS, 3 articole în reviste din străinătate recunoscute și 6 articole în lucrările conferinţelor ştiinţifice.

Volumul și structura tezei. Teza constă din introducere, 4 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie ce include 221 de titluri, 130 de pagini de text de bază, 104 de figuri, 9 tabele. Rezultatele cercetărilor efectuate sunt expuse în 28 de lucrări științifice.

Cuvinte cheie: sticle calcogenice, azopolimer, nanostructură, înregistrare holografică scalară și polarizată, eficiență de difracție, relief de suprafață.

CONȚINUTUL TEZEI

În **Introducere** sunt formulate relevanța și semnificația temei de cercetare, se determină obiectul cercetării, se formulează scopul și obiectivele cercetării, se determină metodele de cercetare, se dezvăluie noutatea științifică, semnificația teoretică și practică a tezei.

În **Capitolul I "Procese foto- şi electron-induse în structuri subţiri din polimeri carbazolici şi sticle calcogenice"** este prezentată o analiză detaliată a problemelor proceselor stimulate de lumină și electroni în SC și polimeri cu conținut de carbazol și utilizarea acestora ca medii de înregistrare a informațiilor. Este prezentată o trecere în revistă a datelor din literatură privind nanostructurile multistrat bazate pe SC și polimeri sensibilizați cu diferiți coloranți.

În **Capitolul II "Obținerea și cercetarea micro-și nano-structurilor bazate pe straturi subțiri"** sunt descrise metode de obținere a nanostructurilor multistrat pe bază de As_2S_3 și Se prin evaporare termică secvențială în vid, controlată de calculator cu posibilitatea de a varia grosimea fiecărui monostrat în limita a câțiva nanometri [6]. Tehnologia permite depunerea de filme subțiri cu grosimi nanometrice ale monostraturilor și grosimea totală a structurii multistrat de la 0,005 μm

până la ~3,0 - 4,0 μm. Datorită formei specifice a măștilor (Fig. 1), pe substrat se formează atât o structură multistrat As_2S_3-Se, constând din straturi depuse secvențial As_2S_3 și Se cu grosimea fiecărui strat de aproximativ 5-20 nm, numărul de straturi circa 100, iar grosimea structurii globale - aproximativ 2-3 μm, cât și straturi individuale As_2S_3 și Se, depuse secvențial în rezultatul rotirii substratului. Secțiunea transversală a structurilor multistrat As_2S_3-Se este prezentată în Fig. 2.

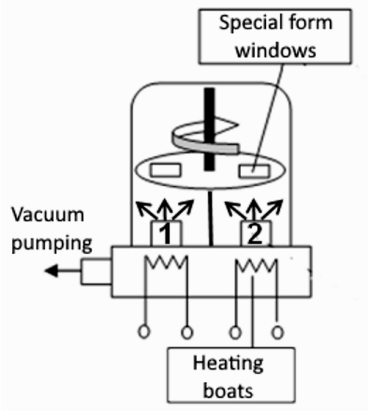


Fig. 1. Atașament pentru depunerea structurii multistrat pe bază de SC cu două evaporatoare: 1 – pentru As_2S_3; 2 – Se [6].

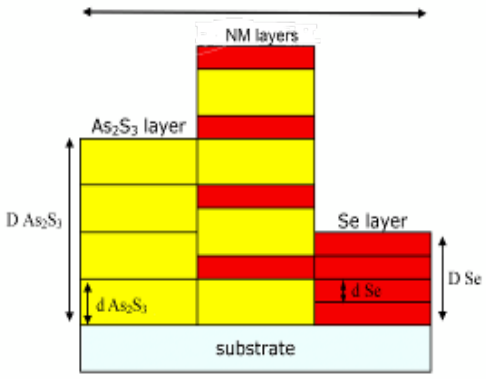


Fig. 2. Secțiunea transversală a specimenului cu 4 straturi. D As_2S_3 și D Se reprezintă grosimea totală a straturilor de As_2S_3 și, respectiv, Se; d As_2S_3 și d Se reprezintă grosimea fiecărui monostrat de As_2S_3 și Se din structura multistrat [6].

Capitolul prezintă, de asemenea, rezultatele sintezei unui număr de noi compuși cu conținut de carbazol pe bază de N-epoxipropilcarbazol (EPC), la care s-au adăugat iodoform (până la 10 % din masă) și colorant orange dispersat (Disperse Orange 3, până la 50 % din masă). Fig. 3 prezintă structurile chimice ale polimerilor sintetizați [7]. Pentru a obține straturi subțiri de calitate optică din fotopolimerii investigați, au fost elaborate diagrame tehnologice de formare a straturilor din soluție prin metoda spincoating la instalația SCS Spincoat G3P-8. Structura chimică a polimerilor sintetizați care conțin carbazol a fost confirmată cu ajutorul spectrelor IR prin identificarea frecvențelor caracteristice acestor compuși.

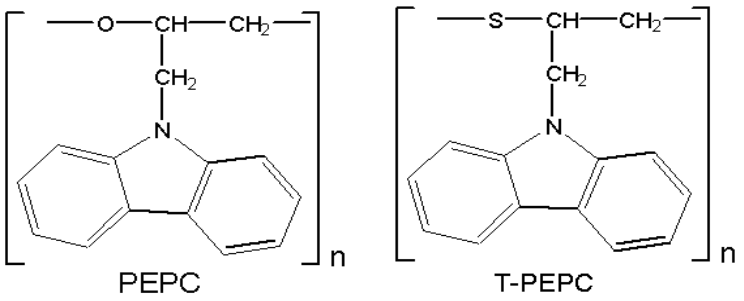


Fig. 3. Structurile chimice ale polimerilor sintetizați poli-epoxipropilcarbazol (PEPC) și poli-epiftiopropilcarbazol (PETPC) [7].

Pentru pregătirea azopolimerului care conține carbazol au fost utilizați un monomer pe bază de carbazol (N-epoxipropilcarbazol, EPC) și azo-colorantul Disperse Orange 3 (DO) [8,9]. Molecula DO a fost atașată chimic la monomerul EPC printr-o schemă de policondensare la 120º C timp de 4 ore. Azopolimerul obținut a fost purificat prin precipitare în hexan și apoi în metanol. Schema de sinteză chimică și structura azopolimerului EPC:DO sunt prezentate în Fig. 4.

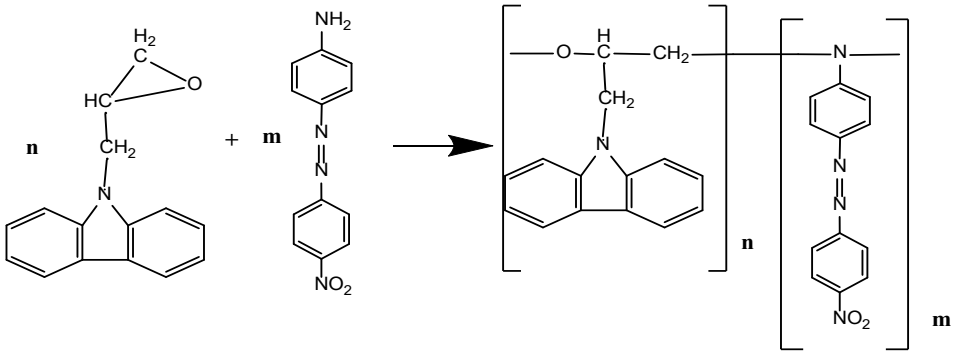


Fig. 4. Schema de sinteză chimică și structura EPC:DO [8]

De asemenea, în capitolul II, sunt prezentate tehnici de măsurare și analiză a parametrilor optici și fizici ale filmelor subțiri și nanostructurilor obținute. Este cunoscut faptul că pragul absorbției optice în SC este caracterizat de coeficientul de absorbție α, care crește odată cu creșterea energiei fotonilor (regula spectrală a lui Urbach) [10]. Fotonii optici cu energii mai mici decât lățimea benzii optice interzise (E_g^{opt}) sunt absorbiți slab, iar materialul este mai transparent pentru aceștia.

Fig. 5 reprezintă spectrul de absorbție pentru structura multistrat As_2S_3:Mn-Se [11], caracteristic pentru SC [12,13], împărțit în mod convențional în 3 regiuni [14].

În regiunea absorbției puternice (α>10^4 cm^{-1}) din dependența $(h\nu\alpha)^{1/2}$ de $h\nu$ (Fig. 6) s-a obținut lățimea zonei optice interzise a structurii multistrat As_2S_3:Mn-Se E_g^{opt} ≈1,93 eV.

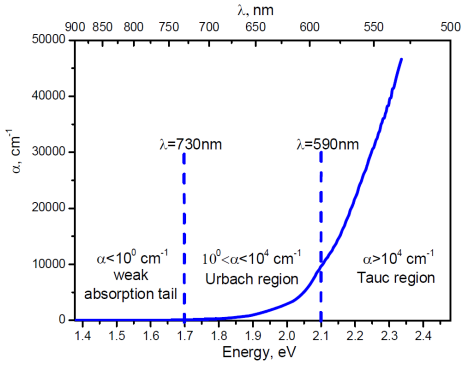


Fig. 5. Spectrul de absorbție optică al structurii multistrat As_2S_3:Mn-Se cu trei regiuni majore [11].

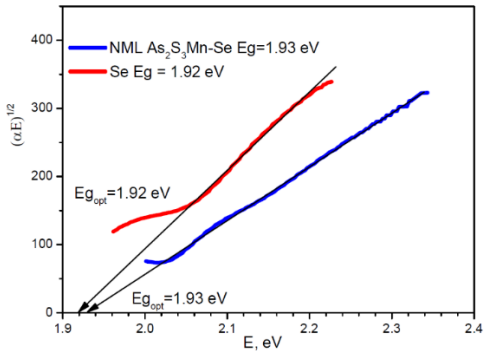


Fig. 6. Graficul dependenței $(h\nu\alpha)^{1/2}$ versus $h\nu$ pentru structura multistrat As_2S_3:Mn-Se și stratul de Se [11].

Dependența de lungimea de undă a indicelui de refracție n pentru nanostructurile multistrat As_2S_3-Se a fost analizată folosind un model de dispersie cu un singur oscilator. Conform acestui model [6], indicele de refracție n este legat de energia fotonică incidentă $h\nu$ prin ecuația

$$(n^2 - 1) = \frac{E_d E_0}{E_0^2 - (h\upsilon)^2}, \qquad (1)$$

unde E_0 reprezintă energia unui singur oscilator asociat cu decalajul energetic mediu, adică energia de legătură chimică între atomii incluși în matricea amorfă, iar E_d energia de dispersie care caracterizează puterea tranzițiilor între zone. Utilizând spectrele de transmisie ale filmelor subțiri, valorile E_0 și E_d. au fost calculate și prezentate în Tabelul 1. Datele obținute sunt în concordanță bună cu rezultatele lucrărilor [15,16].

Tabelul 1. Parametrii optici ai straturilor obținute.

Compoziția filmului	d, nm	$n(0)$	E_d , eV	E_0 , eV	E_g^{opt},eV
monostrat As_2S_3	1400	2.221	18.594	4.730	2.32
monostrat Se	1000	2.250	13.897	3.414	1.92
structură multistrat As_2S_3-Se	2400	2.282	16.522	3.928	1.94

Din datele prezentate în acest Tabelul 1 se poate observa că E_0 este în concordanță cu lățimea benzii optice interzise ($E_0 \approx 2E_g^{opt}$) numai pentru As_2S_3. E_0 pentru straturile de Se este cu ~ 11 % mai mică decât 2 E_g^{opt}, iar E_0 pentru nanostructura multistrat As_2S_3-Se este cu aproximativ 4 % mai mare.

În **Capitolul III "Procese scalare foto- și electron-induse în nanostructuri semiconductoare din sticle calcogenice și în filme subțiri de polimeri carbazolici"** sunt descrise rezultatele înregistrării holografice scalare în filme subțiri de sticle calcogenice. Rețelele de difracție înregistrate sunt cauzate de modificările fotoinduse ale coeficientului de absorbție și ale indicelui de refracție scalar în volumul materialului. O direcție nouă în acest domeniu este obținerea de suporți holografici cu posibilitatea formării directe a reliefului în procesul de expunere [17-19]. În acest caz, valorile înalte ale ED, determinate de adâncimea și forma reliefului, se obțin atât prin alegerea unui mediu de înregistrare adecvat, cât și prin condițiile de înregistrare holografică [20]. Pentru a evalua ED rețelelor de difracție simetrice a fost utilizată schema clasică în fascicule convergente (Fig. 7) [21], propusă de Leith și Upatnieks [22].

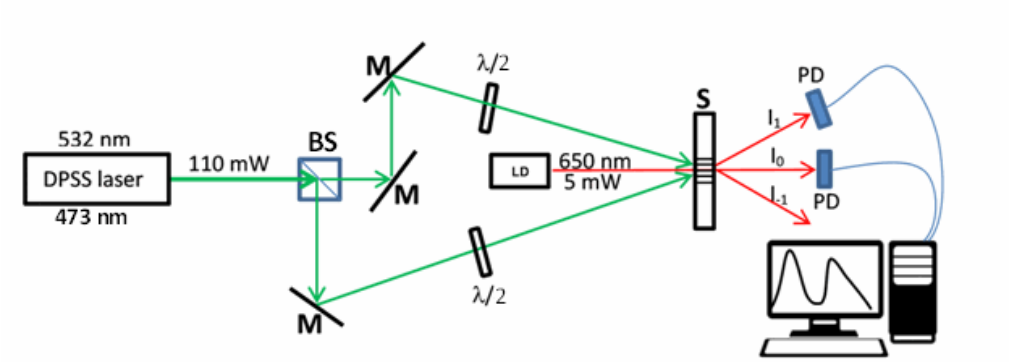


Fig. 7. Schema de înregistrare a rețelelor holografice. DPSS - laser monomod (TEM_{00}) pe corp solid cu pompare LED, BS - cub separator de fascicule de polarizate, M - oglinzi, λ /2 - plăci de fază cu jumătate de undă, LD - diodă laser, S - mediu de înregistrare, PD - fotodiode de siliciu [21].

Ca sursă de lumină a fost utilizată radiația polarizată de la un laser DPSS monomod (lungimea de undă 473 sau 532 nm). Fasciculul laser lărgit a fost divizat după amplitudine cu ajutorul unui cub de divizare a luminii nepolarizate în raport 50:50. Cele două fascicule au fost apoi împreunate pe suprafața probei cu ajutorul oglinzilor. Pentru a analiza adâncimea și forma de modulare a parametrilor optici în funcție de expunere, au fost utilizate în calitate de mediu de

înregistrare filme subțiri de As_2S_3 cu grosimea de 1,0 μm, obținute prin evaporare termică în vid, rețelele de difracție (RD) obținute având o perioadă de 20 μm. În procesul de înregistrare a RD, a fost monitorizată ED la incidența normală a unui fascicul de la o diodă laser (λ=650 nm, P=1 mW). Pentru a studia influența dozei de iradiere asupra modulației parametrilor optici au fost alese trei RD cu doze de iradiere diferite: 1 - RD subexpusă, adică o rețea a cărei ED nu a atins valoarea maximală (timp de înregistrare 4 min, doza de iradiere 28 J/cm^2); 2 - RD expusă normal, adică rețeaua a cărei ED a atins valoarea maximală (timp de înregistrare 5,9 min, doza de iradiere 42 J/cm^2); 3 - rețea supraexpusă, adică rețeaua a cărei ED începe să scadă (timp de înregistrare 7,6 min, doza de iradiere 55 J/cm^2). În Fig. 8 este reprezentată cinetica modificării ED în primul ordin de difracție în timpul înscrierii RD în straturi de As_2S_3 [23], în care sub acțiunea iradierii are loc modularea coeficientului de absorbție și a indicelui de refracție cu atingerea valorii maximale, adică a saturației.

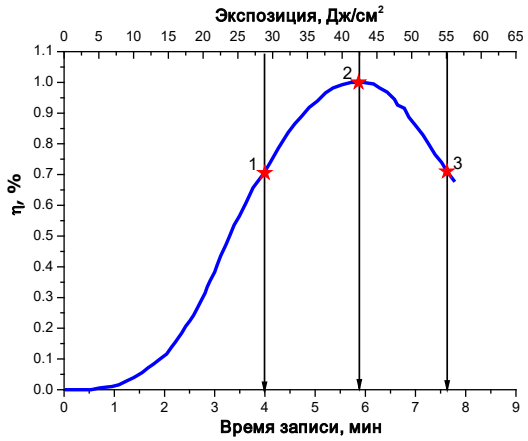


Fig. 8. Cinetica modificării ED în rețelele înregistrate în filmul As_2S_3 la diferite doze: 1 - subexpusă; 2 – normal expusă; 3 – supraexpusă [23].

Pentru a investiga profilul de fază și adâncimea de modulare a rețelelor de RD înregistrate a fost aplicată elipsometria spectrală imagistică (”imaging”). Pentru porțiunile neexpuse ale filmului As_2S_3, grosimea și indicele de refracție au fost determinate cu ajutorul elipsometriei spectrale [23]. Grosimea stratului de As_2S_3 a constituit 966 nm ± 9 nm, iar indicele de refracție a fost $n=2$,5873 ± 0,0002 (λ=658 nm). Toate măsurătorile au fost efectuate la temperatura camerei. Fig. 9 reprezintă imagini ale rețelelor de difracție (a, b, c), care sunt imagini ale modulației constantelor optice, în cazul dat al indicelui de refracție $n(r)$ și a coeficientului de extincție $k(r)$, obținute cu ajutorul unui

elipsometru de imagine cu contrast îmbunătățit. După cum se poate observa, creșterea expunerii duce nu numai la o modificare a contrastului RD, ci și la o modificare a lățimii a liniilor rețelelor.



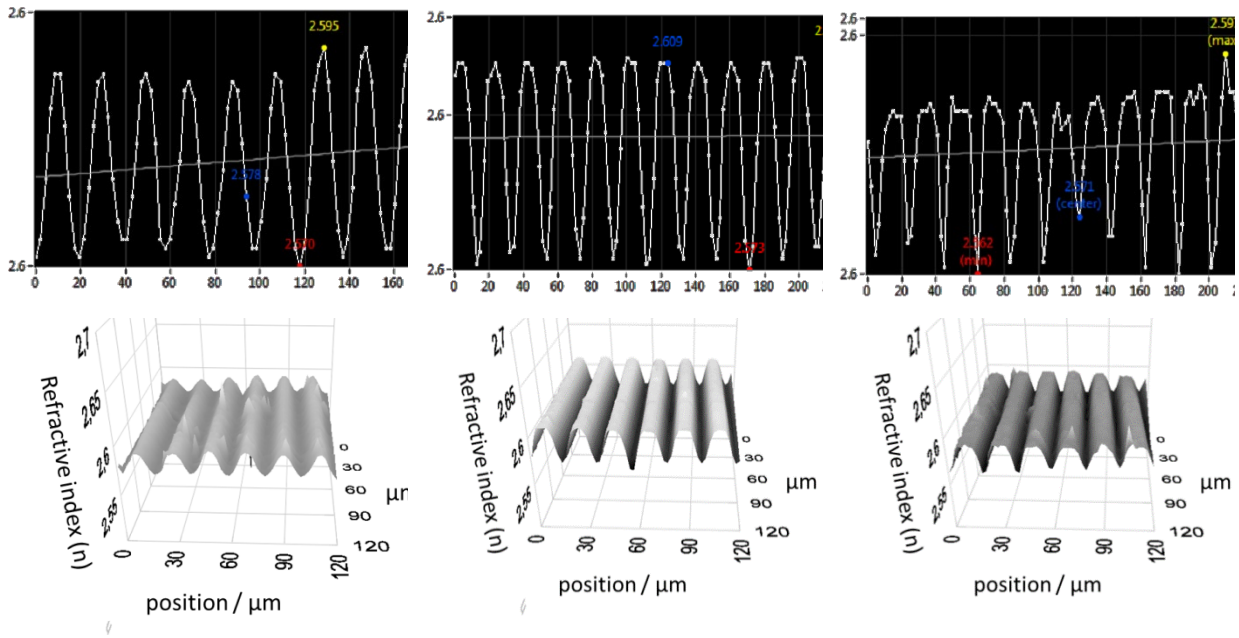
a) b) c)

Fig. 9. Imagini ale RD obținute cu elipsometrul de imagine cu contrast îmbunătățit. a) - subexpuse; b) – normal expuse; c) - supraexpuse [23].

Fig. 10 reprezintă modularea indicelui de refracție *n(r)* pentru rețelele de difracție a), b) și c) din Fig. 9. După cum se poate observa din Fig. 10, expunerea holografică are ca rezultat modularea periodică a indicelui de refracție.

După cum se poate observa în Fig. 10, la o expunere redusă, profilul modulării indicelui de refracție este aproape sinusoidal și transmite cel mai bine profilul sinusoidal al distribuției intensității în tabloul de interferență. Lățimea vârfurilor și a depresiunilor din profilul *n* diferă nesemnificativ, dar adâncimea profilului este relativ mică (~0,03). Acest lucru explică faptul că, la această expunere, valoarea ED este de aproximativ 0,7 %, ceea ce corespunde ED pentru rețelele sinusoidale obținute prin calcul numeric pentru o modulație a indicelui de refracție de 0,03 la o grosime a filmului de 1 μm. La expuneri mai mari, profilul indicelui de refracție se transformă într-un profil cicloidal, vârfurile devenind mai plate și mai late, în timp ce depresiunile devin mai înguste. Adâncimea de modulație crește pentru rețeaua expusă normal până la 0,04 (λ=658 nm), ceea ce dă o ED de 1%, care corelează, de asemenea, bine cu valoarea ED obținută prin calcul numeric. RD supraexpusă este, de asemenea, caracterizată de un profil cicloidal al lui *n(r),* dar adâncimea de modulare scade în acest caz la 0,035, ceea ce duce la o scădere a ED la 0,75%. Acest

lucru poate fi explicat prin efectul cumulativ al iluminării în tabloul de interferență care duce la saturarea modificării fotostimulate a indicelui de refracție.



a) b) c)

Fig. 10. Modularea indicelui de refracție *n(r)* și topografia suprafeței pentru rețelele de difracție a – subexpusă, b – normal expusă și c - supraexpusă [23].

Înregistrarea holografică scalară a fost, de asemenea, efectuată pe straturi de azopolimeri care conțin carbazol PEPC și PETPC, sensibilizate cu 10% iodoform [24-27]. Pentru a compara probele în aceleași condiții, aceiași rețea de difracție cu o perioadă de 1,0 µm (λ=488nm, iluminarea E=82 mW/cm^2) a fost înregistrată pe toate probele. Înregistrarea a fost efectuată în configurația de polarizare a razelor de interferență S:S, care oferă cea mai mare modulație de intensitate în tabloul de interferență. Înregistrarea în polarizări ortogonale nu a dus la formarea RD. A fost demonstrat că în straturile subțiri din fotopolimeri înregistrarea holografică scalară conduce la formarea de rețele de difracție de amplitudine în volumul stratului. S-a aratat că structurile în relief pot fi obținute printr-o etapă suplimentară de prelucrare - corodarea chimică lichidă. ED a rețelelor de difracție cu perioada de 1 µm după corodarea straturilor PEPC și PETPC cu grosimea de 1,6 µm sunt prezentate în Tabelul 2 [7]. S-a demonstrat că ED crește semnificativ (aproape cu un ordin de

mărime) după corodare. Acest lucru se explică prin dizolvarea fotoselectivă a materialului, unde sub influența radiațiilor actinice se modifică viteza de dizolvare a zonei expuse.

Tabelul 2. Dependența ED a rețelelor în funcție de timpul de corodare chimică a straturilor PEPC și PETPC sensibilizate cu 10% iodoform [27].

Materialul	Timpul de corodare, s			
	0	5	10	15
PEPC	0.5%	11%	24%	26%
PETPC	0%	20%	35%	41%

S-a constatat că atât iradierea raster cu fascicul de electroni, cât și cea grafică a nanostructurilor multistrat As_2S_3-Se și a straturilor subțiri de fotopolimeri produce rețele de difracție de fază și amplitudine datorită formării perechilor de electroni-goluri în volumul probelor și extinderii volumului materialului datorate energiei și adâncimii mari de penetrare a fasciculului de electroni. Odată cu creșterea dozei de înregistrare (de la 4,6 la 13,8 mCl/cm^2) și a perioadei rețelei (de la 2 la 4 μm), adâncimea profilului rețelei crește de la 50 nm la 110 nm. Fig. 11 reprezintă topografia suprafeței și profilul extras a unui obiect grafic din imaginea cuvântului "SECURE" înscris pe o structură multistrat $Ge_5As_{37}S_{58}$-Se de 3 μm grosime [28]. Adâncimea profilului depinde de doza de iradiere și este de ordinul a 200 nm la o doză de 30 mCl/cm^2.

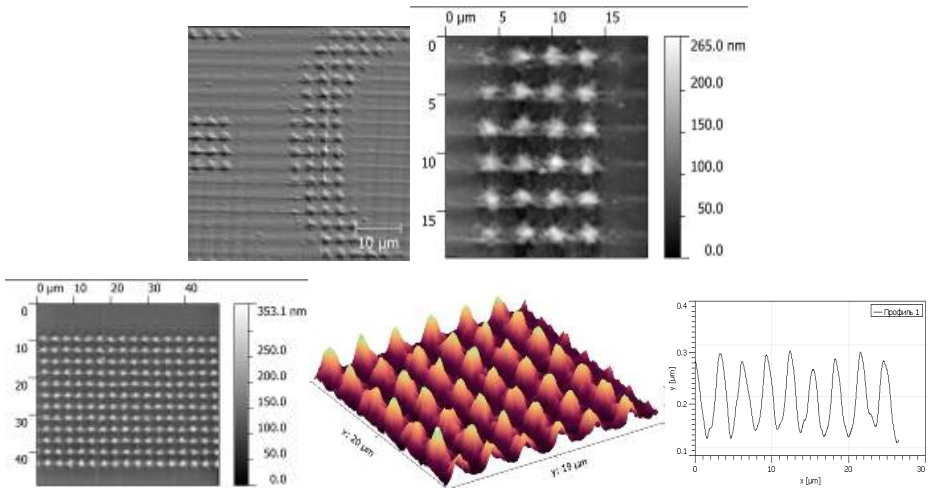


Fig. 11: Imagini în relief 3D ale structurilor înregistrate și ale profilului extras [28].

A fost propusă o metodă de măsurare a valorii fotoreacției unui material holografic din tabloul de difracție structurat [29]. În acest caz, efectul factorului de formă, care este prezent la înregistrarea hologramelor cu fascicule de intensitate neomogenă, de obicei gaussiană, duce la structurarea modelului de difracție, și anume la formarea de inele alternante întunecate și luminoase, așa cum se arată în Fig. 12. Factorul de formă este o funcție care descrie influența uniformității intensității fasciculului laser asupra eficienței de difracție a rețelelor holografice înregistrate.

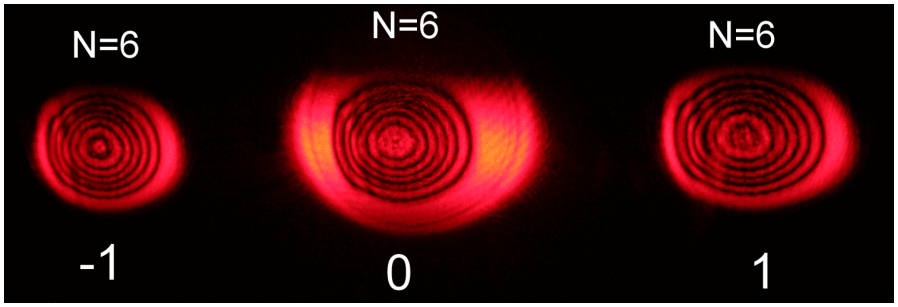


Fig. 12. Tabloul de difracție pentru maximele de ordinul zero și întâi cu inele observate în fiecare ordin (câte 6 inele) [29]

A fost determinată dependența numărului de inele din ordinele de difracție de modularea de fază a rețelei, ceea ce ne permite să calculăm valoarea fotoreacției mediului holografic din numărul de inele observat. Creșterea numărului de ordine de difracție luate în considerare pentru analiza fotoreacției de fază permite creșterea preciziei de măsurare de k ori, unde k este numărul de ordine de difracție de la $\lambda/2$ (π radiani) pentru un ordin de difracție la $\lambda/20$ ($\pi/10$ radiani) pentru 10 ordine, ceea ce este comparabil sau superior preciziei metodelor clasice [30].

Fig. 13 reprezintă dependența preciziei măsurătorilor de numărul de ordine k luate în calcul (de la 1 la 11) [30]. Se poate observa că, odată cu creșterea numărului de ordine de difracție, eroarea de măsurare, determinată de distanța dintre valorile vecine ale $\Delta\varphi$ măsurat prin suma valorilor nule (inele) în toate ordinele de difracție observate scade, crescând astfel precizia măsurătorii.

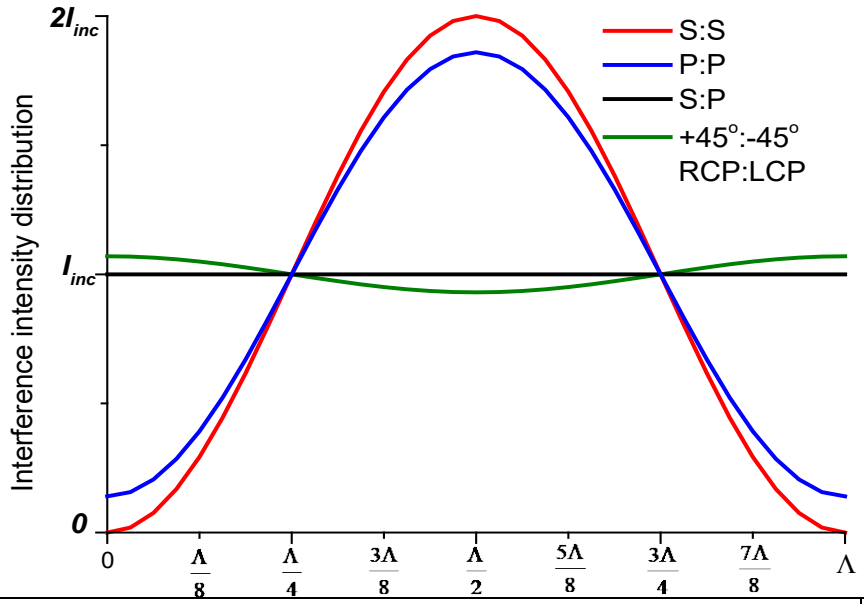
S-a constatat că, pentru hologramele gaussiene, eficiența maximă de difracție realizabilă este limitată de efectul factorului de formă atât în rețelele subțiri, cât și în cele groase [31].



Fig. 13. Dependența erorii de măsurare de numărul de ordine luate în calcul *k* (până la 11) [30].

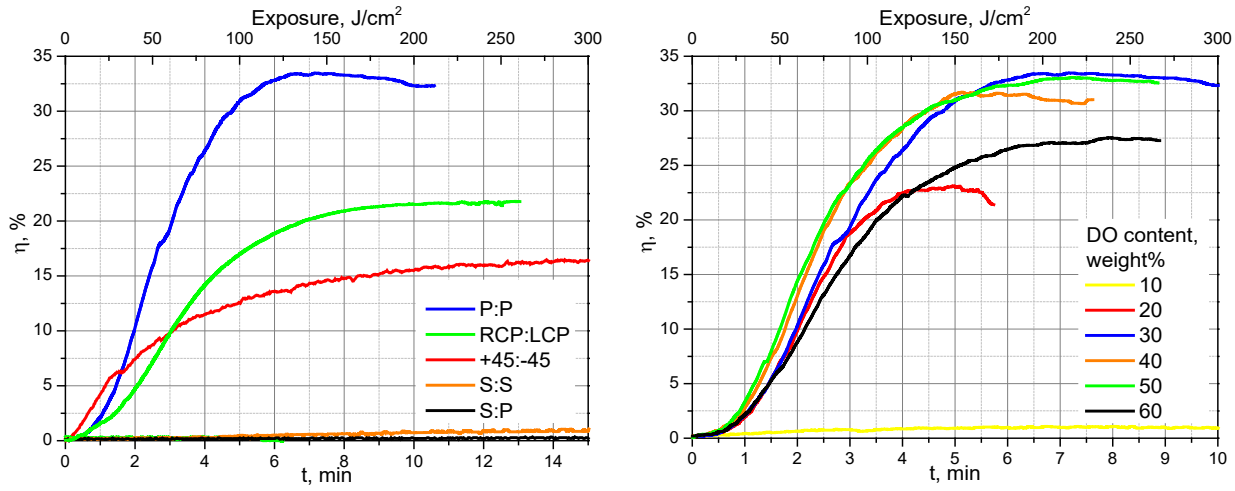
În **Capitolul IV "Procese foto-induse vectoriale în nanostructuri semiconductoare din sticle calcogenice și în filme subțiri de polimeri carbazolici"** sunt investigate schemele de înregistrare holografică în lumină polarizată, care duc la interacțiuni vectoriale ale radiației cu materialul. S-a efectuat calculul teoretic al modulației intensității și polarizării în cadrul unei perioade Λ=1 μm, precum și al contrastului în interferența fasciculelor cu polarizări S:S, P:P, S:P, +45º :-45º și RCP:LCP (Fig. 14) [32]. În cazul S:S și P:P, interferența razelor provoacă modularea maximală a amplitudinii intensității tabloului de interferență (K=100% în cazul polarizării S:S și K=86% în cazul polarizării P:P), în timp ce vectorul câmpului electric rezultant din tabloul de interferență își păstrează forma și direcția liniară. Pentru S:P nu există nicio modulare a intensității, iar vectorul câmpului electric rezultant ia periodic formele liniară, eliptică și circulară. Pentru cazul +45º:-45º și RCP:LCP, avem o mică modulare a intensității (de ordinul a 7%), iar polarizarea rezultantă devine liniară cu o direcție care se schimbă periodic.

S-a demonstrat că azopolimerul nou sintetizat PEPC-DO poate fi utilizat ca mediu de înregistrare pentru formarea directă a RD de suprafață cu ED ridicată. Rețelele holografice cu ED sporită de peste 30% au fost înregistrate în filme de azopolimer PEPC-DO prin metoda holografică în lumină polarizată. Au fost determinate valorile optime ale concentrația azocolorantului (30 % din masă) și a grosimii stratului (1600 nm), Fig. 15. Înregistrarea holografică în diferite configurații de polarizare (Fig. 15a) a arătat că polarizarea P:P oferă un ED maximal de aproximativ 33%. Fig. 15b reprezintă dependența eficienței de difracție pentru diferite concentrații de azocolorant în polimer.



											K, %
S S	S:S	•	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	•	100
P P	P:P	•	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	•	86
S P	S:P	↗	⬮	◯	⬮	↘	⬭	◯	⬭	↗	0
+45 -45	+45°:-45°	↔	⬭	◯	⬭	↕	⬮	◯	⬭	↔	7
RCP LCP	RCP:LCP	↔	↗	↗	↗	↕	↘	↘	↘	↔	7

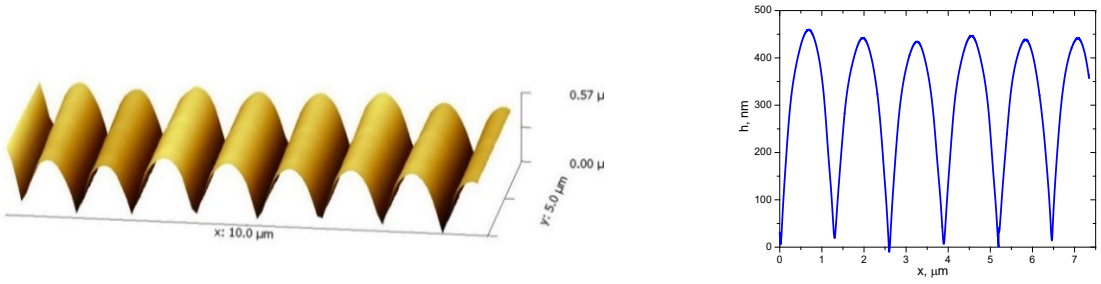
Fig. 14: Calculul teoretic al intensității vectorului câmpului electric în cadrul unei perioade Λ=1 μm a tabloului de interferență. K - contrastul de interferență [32].



a b

Fig. 15. Dependența eficienței de difracție de timpul de înregistrare pentru toate configurațiile de polarizare investigate (a) și pentru configurația de polarizare P:P la concentrații a azocolorantului de la 10 până la 60% de masă (b) [32].

Iradierea straturilor de azopolimer cu un singur fascicul la 473 nm în banda de absorbție a trans-izomerului, centrată la ~450 nm, provoacă o tranziție structurală cis-izomerică. Studiul prin microscopie de forță atomică (AFM) a profilurilor rețelelor (Fig. 16) a arătat că valoarea ED se datorează în principal modulației reliefului suprafeței, fapt confirmat de o bună concordanță între valorile ED, obținute experimental și calculate numeric.

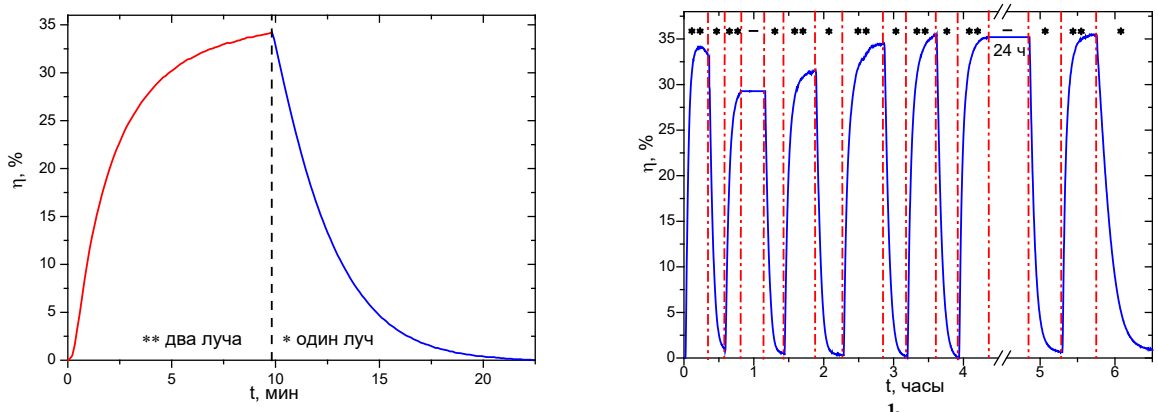


a b

Figura 16: Imaginea AFM (a) și secțiune transversală (b) a rețelei de suprafață, înregistrată pe stratul PEPC-DO
(grosimea 1600 nm, conținut de azocolorant 30% din masă) în configurația de polarizare P:P la o valoare a ED de 30% măsurată la 650 nm [32].

În lucrările comune [33,34], realizate pe baza filmelor de azopolimer sintetizat PEPC-DO, sunt prezentate rezultatele formării microstructurilor individuale, unde particularitățile formării anizotrope sunt explicate prin efectele de polarizare [35-39].

A fost investigată reversibilitatea formării directe a RD în relief în structuri multistrat As_2S_3-Se, utilizând înregistrarea holografică în lumină polarizată [40]. S-a demonstrat că iluminarea structurii multistrat As_2S_3-Se cu lumină actinică duce la fotoînalbire, spre deosebire de iluminarea filmului As_2S_3, și necesită o expunere mult mai mare (de 15 ori). În același timp, iradierea preventivă până la saturarea înălbirei fotostimulate nu afectează valoarea ED maximală realizabilă η=35%, dar expunerea necesară pentru a atinge valoarea maximală crește de la 2190 J/cm^2 la 2830 J/cm^2. S-a demonstrat, de asemenea, că expunerea cu un singur fascicul are ca rezultat ștergerea RD înregistrată până la valoarea maximală a ED, expunerea necesară pentru ștergere fiind jumătate din cea a expunerii de înregistrare. Zece cicluri de scriere-ștergere au arătat că înregistrarea holografică reversibilă în lumină polarizată circular ortogonală este posibilă pe structurile As_2S_3-Se. Fig. 17 reprezintă cinetica modificării ED a structurii multistrat As_2S_3-Se la expunerea holografică cu două fascicule polarizate LCP:RCP până la atingerea valorii maximale a ED (** - înscrierea RD; * - expunerea ulterioară cu un singur fascicul după stoparea celuilant, ce produce ștergerea RD.



a b

Fig. 17: Cinetica modificării ED în timpul expunerii holografice a structurii AsS_{23} -Se cu două fascicule cu polarizare LCP:RCP: (a) - până la atingerea valorii maximale (- înscrierea RD, * - ștergerea RD după stoparea unui fascicul, (b) - înscrierea și ștergerea ciclică a RD (7 cicluri). Segmentele "-" corespund stocării RD, atunci când ambele fascicule sunt stopate [40].**

Un studiu cu microscopul de forța atomică (AFM) al rețelelor înregistrate a confirmat concluzia că principalul factor care determină valoarea ED a rețelelor este modularea reliefului, care constituie până la 12% din grosimea stratului.

În lucrare sunt prezentate atât metode analogice, cât și digitale de înregistrare a EOD care formează fascicule de lumină singulare (vortexuri optice) cu diferite sarcini topologice având la bază holograme subțiri înregistrate în straturile de azopolimeri și în nanostructuri multistrat As_2S_3-Se, materiale elaborate în cadrul tezei [41,42]. Tablourile de interferență (rândul de jos) și difracție (rândul de sus) pentru diferite ordine (0,+1,+2), înregistrate în straturi de azopolimer PEPC-DO sunt prezentate în Fig. 18. Se poate observa că ordinul zero de difracție păstrează topologia fasciculului de referință (sarcina topologică l=0). În primul ordin de difracție se formează un vortex cu sarcina topologică l=1, în timp ce în al doilea ordin de difracție un vortex cu sarcina l=2.

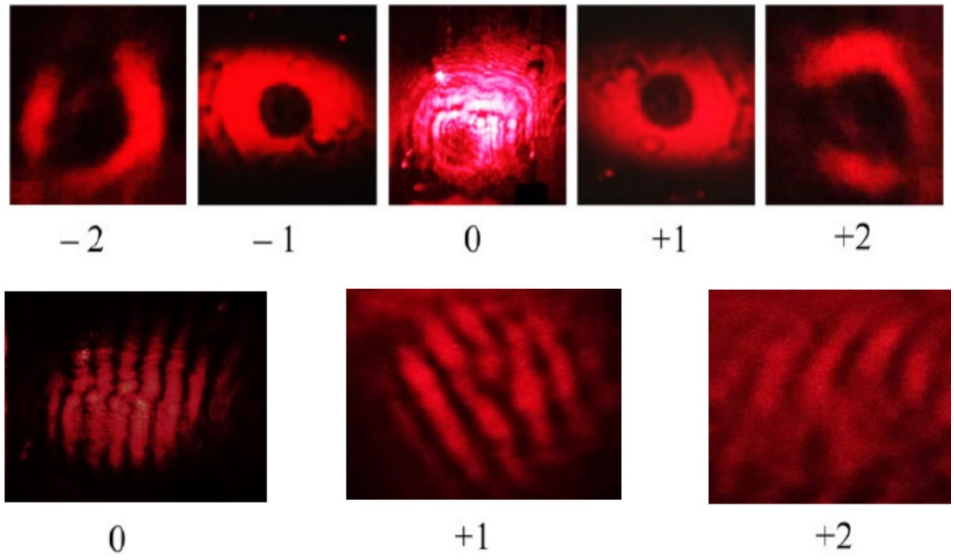


Fig. 18: Imaginile secțiunilor transversale ale fasciculelor de lumină în ordinele de difracție de la -2, până la +2 (rândul de sus) și rezultatele sumării interferometrice a ordinelor 0, +1 și +2 cu o undă plantă [42].

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

În cadrul acestei lucrări, au fost luate în considerație procesele scalare și vectoriale în nanostructuri multistrat bazate pe sticle calcogenice și în filme subțiri din polimeri carbazolici, care apar sub influența iradierii laser și a fasciculelor de electroni. În baza lor este posibilă crearea de elemente optice difractive multifuncționale. S-au formulat următoarele concluzii:

1. A fost dezvoltată o metodă de evaporare termică în vid, controlată de calculator, pentru crearea mediilor de înregistrare bazate pe structuri nanostrat de sticle calcogenice. Într-un singur ciclu tehnologic au fost obținute atât probe multistrat de Se, As_2S_3, $As_{37}S_{58}Ge_5$, $As_2S_3Mn_{2\%}$, $As_2S_3Cr_{4\%}$, cât și nanostructuri multistrat cu utilizarea acestor compuși și Se cu posibilitatea varierii grosimii fiecărui în limita a câțiva nanometri. Tehnologia permite depunerea de filme subțiri cu grosimi nanometrice ale monostratului de la 10 nm până la grosimea totală a probei de ~3,0 μm.
2. A fost sintetizată o serie de compuși cu conținut de carbazol (PEPC, T-PEPC) pe bază de N-epoxipropilcarbazol (EPC), la care s-au adăugat iodoform (până la 10% din masă), roșu metil și Disperse Orange (până la 50% din masă). Pentru a obține straturi subțiri de calitate optică din fotopolimerii sintetizați, au fost elaborate grafice tehnologice de formare a straturilor subțiri din soluții pe metoda spin-coating la instalația SCS Spincoat G3P.
3. S-a demonstrat că la înregistrarea holografică scalară în filme subțiri de SC, rețelele obținute sunt de amplitudine, cauzate de modificări fotoinduse ale coeficientului de absorbție și ale indicelui de refracție în volumul materialului. În straturile subțiri din fotopolimeri, înregistrarea holografică scalară duce la formarea de RD de amplitudine în volumul materialului. Pentru obținerea reliefului de suprafață este necesară corodarea chimică ulterioară a materialului.
4. S-a arătat că atât la iradierea cu fascicul de electroni (tip raster și grafic) a structurii multistrat SC-Se, cât și a straturilor subțiri de fotopolimeri, se formează RD de amplitudine-fază datorită formării perechilor de electroni-goluri în volumul probelor și a creșterii volumului materialului datorită energiei și adâncimii mari de penetrare a fasciculului de electroni în material. S-a demonstrat o bună concordanță între modelele de difracție calculate și cele observate experimental.

5. S-a confirmat experimental manifestarea factorului de formă în determinarea domeniului dinamic al fotoreacției în studiul mediilor de înregistrare bazate pe structura multistrat a SC-Se și în straturi de azopolimeri, ale căror valori au fost confirmate prin microscopia de forță atomică.
6. S-a propus o metodă de măsurare a valorii fotoreacției unui material holografic din tabloul de difracție structurat. S-a demonstrat că înregistrarea hologramei cu ajutorul unor fascicule de intensitate neomogenă duce la formarea structurată a tabloului de difracție. În cazul hologramelor gaussiene, ED maximal realizabilă este limitată de factorul de formă, care este inerent atât pentru rețelele subțiri, cât și pentru rețelele groase.
7. S-a demonstrat că atât metodele analogice, cât și cele digitale de înregistrare holografică a polarizării, care formează fascicule de lumină singulare (vortexuri optice) cu sarcini topologice diferite, permit crearea de EOD multifuncționale în mediile de înregistrare dezvoltate.

Având în vedere constatările de mai sus, se pot face următoarele recomandări:

- Pentru a rezolva problemele de formare și prelucrare a fasciculelor de lumină de o structură spațială dată și de prelucrare optică a informației în timp real, sunt necesare medii cu sensibilitate luminoasă și polarizațională sporită, viteză sporită de înregistrare și citire a informației. Studiile extinse privind influența nanostructurării și a anizotropiei fotoinduse în nanostructurile multistrat de sticle calcogenice și straturile subțiri de azopolimeri asupra formării topografiei suprafeței și a modificărilor indicelui de refracție vor contribui la o mai bună înțelegere a interacțiunilor lumină-materie.
- Prin propagarea fasciculelor laser în EOD dezvoltate, profilul fasciculului poate fi controlat în mod flexibil și, dacă este necesar, modificat pentru a satisface cerințele aplicațiilor. Deși în ultimii ani s-au înregistrat progrese semnificative în dezvoltarea și punerea în aplicare a EOD, extinderea funcționalității lor rămâne o problemă actuală.

BIBLIOGRAFIE

1. NAIR, R.V., WANG, F., YANG, X., JAGADISH, C. Photonic materials: from fundamentals to applications. In: *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, 2022, 231, 583–587. https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00541-6
2. NIKOLOVA, L., RAMANUJAM, P.S., Polarization Holography (Cambridge Univ. Press, 2009).
3. EGGLETON, B., LUTHER-DAVIES, B., RICHARDSON, K. Chalcogenide photonics. In: *Nature Photon*., 2011, 5, 141–148. https://doi.org/10.1038/nphoton.2011.309
4. SHIMAKAWA, K., KOLOBOV A., ELLIOTT, S.R. Photoinduced effects and metastability in amorphous semiconductors and insulators, In: *Advances in Physics*, 1995, 44:6, 475-588, https://doi.org/10.1080/00018739500101576
5. VIJAYAKUMAR, A., BHATTACHARYA, S., Design of multifunctional diffractive optical elements, In: *Opt. Eng*. 2015, 54(2) 024104 https://doi.org/10.1117/1.OE.54.2.024104
6. STRONSKI, A., ACHIMOVA, E., PAIUK, O., **MESHALKIN, A.**, ABASHKIN, V., LYTVYN, O., SERGEEV, S., PRISAKAR, A., TRIDUH, G. Holographic and e-Beam Image Recording in Ge5As37S58–Se Nanomultilayer Structures. In: *Nanoscale Research Letters*, 2016, vol. 11, pp. 1-7. ISSN 1931-7573. https://doi.org/10.1186/s11671-016-1235-x
7. ANDRIES, A., ABASKIN, V., ACHIMOVA, E., **MESHALKIN, A.,** PRISACAR, A., SERGHEEV, S., ROBU, S. VLAD, L. Application of carbazole-containing polymer materials as recording media. In: *Phys. Status Solidi A*, 2011, 208: 1837-1840. https://doi.org/10.1002/pssa.201084040
8. **MESHALKIN, A.,** ROBU, S., ACHIMOVA, E., PRISACAR, A., SHEPEL, D., ABASHKIN, V., TRIDUH, G. Direct photoinduced surface relief formation in carbazole-based azopolymer using polarization holographic recording. In: *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, 2016, 18, 763-768. ISSN 1454-4164.
9. LOSHMANSCHII, C., ACHIMOVA, E., ABASKIN, V., BOTNARI, V., **MESHALKIN, A.** Photoinduced Anisotropy in Azopolymer Studied by Spectroscopic and Polarimetric Parameters. In: *IFMBE Proceedings: 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering*, Ed. 5, 3-5 noiembrie 2021, Chişinău. Chişinău: Pontos, 2022, Ediția 5, Vol.87, pp. 314-321. ISSN 16800737.
10. LUKYANOV, A., GOLDEN, J.C., LUBCHENKO, V. Structural origin of the midgap electronic states and the Urbach tail in pnictogen-chalcogenide glasses, In: T*he Journal of Physical Chemistry B* 2018 122 (33), 8082-8097, DOI: 10.1021/acs.jpcb.8b05204
11. **MESHALKIN, A.,** PAIUK, O., AKIMOVA, E., STRONSKI, A. Transmission spectra modeling for nanomultilayer chalcogenide thin films. In: *Proceedings of SPIE*, 2018, Vol.10977, pp. 1-8. ISSN 0277786X. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2324795
12. KOSEK, F., TAUC, J. The absorption edge of amorphous As_2S_3. In: Czech J Phys, 1970, 20, 94–100. https://doi.org/10.1007/BF01698111
13. TANAKA, K. Have we understood the optical absorption edge in chalcogenide glasses?, In: *J. NON-CRYST SOLIDS*, 2016, 431, 21-24. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2015.03.006
14. TANAKA, K., SHIMAKAWA, K. Amorphous Chalcogenide Semiconductors and Related Materials, 2nd edn. (Springer, New York, 2021), pp.67–97.
15. STRONSKI, A.V., VLCEK, M., TOLMACHOV, I.D., PRIBYLOVA, H. Optical characterization of As-Ge-S thin films, In: *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, 2009, 11(11), 1581-1585.

16. TOLMACHEV, I.D., STRONSKI, A.V. Linear and nonlinear optical properties of Ge-As-S films, In: *Proc. SPIE*, 2008.vol. 7138.
17. TAKATS, V., NEMEC, P., MILLER, A.C., JAIN, H., KOKENYESI, S. Surface patterning on amorphous chalcogenide nanomultilayers. In: *Optical Materials*, 2010, 32, 677–679.
18. PRIIMAGI, A., SHEVCHENKO, A. Azopolymer-Based Micro- and Nanopatterning for Photonic Applications, In: *J. Polymer Science, part B: Polymer Physic*s, 2013, 01–20.
19. KRYSHENIK, V.M., AZHNIUK, Y.M., KOVTUNENKO, V.S. All-optical patterning in azobenzene polymers and amorphous chalcogenides, In: *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2019, 512, 112-131. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2019.02.019
20. LAGUGNE LABARTHET, F.; BUFFETEAU, T.; SOURISSEAU, C. Analyses of the diffraction efficiencies, birefringence, and surface relief gratings on azobenzene-containing polymer films. In: *J. Phys. Chem. B*, 1998, 102, 2654-2662. DOI: 10.1021/jp980050e
21. SHOYDIN S. A., **MESHALKIN A. YU.**, KOVALEV M. S., Formfactor of a hologram on a chalcogenide glassy semiconductor and azopolymer, In: *Opt. Mater. Express* 2020, 10, 1819-1825. https://doi.org/10.1364/OME.399017
22. Leith, E.N., Upatnieks, J. New techniques in wavefront reconstruction, In: *Journal of the Optical Society of America*, 1961, 51, 1469.
23. ROLING C., THIESEN P., **MESHALKIN A.**, ACHIMOVA E., ABASHKIN V., PRISACAR A., TRIDUH G., Imaging ellipsometry mapping of photo-induced refractive index in As2S3 films, In: J*ournal of Non-Crystalline Solids*, 2013, 365, 93-98. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2013.01.037
24. ANDRIES, A., BIVOL, V., PRISACAR, A., SERGHEEV, S., **MESHALKIN, A.,** ROBU, S., BARBA, N., SIRBU, N. Laser and electron induced structuring of thin films on the base of carbazolyl-containing polymers and polymer-ChNs compositions. In: *J Optoelectron Adv Mater.* 2005; 7, 1169–1178.
25 BIVOL, V.V., ROBU, S.V., PRISACARI, A.M., **MESHALKIN, A.YU.,** VLAD, L.A., KARAMAN, M.I. Study of sensitometric and holographic properties of photoresist media based on carbazole-containing polymers sensitized with triiodomethane and pyran photochromic materials. In: *High Energy Chem.* 2006, 40, 178–181. https://doi.org/10.1134/S001814390603009X
26. ANDRIESH, A.M., SERGHEEV, S., TRIDUH, G., **MESHALKIN, A.Y.** Diffraction optical structures on the basis of chalcogenide glasses and polymers.In *J Optoelectron Adv Mater.*, 2007, 9, 3007-3012.
27. АКИМОВА, Е.А., СТРОНСКИЙ, А.В., ПАЮК, А.П., **МЕШАЛКИН, А.Ю.,** БОЯРИНОВ, Ю.Ю., ПРИСАКАРЬ, А.М., РОБУ, С.В., и др. Запись голограммных дифракционных решеток на карбазолсодержащих тонких полимерных пленках, В: *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника,* 2014, 49, 31-35.
28. STRONSKI, A. ACHIMOVA, E., PAIUK, O. **MESHALKIN, A.,** ABASHKIN, V., LYTVYN, O., SERGEEV, S., PRISAKAR, A., OLEKSENKO, P.., TRIDUH, G. Optical and electron-beam recording of surface relief's using Ge5As37S58-Se nanomultilayers as registering media. In: *Journal of Nano Research*, 2016, nr. 39, pp. 96-104. DOI: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JNanoR.39.96
29. **МЕШАЛКИН А.Ю.,** ШОЙДИН С.А., Дифракционный способ измерения динамического диапазона фотоотклика голографического фазового материала, В: *Тезисы докладов XVII международной конференции по голографии и прикладным*

оптическим технологиям (HOLOEXPO 2020), Москва, Россия, 8-9 сентября 2020), 2020, 235-245. ISBN 978-5-7038-5516-4.
30. **МЕШАЛКИН, А. Ю.**, ШОЙДИН С. А. Актуальные исследования кинетики записи голограмм с использованием формфактора. В: *Тезисы докладов XIX Международной конференции по голографии и прикладным оптическим технологиям (HOLOEXPO 2022, Санкт-Петербург, Россия, 20–22 сентября 2022)*, 2022, 306–312. ISBN 978-5-00202-182-6
31. **MESHALKIN A.YU.,** SHOYDIN S.A. Diffraction efficiency and form factor effect of holograms. In: *J. Opt. Technol.* 2023, 90, 254-261. https://doi.org/10.1364/JOT.90.000254
32. **MESHALKIN, A.;** LOSMANSCHII, C.; PRISACAR, A.; ACHIMOVA, E.; ABASHKIN, V.; POGREBNOI, S.; MACAEV, F. Carbazole-based azopolymers as media for polarization holographic recording. In: *Advanced Physical Research*. 2019, 1 (2), 86-98. ISSN: 2663-8436.
33. PODLIPNOV, V., IVLIEV, N., KHONINA, S., NESTERENKO, D., **MESHALKIN, A.,** ACHIMOVA, E. Formation of microstructures on the surface of a carbazole-containing azopolymer by the action of laser beams. In: *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, nr. 2(1368), pp. 1-7. ISSN 1742-6588. DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/1368/2/022069
34. PODLIPNOV, V., IVLIEV, N., KHONINA, S., NESTERENKO, D., LOSHMANSCHII, C., **MESHALKIN, A.,** ACHIMOVA, E., ABASKIN, V. Nonlinear effects in photoinduced nanomovement of carbazole-based azo-polymers. In: *Proceedings of SPIE*, 2019, Ediția 16, Vol.11146, p. 0. ISBN 978-151062989-9. https://doi.org/10.1117/12.2527431
35. KHONINA, S.N., GOLUB I. Optimization of focusing of linearly polarized light, In: *Optics Letters*, 2011, 36(3), 352-354. DOI: 10.1364/OL.36.000352.
36. KHONINA, S.N., GOLUB I. Time behavior of focused vector beams. In: *Journal of the Optical Society of America A*., 2016, 33(10), 1948-1954. DOI: 10.1364/JOSAA.33.001948.
37. SEKKAT, Z., KAWATA, S. Laser nanofabrication in photoresists and azopolymers. In: *Laser & Photonics Reviews*, 2014, 8(1), 1-26.
38. ISHITOBI, H., TANABE, M., SEKKAT, Z., KAWATA S. The anisotropic nanomovement of azo-polymers. In: *Optics Express*, 2007, 15(2), 652-659.
39. KHONINA, S.N., KARPEEV, S.V., ALFEROV, S.V., SAVELYEV, D.A., et al. Experimental demonstration of the generation of the longitudinal E-field component on the optical axis with high-numerical-aperture binary axicons illuminated by linearly and circularly polarized beams, In: *Journal of Optics*, 2013, 15(8), 085704. DOI: 10.1088/2040-8978/15/8/085704.
40. **MESHALKIN, A.Y.** Reversible polarization recording in As_2S_3–Se multilayer nanostructures. In: *Surf. Engin. Appl. Electrochem*., 2018, 54, 407–414. https://doi.org/10.3103/S1068375518040129
41. CAZAC, V., ACHIMOVA, E., ABASHKIN, V., PRISAKAR, A., LOSHMANSKY, C., **MESHALKIN, A.,** EGIAZARIAN, K. Polarization holographic recording of vortex diffractive optical elements on azopolymer thin films and 3D analysis via phase-shifting digital holographic microscopy. In: *Optics Express*, 2021, 6(29), 9217-9230. ISSN 1094-4087. https://doi.org/10.1364/OE.415639
42. MELNIKOVA, E., GORBACH, D., RUSHNOVA, I., KABANOVA, O., SLUSARENKO, S., TOLSTIK, A., LOSMANSCHII, C., **MESHALKIN, A.,** AKIMOVA, E. Optical vortices

generation by azopolymeric relief gratings. In: *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*, 2021, 2(24), 104-111. DOI: https://doi.org/10.33581/1561-4085-2021-24-2-104-1

LISTA LUCRĂRILOR ȘTIINȚIFICE ALE AUTORULUI LA TEMA TEZEI

1. **MESHALKIN A.YU.,** SHOYDIN S.A. Diffraction efficiency and form factor effect of holograms. In: *J. Opt. Technol.* 2023, 90, 254-261. https://doi.org/10.1364/JOT.90.000254
2. CAZAC, V., ACHIMOVA, E., ABASHKIN, V., PRISAKAR, A., LOSHMANSKY, C., **MESHALKIN, A.,** EGIAZARIAN, K. Polarization holographic recording of vortex diffractive optical elements on azopolymer thin films and 3D analysis via phase-shifting digital holographic microscopy. In: *Optics Express*, 2021, nr. 6(29), pp. 9217-9230. ISSN 1094-4087. https://doi.org/10.1364/OE.415639
3. SHOYDIN S. A., **MESHALKIN A. YU.,** KOVALEV M. S., Formfactor of a hologram on a chalcogenide glassy semiconductor and azopolymer, In: *Opt. Mater. Express* 2020, 10, 1819-1825. https://doi.org/10.1364/OME.399017
4. SERGEEV, S., IOVU, M., **MESHALKIN, A.** Superimposed equally oriented diffraction gratings formed in As2S3 films. In: *Chalcogenide Letters*, 2020, nr. 1(17), pp. 25-31. ISSN 1584-8663. https://chalcogen.ro/25_SergeevSA.pdf
5. **MESHALKIN, A.Y.** Reversible Polarization Recording in As2S3–Se Multilayer Nanostructures. In: *Surf. Engin. Appl. Electrochem*. 54, 407–414 (2018). https://doi.org/10.3103/S1068375518040129
6. CAZAC, V., **MESHALKIN, A.,** ACHIMOVA, E., ABASHKIN, V., KATKOVNIK, V., SHEVKUNOV, I., CLAUS, D., GIANCARLO, P. Surface relief and refractive index gratings patterned in chalcogenide glasses and studied by off-axis digital holography. In: *Applied Optics*, 2018, nr. 3(57), pp. 507-513. ISSN 1559-128X. https://doi.org/10.1364/AO.57.000507
7. STRONSKI, A., ACHIMOVA, E., PAIUK, O., **MESHALKIN, A.,** PRISAKAR, A., TRIDUKH, G., OLEKSENKO, P., LYTVYN, P. Direct Magnetic Relief Recording Using As40S60: Mn–Se Nanocomposite Multilayer Structures. In: *Nanoscale Research Letters*, 2017, vol. 12, p. 0. ISSN 1931-7573. https://doi.org/10.1186/s11671-017-2060-6
8. **MESHALKIN, A.,** ROBU, S., ACHIMOVA, E., PRISACAR, A., SHEPEL, D., ABASHKIN, V., TRIDUH, G. Direct photoinduced surface relief formation in carbazole-based azopolymer using polarization holographic recording. In: *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 2016, vol. 18, pp. 763-768. ISSN 1454-4164.
9. STRONSKI, A., ACHIMOVA, E., PAIUK, O., **MESHALKIN, A.**, ABASHKIN, V., LYTVYN, O., SERGEEV, S., PRISAKAR, A., TRIDUH, G. Holographic and e-Beam Image Recording in Ge5As37S58–Se Nanomultilayer Structures. In: *Nanoscale Research Letters*, 2016, vol. 11, pp. 1-7. ISSN 1931-7573. https://doi.org/10.1186/s11671-016-1235-x
10. STRONSKI, A. ACHIMOVA, E., PAIUK, O. **MESHALKIN, A.,** ABASHKIN, V., LYTVYN, O., SERGEEV, S., PRISAKAR, A., OLEKSENKO, P.., TRIDUH, G. Optical and electron-beam recording of surface relief's using Ge5As37S58-Se nanomultilayers as registering media. In: *Journal of Nano Research*, 2016, nr. 39, pp. 96-104. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JNanoR.39.96
11. ACHIMOVA, E., STRONSKI, A., ABASHKIN, V., **MESHALKIN,** A., PAIUK, O., PRISAKAR, A., OLEKSENKO, P., TRIDUH, G.. Direct surface relief formation on As2S3-Se nanomultilayers in dependence on polarization states of recording beams. In: *Optical*

Materials, 2015, vol. 47, pp. 566-572. ISSN 0925-3467. https://doi.org/10.1016/j.optmat.2015.06.044
12. STRONSKI, A., ACHIMOVA, E., PAIUK, A., ABASKIN, V., **MESHALKIN, A.,** PRISACAR, A., TRIDUH, G., LYTVYN, O., Surface relief formation in $Ge_5As_{37}S_{58}$-Se nanomultilayers, In: *Journal of Non-Crystalline Solids,* 2015, 409, 43-48. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2014.11.010
13. ROLING, C., THIESEN, P., **MESHALKIN A.,** ACHIMOVA, E., ABASHKIN, V., PRISACAR, A., TRIDUH, G. Imaging ellipsometry mapping of photo-induced refractive index in As2S3 films, In: *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2013, 365, 93-98. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2013.01.037
14. ANDRIES, A., ABASKIN, V., ACHIMOVA, E., **MESHALKIN, A.,** PRISACAR, A., SERGHEEV, S., ROBU, S., VLAD, L. Application of carbazole-containing polymer materials as recording media. In: *Phys. Status Solidi A*, 2011, 208: 1837-1840. https://doi.org/10.1002/pssa.201084040
15. 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. In: *Physics and Chemistry of Solid State*, 2023, vol. 24, nr. 1, pp. 197-201. ISSN 1729-4428. https://doi.org/10.15330/pcss.24.1.197-201
16. **MESHALKIN, A.;** LOSMANSCHII, C.; PRISACAR, A.; ACHIMOVA, E.; ABASHKIN, V.; POGREBNOI, S.; MACAEV, F. Carbazole-based azopolymers as media for polarization holographic recording. In: *Advanced Physical Research*. 2019, 1 (2), 86-98. ISSN: 2663-8436. http://jomardpublishing.com/UploadFiles/Files/journals/APR/V1N2/Meshalkin et al.pdf
17. АКИМОВА, Е.А., СТРОНСКИЙ, А.В., ПАЮК, А.П., **МЕШАЛКИН, А.Ю.,** БОЯРИНОВ, Ю.Ю., ПРИСАКАРЬ, А.М., РОБУ, С.В., ОЛЕКСЕНКО, П.Ф,. ЛИТВИН. О.С. Запись голограммных дифракционных решеток на карбазолсодержащих тонких полимерных пленках, В: Оптоэлектроника и полупроводниковая техника, 2014, 49, 31-35. http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/108921
18. СЕРГЕЕВ, С., **МЕШАЛКИН, А.Ю.,** ЙОВУ, М.. Дифракционные структуры, сформированные двумя скрещенными наложенными дифракционными решетками. In: *Электронная обработка материалов*, 2020, 6(56), 51-60. ISSN 0013-5739. https://doi.org/10.5281/zenodo.4299754
19. ABASHKIN, V. ACHIMOVA, E., **MESHALKIN, A.,** PRISAKAR, A., TRIDUH, G., VLCEK, M., LOGHINA, L., VOYNAROVYCH, I.. Investigation of Structural Features of As2S3-Se Multilayer Nanostructure by Raman Spectroscopy. In: *Электронная обработка материалов*, 2016, 4(52), 67-73. ISSN 0013-5739. https://eom.ifa.md/ru/journal/shortview/1464
20. **МЕШАЛКИН, А.,** АНДРИЕШ, И., АБАШКИН, В., ПРИСАКАР, А., ТРИДУХ, Г., АКИМОВА, Е., ЕНАКИ, М. Цифровой метод измерения толщины нанометровых пленок на базе микроинтерферометра МИИ-4. In: *Электронная обработка материалов*, 2012, 6(48), 114-118. ISSN 0013-5739. https://eom.ifa.md/m/journal/download/339
21. **MESHALKIN, A.,** PRISACAR, A., TRIDUH, G., ABASKIN, V., ACHIMOVA, E., TINTARU; N. In situ study of chalcogenide thin films growth during vacuum thermal evaporation. In: *AIP Conf. Proc.* 2023; 2803 (1): 040001. https://doi.org/10.1063/5.0143711
22. **MESHALKIN, A.Y.,** PODLIPNOV, V.V., USTINOV, A.V., ACHIMOVA, E.A. Analysis of diffraction efficiency of phase gratings in dependence of duty cycle and depth. In: *Journal of*

Physics: Conference Series, 2019, 1368, 022047. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1368/2/022047

23. **MESHALKIN, A.,** PAIUK, O., ACHIMOVA, E., STRONSKI, A. Transmission spectra modeling for nanomultilayer chalcogenide thin films. In: *Proceedings of SPIE*, 2018, Ediția 9, Vol.10977, pp. 1-8. ISSN 0277786X. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2324795
24. **МЕШАЛКИН, А.Ю.**, ШОЙДИН С. А. Актуальные исследования кинетики записи голограмм с использованием формфактора. In: *Тезисы докладов XIX Международной конференции по голографии и прикладным оптическим технологиям (HOLOEXPO 2022*, Санкт-Петербург, Россия, 20–22 сентября 2022)), сс. 306–312. ISBN 978-5-00202-182-6
25. PAIUK, O.; **MESHALKIN, A.;** STRONSKI, A.; ACHIMOVA, E.; LOSMANSCHII, K.; KORCHOVYI, A.; DENISOVA, Z.; GORONESKUL, V.; OLEKSENKO, P. Direct Surface Patterning Using Carbazole-Based Azopolymer. În: *IFMBE Proceedings 87, 2022. 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering*, November 3–5, 2021, Chisinau, Moldova, p. 117—123. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_16
26. LOSHMANSCHII, C., ACHIMOVA, E., ABASKIN, V., BOTNARI, V., **MESHALKIN, A.** Photoinduced Anisotropy in Azopolymer Studied by Spectroscopic and Polarimetric Parameters. In: *IFMBE Proceedings: 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering,* Ed. 5, 3-5 noiembrie 2021, Chișinău. Chișinău: Pontos, 2022, Ediția 5, Vol.87, pp. 314-321. ISSN 16800737. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_42
27. **MESHALKIN, A.** Development of computer model of the diffraction on transmission phase and amplitude gratings with arbitrary profile. In: *Materials Science and Condensed Matter Physics*, Ed. 9, 25-28 septembrie 2018, Chișinău, Republica Moldova: Institutul de Fizică Aplicată, 2018, Ediția 9, p. 295.
28. ШОЙДИН С.А., **МЕШАЛКИН А.Ю.** Способ экспресс анализа величины динамического диапазона фотоотклика фазового голографического материала. Патент RU2734093C1, МПК G03H 1/00, G01M 11/00; заявл. 07.04.2020; опубл. 12.10.2020, Бюл. № 29.

ADNOTARE

Alexei MEŞALCHIN „Procese foto- şi electron-induse în structuri subţiri din polimeri carbazolici şi sticle calcogenice". Teza de doctor în ştiinţe fizice, Chişinău, Republica Moldova, 2025.

Structura tezei. Teza constă din introducere, 4 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie ce include 221 de titluri, 130 de pagini de text de bază, 104 de figuri, 9 tabele. Rezultatele cercetărilor efectuate sunt expuse în 28 de lucrări științifice.

Cuvinte cheie: sticle calcogenice, azopolimer, nanostructuri, înregistrare holografică scalară și vectorială, eficiență de difracție, relief de suprafață.

Scopul lucrării: studiul proceselor foto- și electron-induse care au loc în nanostructurile multistrat pe bază de sticle calcogenice și în straturi subțiri pe bază de polimeri carbazolici pentru crearea elementelor optice de difracție (EOD) multifuncționale.

Obiectivele cercetării: Elaborarea și dezvoltarea de medii de înregistrare bazate pe nanostructuri multistrat din sticle calcogenice și straturi subțiri de polimeri carbazolici pentru înregistrarea EOD; studierea fenomenelor fotoinduse scalare și vectoriale în nanostructuri multistrat din sticle calcogenice și straturi subțiri de polimeri carbazolici; studierea aplicabilității fenomenelor fotoinduse scalare și vectoriale pentru înregistrarea EOD multifuncționale.

Noutatea şi originalitatea ştiinţifică a rezultatelor obţinute

A fost dezvoltată tehnologia de obținere a mediului nanostructurat multistrat pe bază de sticle calcogenice. A fost obținut un nou purtător fotopolimeric sub forma unui film subțire de PEPC-DO. S-a demonstrat că ambii purtători dezvoltați sunt medii eficiente atât pentru înregistrarea holografică scalară, cât și pentru cea vectorială. Se propune o metodă de măsurare a valorii de fotoreacție a materialului holografic dintr-un model de difracție structurat.

Problema științifică soluționată constă în stabilirea rolului proceselor de înregistrare fotoindusă scalară și vectorială a EOD multifuncționale în purtători nanostructurați multistrat pe bază de sticle calcogenice și straturi subțiri de azopolimeri PEPC-DO..

Semnificația teoretică a lucrării constă în elucidarea proceselor fizice de interacțiune a materialelor cu radiațiile optice și cu fascicule de electroni. Se studiază mecanismul interacțiunii scalare și vectoriale a luminii cu materialul.

Valoarea aplicată a lucrării. Au fost obținute EOD pentru formarea de vortexuri optice cu eficiență ridicată de difracție și fascicule de lumină cu o anumită structură spațială. Metoda de înregistrare holografică prin polarizare, în care se formează fascicule de lumină singulare cu sarcini topologice diferite, face posibilă crearea de EOD multifuncționale pe mediile de înregistrare dezvoltate.

Implementarea rezultatelor științifice: Metoda patentată de analiză prin difracție a fotoreacției de fază a materialelor fotosensibile poate fi aplicată la toate celelalte materiale noi și a găsit aplicare în activitățile de cercetare ale Laboratorului de Materiale pentru Fotovoltaică și Fotonică al Institutului de Fizică Aplicată.

АННОТАЦИЯ

МЕШАЛКИН Алексей Юрьевич „Фото- и электронно-стимулированные процессы в тонкопленочных структурах карбазол-содержащих полимеров и халькогенидных стекол”, Диссертация на соискание ученой степени доктора физических наук Кишинев, Республика Молдова, 2025 год.

Структура диссертации: диссертация включает введение, 4 главы, общие выводы и рекомендации, библиографию из 221 наименований, 130 страниц основного текста, 104 рисунков, 9 таблиц. Результаты опубликованы в 28 научных публикациях.

Ключевые слова: халькогенидные стекла, азополимер, наноструктуры, голографическая скалярная и векторная запись, дифракционная эффективность, поверхностный рельеф.

Цель работы: исследование роли скалярных и векторных процессов, возникающих в многослойных наноструктурах на основе халькогенидных стекол и в тонких пленках на основе карбазольных полимеров под воздействием фото- и электронного облучения, в создании многофункциональных дифракционных оптических элементов.

Задачи исследования: разработка и создание носителей записи на основе многослойных наноструктур (МНС) из халькогенидных стекол (ХС) и тонкопленочных карбазолсодержащих полимеров (ТКП) для записи ДОЭ; исследование скалярных и векторных фотоиндуцированных явлений в МНС ХС и ТКП; исследование применимости скалярных и векторных фотоиндуцированных явлений в МНС ХС и ТКП для регистрации многофункциональных ДОЭ.

Научная новизна и оригинальность полученных результатов.

Разработана технология получения многослойного наноструктурированного носителя на основе ХС. Получен новый азополимерный тонкопленочный носитель ПЭПК-ДО. Показано, что оба разработанных носителя являются эффективными средами, как для скалярной, так и векторной голографической записи. Предложен метод измерения величины фотоотклика голографического материала по структурированной дифракционной картине.

Основная научная задача, решенная в диссертации, заключается в установлении роли скалярных и векторных фотоиндуцированных процессов записи многофункциональных ДОЭ на многослойных наноструктурированных носителях на основе ХС и тонкопленочных азополимерах ПЭПК-ДО.

Теоретическая значимость работы состоит в выяснении физических процессов взаимодействия материалов с оптическим и электронно-лучевым излучением. Исследован механизм скалярного и векторного взаимодействия света с материалом.

Прикладная значимость работы. Были получены ДОЭ для формирования оптических вихрей в высокой ДЭ и световых пучков заданной пространственной структуры. Метод поляризационной голографической записи, при котором формируются сингулярные световые пучки с различными топологическими зарядами, позволяет создавать многофункциональные ДОЭ на разрабатываемых регистрирующих средах.

Внедрение научных результатов. Запатентованный метод дифракционного анализа величины фазового фотоотклика фоточувствительлных материалов нашел применение в научно-исследовательской деятельности Лаборатории материалов для фотовольтаики и фотоники Института прикладной физики.

SUMMARY

MEŞALCHIN Alexei „Photo- and electron-stimulated processes in thin-film structures of carbazole-containing polymers and chalcogenide glasses". Thesis for the degree of Doctor of Physics Sciences. Chisinau, Republic of Moldova, 2025.

Thesis contents: the thesis includes an introduction, 4 chapters, general conclusions and recommendations, a list of references of 221 titles, 130 pages of the main text, 104 figures, 9 tables. The results are published in 28 scientific papers.

Keywords: chalcogenide glasses, azopolymer, nanostructures, scalar and vector holographic recording, diffraction efficiency, surface relief.

The goal of the thesis: study of the role of scalar and vector processes that arise in multilayer nanostructures based on chalcogenide glasses and in thin films based on carbazole polymers under the influence of photo- and electron irradiation, in the creation of multifunctional diffractive optical elements.

The research objectives: research and development of recording media based on nanomultilayer (NML) structures based of chalcogenide glasses (CG) and thin-film carbazole-containing polymers (TCP) for recording DOE; study of scalar photoinduced phenomena in NMS CS and TCH; study of vector photoinduced phenomena in NMS CS and TCH; study of the applicability of scalar and vector photoinduced phenomena in NMS CS and TCP for recording multifunctional DOEs.

The novelty and the scientific originality of the work. A technology for advancing a multilayer nanostructured carrier based on CG has been developed. A new azopolymer thin film carrier PEPC-DO has been obtained. It is shown that both developed carriers are effective media for scalar and vector holographic recording. The manifestation of the form factor in determining the dynamic range of photoresponse in the study of the investigated recording media has been experimentally confirmed and a method of measuring the photoresponse value of holographic material by using a structured diffraction pattern has been proposed.

The main scientific problem solved in the thesis consists in the establishment the role of scalar and vector photoinduced recording processes of multifunctional DOEs on multilayer nanostructured carriers based on CG and thin-film azopolymers PEPK-DO.

The theoretical significance of the thesis consists in clarifying the physical processes of interaction of materials with optical and electron beam radiation. The mechanism of scalar and vector interaction of light with material was studied.

Applicative value of the dissertation. DOEs for the formation of optical vortices with high DE and light beams of a given spatial structure were elaborated. The method of polarization holographic recording, in which singular light beams with different topological charges are formed, makes it possible to create multifunctional DOEs using the recording media being developed.

Implementation of the scientific results. The patented method of diffraction analysis of the phase photoresponse's magnitude of photosensitive materials has found application in the research activities of the Laboratory of Materials for Photovoltaics and Photonics of the Institute of Applied Physics.

MEŞALCHIN ALEXEI

PROCESE FOTO- ŞI ELECTRON-INDUSE ÎN STRUCTURI SUBŢIRI DIN POLIMERI CARBAZOLICI ŞI STICLE CALCOGENICE

134.01 FIZICA ŞI TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Rezumatul tezei de doctor în ştiinţe fizice

Aprobat spre tipar: 29.05.2025
Hârtie ofset. Tipar ofset
Coli de tipar: 2,25

Formatul hârtiei 60x84 1/16
Tiraj 5 ex.
Comanda nr.

Centrul Editorial-Poligrafic al USM
str. Al. Mateevici, 60, Chişinău, MD-2009