

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

Cifrul 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  $1,5 \div 3 \mu m$ ; grosimea unui nanostrat:  $7 \div 10 nm$ .

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  $< 50 nm$ ; au fost preparate concentrații cuprinse între 0 și  $120 \mu g/ml$ .

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  $5-10 \mu m$ , 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,  $\text{As}_2\text{S}_3$  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  $\text{As}_2\text{S}_3$ -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  $0.6 \pi$ . 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

