

Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2025

Cifra proiectului 25.80012.5007.39TC

Denumirea Proiectului Dezvoltarea Microscopului Holografic Digital cu Polarizare Bazat pe Fibre Optice pentru Imagistică Cantitativă de Fază Aplicată în Știința Materialelor și Biomedicină

Rezumat în limba română pentru anul 2025

În anul 2025, proiectul dedicat dezvoltării microscopiei holografice digitale sensibile la polarizare (FO-MHDP) a înregistrat progrese semnificative în direcția modernizării instrumentației optice, dezvoltării algoritmilor de procesare și caracterizării avansate a elementelor optice difractive (EOD) fabricate pe nanomultistraturi de sticle calcogenice $\text{As}_2\text{S}_3\text{--Se}$. Activitățile realizate în această perioadă au contribuit la consolidarea infrastructurii experimentale, la extinderea colaborărilor naționale și internaționale și la formarea tinerilor cercetători în domeniul opticii moderne și al fotonicii.

Un rezultat major al etapei îl constituie dezvoltarea prototipului de microscop FO-MHDP, bazat pe o arhitectură interferometrică Mach–Zehnder în configurație off-axis, cu iluminare prin fibre optice monomod și componente optice polarizante integrate. Schema optică a fost proiectată pentru a permite înregistrarea hologramelor digitale în două orientări ale analizorului (0° și 90°), necesare pentru reconstruirea matricii Jones locale pentru fiecare pixel. Au fost stabilite protocoalele experimentale de înregistrare, iar componentele optice și mecanice necesare au fost achiziționate și integrate treptat în sistem. În pofida întârzierilor în livrarea unor echipamente, asamblarea inițială a configurației a fost dusă la bun sfârșit.

Pe plan metodologic, a fost inițiată dezvoltarea unui algoritm FFT de reconstrucție a hologramelor digitale, în colaborare cu grupul de procesare a semnalelor de la Tampere University (Finlanda). Acest algoritm permite extragerea câmpului optic complex și reconstrucția distribuției spațiale a fazei (obiectului studiat), facilitând caracterizarea cantitativă a birefringenței și a fenomenelor de modificare a polarizării în EOD. Pe baza hologramelor înregistrate, a fost realizată o analiză preliminară a EOD fabricate prin două tehnici distincte: înregistrare holografică digitală și litografie cu fascicul de electroni pe microscopul TESCAN VEGA.

Activitățile de diseminare au inclus participarea echipei la 7th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (ICNBME 2025), unde au fost prezentate trei lucrări științifice indexate Springer. De asemenea, a fost înaintat un articol într-o revistă internațională cu factor de impact. Colaborarea internațională a fost consolidată printr-o vizită de lucru la Tampere University, unde au fost stabilite noi direcții de dezvoltare, inclusiv utilizarea rețelelor neuronale pentru analiza hologramelor digitale și o mobilitate viitoare pentru un tânăr cercetător.

La nivel național, colaborarea cu laboratoarele din cadrul Institutului de Fizică Aplicată ale Universității de Stat din Moldova a contribuit la testarea materialelor fotosensibile, optimizarea proceselor de înregistrare și instruirea personalului tânăr.

Per ansamblu, etapa 2025 a proiectului a pus bazele tehnice și științifice pentru dezvoltările ulterioare, consolidând instrumentația, metodologia și colaborările necesare pentru obținerea rezultatelor finale în etapele următoare.



Rezumat în limba engleză pentru anul 2025

During the year 2025, the project focused on developing a fiber-optic polarization-sensitive digital holographic microscope (FO-PDHM) has made substantial progress in advancing optical instrumentation, hologram-processing algorithms, and the quantitative characterization of diffractive optical elements (DOEs) fabricated on As_2S_3 -Se chalcogenide nanomultilayers. The achievements of this period strengthened the experimental infrastructure, expanded national and international collaborations, and contributed to the training of young researchers in modern optics and photonics.

A major accomplishment of the reporting year is the development of the FO-PDHM prototype, based on an off-axis Mach-Zehnder interferometer architecture with single-mode fiber illumination and integrated polarization-controlling components. The optical design enables dual-frame digital hologram acquisition (0° and 90° analyzer orientations), required for the pixel-wise reconstruction of the Jones matrix. Experimental protocols for hologram acquisition were established, and the necessary optical and mechanical components were procured and gradually integrated. Although some delays in equipment delivery were encountered, the initial assembly of the system was successfully completed.

Methodologically, a FFT-based reconstruction algorithm for digital holograms was initiated in collaboration with the signal-processing research group at Tampere University (Finland). The algorithm extracts the complex optical field and phase maps, enabling high-resolution birefringence mapping and the analysis of polarization-altering phenomena in DOEs. Using this framework, preliminary characterization was performed for DOEs fabricated using two different approaches: digital holographic recording and electron-beam lithography with a TESCAN VEGA scanning electron microscope.

Dissemination activities included participation in the 7th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (ICNBME 2025), where three peer-reviewed papers were presented and published in the Springer IFMBE Proceedings series. An additional manuscript was submitted to an international journal with impact factor. The international collaboration was strengthened through a research visit to Tampere University, where joint algorithm development was advanced, and a scientific mobility program for a young researcher was planned. New directions were also initiated, such as integrating neural networks for enhanced holographic data analysis.

At the national level, collaborations with local laboratories from the Institute of Applied Physics, Moldova State University supported the testing of photosensitive materials, optimization of holographic recording procedures, and training of early-career researchers. Overall, the 2025 stage of the project established a solid technical and scientific foundation for future progress, enabling the development of advanced optical instrumentation, robust analytical methods, and strong collaborative frameworks essential for achieving the project's final objectives.

Conducătorul de proiect CAZAC Veronica, dr. /

Data:

LȘ



Cazac V.