

## Anexa 2 (obligatoriu)

### Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2024

În 2024, echipa din Moldova a participat la fabricarea tranzistoarelor FET pe bază de DMT utilizând tehnologia de imprimare cu jet de cerneală în Turcia, la Universitatea Necmettin Erbakan din Konya. Pentru imprimarea tranzistoarelor FET cu  $\text{MoS}_2$  și  $\text{WSe}_2$  au fost utilizate cerneluri modificate prin adăugarea de pulberi de fulgi perforați de  $\text{MoS}_2$  și  $\text{WSe}_2$ , fabricate de echipa din Moldova. Cernelurile au fost preparate într-o soluție de alcool izopropilic/apă deionizată, folosind o baie ultrasonică și sonicație cu sondă.

Pentru optimizarea tensiunii superficiale și a vâscozității cernelurilor, în soluție au fost introduși surfactanți neionici Triton X-100 și polivinilpirolidonă (PVP). Vâscozitatea cernelurilor a fost cuprinsă între 5 și 10 mPa, iar numărul Z a variat între 7 și 10. Optimizarea parametrilor cernelurilor a fost realizată prin modificarea concentrației de PVP, Triton X-100 și pulberi de DMT. În procesul de fabricare a FETranzistoarelor, au fost imprimate poarta, stratul dielectric, canalul DMT ( $\text{MoS}_2$  și  $\text{WSe}_2$ , respectiv), drenul și sursa. Rezistențele de contact și ale straturilor au fost minimizate pentru a atinge performanțe maxime ale sensorului. Pentru fabricarea canalului au fost utilizate cerneluri modificate pe bază de TMD, iar pentru formarea porții, drenului și sursei, cerneluri comerciale pe bază de argint.

De asemenea, s-a realizat optimizarea și îmbunătățirea tehnologiei de obținere a nano-fulgilor TMD pe baza caracterizării probelor de monocristale, pulberilor mono-strat și a FETranzistoarelor. În total, 98 g de cristale brute de  $\text{MoS}_2$  și 77 g de cristale brute de  $\text{WSe}_2$  au fost produse utilizând metoda de transport chimic în vapori (14 și 11 loturi, respectiv), fiecare eșantion având o suprafață medie de aproximativ 6-10  $\text{mm}^2$ . Nanosheet-urile de  $\text{MoS}_2$  și  $\text{WSe}_2$  au fost obținute prin exfoliere directă a pulberilor brute într-o soluție de albumină serică bovină (BSA). Formarea găurilor pe planul bazal al  $\text{MoS}_2/\text{WSe}_2$  s-a realizat prin dizolvare chimică în prezența  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Exfolierea cristalelor TMD într-o soluție de albumină serică bovină (BSA) a fost îmbunătățită prin înlocuirea sonicației cu sondă cu o baie ultrasonică, obținând nanosheet-uri mai mari și mai stabile. Optimizarea ulterioară a regimurilor tehnologice a implicat ajustarea duratei și regimului termic al sonicației și utilizarea mai multor cicluri succesive de sonicație și centrifugare. Această schimbare a minimizat fragmentarea, rezultând fulgi mai potriviți pentru integrarea în biosenzori.

Mostrele de monocristale de  $\text{MoS}_2$  și  $\text{WSe}_2$  au fost caracterizate utilizând două tehnici avansate de imagistică: Microscopia Electronică de Scanare (SEM) și Microscopia cu Forță Atomică (AFM). Caracterizarea SEM a fost realizată cu instrumentul TESCAN VEGA, oferind imagini de înaltă rezoluție pentru observarea morfologiei suprafeței. În plus, AFM a fost efectuată cu PARK XE7 pentru caracterizarea topografică a suprafeței. Studiile efectuate au confirmat prezența fulgilor de  $\text{MoS}_2$  și  $\text{WSe}_2$  cu o grosime de ~2-3 nm (~1-4 straturi).

Partenerii din Turcia, responsabili de fabricarea biosenzorilor pe bază de tranzistoare cu efect de câmp (FET) prin tehnologia de imprimare cu jet de cerneală, au fost asigurați complet cu pulberi constituite din nano-fulgi 2D perforați cu grosimi de 1-4 straturi atomice din  $\text{WSe}_2$  și  $\text{MoS}_2$ .

Obiectivul principal al etapei anului 2024, de care era responsabilă echipa din IFA, a fost realizat.

Conducătorul de proiect: Culiuc Leonid



Data: 9 decembrie 2024



## Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2024

In 2024, the Moldovan team participated in the fabrication of TMD-based FET transistors using inkjet printing technology in Turkey, at Necmettin Erbakan University in Konya. Modified inks with MoS<sub>2</sub> and WSe<sub>2</sub> holey flakes powders, produced by the Moldovan team, were used for printing MoS<sub>2</sub> and WSe<sub>2</sub> FETs. The inks were prepared in an isopropyl alcohol/deionized water solution using an ultrasonic bath and probe sonication.

To optimize surface tension and viscosity, non-ionic surfactants Triton X-100 and Polyvinylpyrrolidone (PVP) were added to the solution. The viscosity ranged between 5 and 10 mPa, and the Z number varied between 7 and 10. Ink parameters were optimized by adjusting PVP, Triton X-100, and TMD powder concentrations. During FET fabrication, the gate, dielectric layer, TMD channel (MoS<sub>2</sub> and WSe<sub>2</sub>, respectively), drain, and source were printed. Contact and layer resistances were minimized to achieve the highest sensor performance. Modified TMD-based inks were used for channel fabrication, and commercial silver inks were used for the gate, drain, and source.

Additionally, optimization and improvement of the TMD nanosheet production technology were carried out based on the characterization of monocrystal samples, mono-layer powders, and FETs. A total of 98 g of bulk MoS<sub>2</sub> crystals and 77 g of bulk WSe<sub>2</sub> crystals were produced using the Chemical Vapor Transport Method (14 and 11 batches, respectively), with each sample averaging a surface area of approximately 6-10 mm<sup>2</sup>. MoS<sub>2</sub> and WSe<sub>2</sub> nanosheets were prepared by direct exfoliation of bulk powder in a bovine serum albumin (BSA) solution. Holes were formed on the basal plane of MoS<sub>2</sub>/WSe<sub>2</sub> via chemical dissolution in the presence of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

The exfoliation of TMD crystals in a BSA solution was enhanced by replacing probe sonication with an ultrasonic bath, achieving larger and more stable nanosheets. Further optimization of technological regimes involved adjusting sonication duration and temperature and employing several sequential sonication and centrifugation cycles. This change minimized fragmentation, resulting in flakes better suited for biosensor integration.

MoS<sub>2</sub> and WSe<sub>2</sub> monolayer samples were characterized using two advanced imaging techniques: Scanning Electron Microscopy (SEM) and Atomic Force Microscopy (AFM). SEM characterization was performed with the TESCAN VEGA instrument, providing high-resolution imaging to observe surface morphology. Additionally, AFM was conducted with the PARK XE7 for surface characterization. The studies confirmed the presence of MoS<sub>2</sub> and WSe<sub>2</sub> flakes with thicknesses of ~2-3 nm (~1-4 layers).

The Turkish partners, responsible for fabricating biosensors based on field-effect transistors (FETs) using inkjet technology, were fully supplied with powders consisting of 2D perforated nanosheets with thicknesses of 1-4 atomic layers of WSe<sub>2</sub> and MoS<sub>2</sub>.

The main objective of the 2024 stage, for which the IFA team was responsible, has been achieved.

Conducătorul de proiect: Culiuc Leonid



Data: 9 decembrie 2024

