

**Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2023***Materiale nanostructurate avansate pentru aplicații termoelectrice și senzori**(denumirea proiectului)***Cifrul proiectului:** 20.80009.5007.02

In cadrul etapei a patra a proiectului 20.80009.5007.02 „*Materiale nanostructurate avansate pentru aplicații termoelectrice și senzori*”, a fost continuată cercetarea proprietăților structurale, electronice, fononice și termice ale (1) oxizilor  $\text{In}_2\text{O}_3$  dopați cu Zn, Pb și Tl, (2) peliculelor  $\text{ZnO-In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ ,  $(\text{Ga}_x\text{In}_{1-x})_2\text{O}_3$  și SnS, (3) straturilor și microfiredelor de SnSe dopat cu Ag și (4) nanofiredelor și nanotuburilor de siliciu.

A fost demonstrat teoretic, că:

1. Formarea defectelor monoatomare  $\text{Zn}_b$  sau biatomare  $\text{Pb}_b\text{-Tl}_i$  în rețeaua cristalină a  $\text{In}_2\text{O}_3$  provoacă atât modificarea substanțială a spectrelor electronice și fononice, cât și micșorarea eficienței a conductibilității termice fononice;
2. Modularea secțiunii transversale a nanotuburilor de siliciu influențează slab capacitatea termică, însă micșorează substanțial conductibilitatea termică de rețea – de 5 – 10 ori în dependență de temperatură și de valoarea modulației secțiunii transversale.

Au fost confecționați fotoreceptori de radiație ultravioletă în baza filmelor oxidice  $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$  și a fost stabilit mecanismul de sensibilitate și timpul de reacție a acestor fotoreceptori. Au fost elaborate procedee tehnologice de formare a tranzistorilor cu efect de câmp în baza structurilor de SnS și au fost studiate caracteristicile de frecvență ale lor.

Au fost studiate proprietățile termoelectrice ale straturilor monocristaline și ale microfiredelor policristaline în înveliș de sticlă în bază de SnSe dopat cu Ag, în intervalul de temperaturi 90 K – 300 K. Monocristalele  $\text{SnSeAg}_{0.01}$  sunt crescute prin metoda verticală Bridgman din topitură stoichiometrică. Stratul monocristalin cu grosimea de 35  $\mu\text{m}$  a fost format prin metoda de exfoliere la o temperatură joasă. Microfiredele policristaline în înveliș de sticlă cu diferite diametre, cuprinse în intervalul 40 – 140  $\mu\text{m}$ , sunt preparate prin metoda Ulitovsky. Forța electromotoare a probelor investigate (microfire și straturi) la 300 K constituie 190 – 210  $\mu\text{V/K}$ . Factorul de putere al tuturor probelor la temperatura camerei are o valoare de 15 – 18  $\mu\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-2}$ , care scade monoton odată cu scăderea temperaturii. Conform puterii termoelectrice măsurate, toate probele prezintă conductivitate de tip  $n$ .

Au fost confecționate mostre de laborator ale senzorului anizotrop planar de flux termic în baza filmelor de Bi, depuse pe suport de mică. Filme policristaline de Bi cu grosimea de 2  $\mu\text{m}$  – 5  $\mu\text{m}$  au fost depuse prin metoda de evaporare termică a Bi în vid pe suport din mică și au fost recristalizate pentru obținerea filmelor monocristaline cu orientarea predeterminată a axei cristalografice  $C_3$ .

Pe baza rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului în anul 2023 au fost publicate **46** lucrări științifice, inclusiv **25** capitole în monografiile internaționale, **6** articole în reviste cu factor de impact ISI, **7** articole în culegeri științifice internaționale și **8** teze la lucrările conferințelor științifice internaționale și naționale. A fost obținut **1** brevet de invenție.

**Summary of research activity and results in 2023***Advanced nanostructured materials for thermoelectric and sensor applications**(denumirea proiectului)***Cifrul proiectului:** 20.80009.5007.02

Within the fourth stage of the project **20.80009.5007.02** “*Advanced nanostructured materials for thermoelectric and sensor applications*”, it was continued study of the structural, electronic, phononic and thermal properties of (1)  $\text{In}_2\text{O}_3$  oxides doped by Zn, Pb and Tl, (2) of  $\text{ZnO-In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ ,  $(\text{Ga}_x\text{In}_{1-x})_2\text{O}_3$  and SnS thin films, (3) of SnSe thin films and microwires doped by Ag and (4) of Silicon nanowires and nanotubes.

It was demonstrated that:

- the formation of monoatomic  $\text{Zn}_b$  or biatomic  $\text{Pb}_b\text{-Tl}_i$  defects in the crystal lattice of  $\text{In}_2\text{O}_3$  results both in substantial modification of its electronic and phonon spectra and effective decrease of the phonon thermal conductivity;
- cross-section modulation weakly influences the heat capacity of Silicon nanotubes, but substantially decreases their lattice thermal conductivity: by 5-10 times depending on the temperature and the modulation thickness.

Ultraviolet radiation photoreceptors based on  $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$  oxide films were developed and the sensitivity mechanism and reaction time of these photoreceptors were determined. Technological protocols of SnS-based field-effect transistors (FETs) fabrication was described and frequency characteristics of SnS-based based FETs were studied.

The thermoelectric properties of Ag-doped SnSe single-crystal and polycrystalline microwires in glass coatings were studied in the temperature range 90 K - 300 K.  $\text{SnSeAg}_{0.01}$  single crystals are grown by the vertical Bridgman method from stoichiometric melt. The 35  $\mu\text{m}$  thick single crystal layer was formed by the exfoliation method at low temperature. The polycrystalline glass-encased microwires with different diameters in the range of 40 - 140  $\mu\text{m}$  were prepared by the Ulitovsky method. The electromotive force of the investigated samples (microwires and layers) at 300 K constitutes 190 - 210  $\mu\text{V/K}$ . The power factor of all samples at room temperature possesses a value of 15 - 18  $\mu\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-2}$  and decreases monotonically with temperature decrease. According to the measured thermoelectric strength, all samples demonstrate *n*-type conductivity.

Laboratory model of the planar anisotropic heat flow sensor based on Bi films deposited on mica support was developed. Polycrystalline Bi films with thickness of 2  $\mu\text{m}$  - 5  $\mu\text{m}$  were deposited on mica support by the thermal evaporation method and were recrystallized to obtain single crystal films with predetermined orientation of  $C_3$  crystallographic axis.

The results of the project obtained in 2023 were published in **46** scientific works, including **25** book chapters, **6** research articles in peer-reviewed international journals with ISI impact factor, **7** research articles and **8** abstracts in conference proceedings/abstract book; **1** national patent was obtained.