

# Облікова картка дисертації (ОКД)

Шифр спецради: ДФ 26.002.03

Відкрита

Вид дисертації: 08

Державний обліковий номер: 0823U100030

Дата реєстрації: 20-01-2023



## 1. Відомості про здобувача

ПІБ (укр.): Малюта Сергій Васильович

ПІБ (англ.): Maliuta Serhii Vasylovych

Шифр спеціальності, за якою відбувся захист: 153

Дата захисту: 12-01-2023

На здобуття наукового ступеня: Доктор філософії (д.філ)

Спеціальність за освітою: Мікро- та наносистемна техніка

## 2. Відомості про установу, організацію, у вченій раді якої відбувся захист

Назва організації: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ: 02070921

Адреса: проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

Телефон: 380442367989

Телефон: 380442044862

Телефон: +38 (044) 204-82-82

E-mail: mail@kpi.ua

WWW: <https://kpi.ua/>

Інше: kpi.ua

## 3. Відомості про організацію, де виконувалася (готувалася) дисертація

Назва організації: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ: 02070921

Адреса: проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

Телефон: 380442367989

Телефон: 380442044862

Телефон: +38 (044) 204-82-82

E-mail: mail@kpi.ua

WWW: <https://kpi.ua/>

Інше: kpi.ua

#### **4. Відомості про організацію, де працює здобувач**

**Назва організації:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Підпорядкованість:** Міністерство освіти і науки України

**Код ЄДРПОУ:** 02070921

**Адреса:** проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

**Телефон:** 380442367989

**Телефон:** 380442044862

**Телефон:** +38 (044) 204-82-82

**E-mail:** mail@kpi.ua

**WWW:** <https://kpi.ua/>

**Інше:** kpi.ua

#### **5. Наукові керівники та консультанти**

##### **Наукові керівники**

Литвин Петро Мар'янович (к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.10)

#### **6. Офіційні опоненти та рецензенти**

##### **Офіційні опоненти**

Хоменкова Лариса Юріївна (д. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.10)

Горячко Андрій Миколайович (д. ф.-м. н., 01.04.04)

##### **Рецензенти**

Орлов Анатолій Тимофійович (к. т. н., доц., 05.27.01)

Діденко Юрій Вікторович (к. т. н., доц., 05.27.01)

#### **7. Підсумки дослідження та кількісні показники**

**Підсумки дослідження:** 40 - Нове вирішення актуального наукового завдання

**Кількість сторінок:** 156

**Кількість додатків:** 6

**Ілюстрації:** 53

**Таблиці:**

**Схеми:**

**Використані першоджерела:** 131

**Кількість публікацій:** 16

**Кількість патентів:** 1

**Впровадження результатів роботи:**

**Мова документа:** Українська

**Зв'язок з науковими темами:**

#### **8. Індекс УДК тематичних рубрик НТІ**

**Індекс УДК:** 537.311.322, 539.216;539.22;538.91-405;548;620.18, УДК 538.9, 539.2, 539.3, 620.3

**Тематичні рубрики:** 29.19.31, 29.19.04

## 9. Тема та реферат дисертації

### Тема (укр.)

Особливості застосування нанотехнологій зондової мікроскопії в діагностиці та направленій модифікації поверхонь напівпровідникових наноструктур і 2D матеріалів.

### Тема (англ.)

Peculiarities of scanning probe microscopy nanotechnologies application in diagnostics and direct surface modification of semiconductor nanostructures and 2D materials.

### Реферат (укр.)

Робота присвячена розробці комплексного підходу до діагностики матеріалів і структур приладів мікро- та наноелектроніки засобами скануючої зондової мікроскопії та його застосуванню при дослідженнях локальних морфологічних та електрофізичних особливостей концепційних елементів на базі вуглецевих матеріалів та станогерманидів. Було розроблено методику індексування граней монокристалів синтетичних напівпровідникових алмазів та відповідної оптимізації схеми їх розкрою для отримання пластин з оптимальною конфігурацією секторів росту. Оптимізовано параметри селективного травлення напівпровідникових монокристалів алмазів для виявлення особливостей дислокаційної структури на нанорівні. Встановлено закономірності зміни густини дислокацій вздовж осі росту та в околі міжсекторальних границь. Виявлено ефекти декорування дислокацій фоновими домішками. Адаптовано методики силової Кельвін-зонд мікроскопії та мікроскопії опору розтікання для виявлення локальних електрофізичних особливостей міжсекторальних границь та окремих дислокацій і кластерів домішок в монокристалічних пластинах напівпровідникового алмазу. Встановлено, що міжсекторальні границі є когерентними, без скупчення дислокаційних дефектів, а ядра дислокацій дуже слабо, у порівнянні з границями секторів, проявляють електричну активність при картографуванні контактним струмочутливим методом скануючої мікроскопії опору розтікання. При безконтактних електросилових картографуваннях локального поверхневого потенціалу методом Кельвін-зонд мікроскопії дислокаційні ямки травлення є електронейтральними і не виявляють потенціального контрасту. Встановлено, що завдяки відсутності структурних дефектів міжсекторальні границі забезпечують різкий перепад поверхневого потенціалу порядку 1В, що може бути використано при розробці структурних елементів електронних приладів. Адаптовано методику наноіндентування, що базується на атомно- силовій спектроскопії до вимірювання модуля пружності тонких плівок станогерманидів. Виявлено немонотонні зміни приведенного модуля пружності плівок GeSn при зміні вмісту олова від 1 до 12%. Цей ефект пояснений особливостями перебігу процесів структурної релаксації при змінах товщини і компонентного складу плівок GeSn. Врахування цієї нелінійності зміни модуля пружності при зміні компонентного складу є критично важливою в задачах деформаційної інженерії зонної структури GeSn для реалізації переходу непрямозонний/прямозонний напівпровідник. Методом скануючої емісійної мікроскопії та силової Кельвін-зонд мікроскопії досліджено електронні властивості мікрониток Ge<sub>99</sub>Sn<sub>1</sub> на поверхні епітаксійних плівок Ge<sub>88</sub>Sn<sub>12</sub>. Виявлено ефект інверсії типу провідності таких p-GeSn мікрониток при прикладанні напруги зміщення між зондом мікроскопу та планарним омичним контактом на поверхні плівки Ge. Цей ефект може бути використаним при розробці прототипів діодних структур. Виявлено самоіндуковане формування нанониток GeSn з вмістом олова понад 40%. Пояснено механізм їх утворення та проілюстровано їх локальні електрофізичні параметри струмочутливими методами зондової мікроскопії. Отримані результати можуть бути використані для покращення характеристик приладів мікроелектроніки та при розробці їх можливих концептуальних елементів на базі вуглецевих матеріалів та станогерманидів.

### Реферат (англ.)

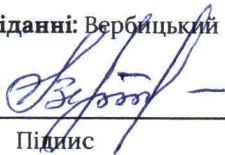
Thesis is devoted to the development of a multipurpose approach to the diagnostic of materials and structures of micro- and nanoelectronics devices using scanning probe microscopy and its application in the study of local morphological and electrophysical features of concept elements based on carbon materials and tin germanides. A method of indexing the faces of single crystals of synthetic semiconductor diamonds and corresponding optimization of their cutting scheme to obtain plates with an optimal configuration of growth sectors was developed. The parameters of selective etching of semiconductor diamond single crystals were optimized to reveal the features of the dislocation structure at the nano range. The regularities of the change in the density of dislocations along the axis of growth and in the vicinity of intersectoral borders have been established. The effects of decorating dislocations with background impurities have been revealed. The techniques of Kelvin probe force microscopy and spreading resistance microscopy were adapted to detect local electrophysical features of intersectoral

boundaries and individual dislocations and impurity clusters in single crystal semiconductor diamond plates. It was established that the intersectoral boundaries are coherent, without the accumulation of dislocation defects, and the nuclei of dislocations very weakly, in comparison with the boundaries of the sectors, show electrical activity during mapping by the contact current-sensitive method of scanning microscopy of the spreading resistance. In non-contact electrostatic mapping of the local surface potential by the Kelvin-probe force microscopy method, the etching dislocation pits are electroneutral and do not reveal a potential contrast. In non-contact electrostatic mapping of the local surface potential by the Kelvin-probe microscopy method, the etching dislocation pits are electroneutral and do not reveal a potential contrast. It was established that due to the absence of structural defects, the intersectoral boundaries provide sharp interface of the surface potential with a difference of the order of 1V, which can be used in the development of structural elements of electronic devices. The nanoindentation technique based on atomic force spectroscopy was adapted to measure the modulus of elasticity of thin films of tin germanides. Non-monotonic changes in the reduced modulus of elasticity of GeSn films were revealed when the tin content changed from 1 to 12%. This effect is explained by the peculiarities of the process of structural relaxation during changes in the thickness and component composition of GeSn films. Taking into account this nonlinearity of the change in the modulus of elasticity when changing the component composition is critically important in the tasks of deformation engineering of the GeSn band structure for the implementation of the indirect/direct-band semiconductor transition. Properties of self-induced Ge<sub>99</sub>Sn<sub>1</sub> micro-strips on the surface of epitaxial films Ge<sub>88</sub>Sn<sub>12</sub> were investigated using scanning capacitive microscopy and Kelvin probe force microscopy. The effect of conductivity type inversion of p-GeSn micro-strips when applying a bias voltage between the microscope probe and the planar ohmic contact on the surface of the Ge film was revealed. This effect can be used in the development of prototypes of diode structures. The self-induced formation of GeSn nanowires with a tin content of more than 40% was revealed. The mechanism of their formation is explained and their local electrophysical parameters are illustrated by current-sensitive probe microscopy methods. The obtained results can be used to improve the characteristics of microelectronics devices and in the development of their possible conceptual elements based on carbon materials and tin germanides.

---

**Голова спеціалізованої вченої ради:** Вербицький Володимир Григорович (д.т.н., старший науковий співробітник, 05.27.01)

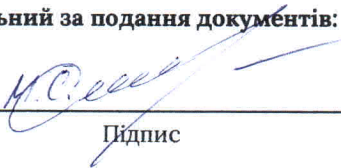
**Головуючий на засіданні:** Вербицький Володимир Григорович (д.т.н., с.н.с., 05.27.01)



Підпис



**Відповідальний за подання документів:** Малюта С.В. (Тел.: 0683274048)



Підпис

**Керівник відділу реєстрації наукової діяльності  
УкрІНТЕІ**



Юрченко Т.А.