

Облікова картка ДіР



I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0225U004320

Державний реєстраційний номер: 0124U003756

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 01-12-2025

II. Етап виконання ДіР

Номер етапу: 2

Назва етапу: Розробка методики формування GeSn плівок на Si та Ge підкладки методом іонної імплантації

Початок етапу: 03.2025

Закінчення етапу: 12.2025

Вид звітнього документа: Проміжний звіт

III. Відомості про виконавця ДіР

Повне найменування юридичної особи (або ПІБ фізичної особи): Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, м. Київ, 03028, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Розмір організації:

Телефон: 380445254020, 380445258342

IV. Відомості про співвиконавців ДіР

V. Відомості про замовника ДіР

Повне найменування юридичної особи (або ПІБ фізичної особи): Національний фонд досліджень України

Код за ЄДРПОУ: 42734019

Місцезнаходження: вул. Бориса Грінченка, 1, м. Київ, 01001, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Кабінет Міністрів України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Розмір організації:

Телефон: 380442981622, 380442981622

VI. Джерела, напрями та обсяги фінансування ДіР

Підстава для проведення ДіР: 34 - договір (замовлення) з центральним органом виконавчої влади, академією наук (головними розпорядниками бюджетних коштів на проведення НДДКР)

Напрямок фінансування: 2.1 - фундаментальні дослідження

Джерела фінансування

7713 - кошти держбюджету

Код програмної класифікації видатків і кредитування (КПКВК): 2201300

Фактичний обсяг фінансування (тис. грн.): 3937.645

VII. Відомості про ДіР

Назва роботи українською:

Деформаційна інженерія електронної структури тонких плівок GeSn для ІЧ оптоелектроніки нового покоління

Назва роботи англійською:

Deformation engineering of the electronic structure of GeSn thin films for new generation IR optoelectronics

Реферат українською:

У роботі розроблено та оптимізовано два методи формування полікристалічних $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ плівок товщиною 200–300 нм на 100 нм Ge буферних шарах, попередньо осаджених на Si підкладки. Обидва підходи спрямовані на створення плівок із контрольованими структурними, компонентними та морфологічними характеристиками. Метод термічного напилення та лазерного відпалу включає формування багат шарових структур Ge/Sn термічним напиленням, наступну імплантацію іонів C⁺, та фінальний фемтосекундний лазерний відпал $\lambda = 800$ нм. Метод магнетронного розпилення з наступним скануючим лазерним відпалом включає магнетронне розпилення із використанням GeSn та графітових мішеней для осадження плівки $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ з подальшим скануючим безперервним лазерним відпалом ($\lambda = 455$ нм, середня густина енергії 120 Дж/см²). Раманівська спектроскопія використовувалася для визначення частки інкорпорованих атомів Sn у кристалічну ґратку Ge, оскільки частотне положення коливної моди Ge–Ge є чутливим до вмісту олова. Незважаючи на полікристалічну природу плівок, було враховано механічні напруження, які виникають внаслідок різниці коефіцієнтів термічного розширення плівки $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ та підкладки при синтезі та охолодженні. Аналіз за допомогою мас-спектроскопії показав, що навіть при імпульсному лазерному відпалі відбувається часткова сегрегація атомів Sn та C з наступною їхньою дифузією на поверхню плівки та до інтерфейсу з буферним шаром. Рентгенівська дифрактометрія дозволила встановити, що швидкий лазерний відпал сприяє формуванню досконалішої кристалічної структури $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ порівняно з кристалізацією, досягнутою при традиційному термічному відпалі. Доведено, що кінцева частка вбудованого Sn у кристалічній ґратці залежить від його вмісту в початкових аморфних плівках $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$. Морфологічні дослідження поверхні плівок за допомогою атомно-силової та скануючої електронної мікроскопії виявили, що легування вуглецем сприяє значному зменшенню шорсткості поверхні.

Реферат англійською:

In this work, two methods for the formation of polycrystalline $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ films with a thickness of 200–300 nm on 100 nm Ge buffer layers previously deposited on Si substrates have been developed and optimized. Both approaches aim to create films with controlled structural, component, and morphological characteristics. The thermal sputtering and laser annealing method involves forming Ge/Sn multilayer structures by thermal sputtering, subsequent C⁺ ion implantation, and final femtosecond laser annealing at $\lambda = 800$ nm. The magnetron sputtering method with subsequent scanning laser annealing involves magnetron sputtering using GeSn and graphite targets to deposit the $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ film with subsequent scanning continuous laser annealing ($\lambda = 455$ nm, average energy density 120 J/cm²). Raman spectroscopy was used to determine the fraction of Sn atoms incorporated into the Ge crystal lattice, since the frequency position of the Ge–Ge vibrational mode is sensitive to the tin content. Despite the polycrystalline nature of the films, mechanical stresses arising from the difference in the thermal expansion coefficients of the $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ film and the substrate during synthesis and cooling were taken into account. Analysis using mass spectroscopy showed that even with pulsed laser annealing, partial segregation of Sn and C atoms occurs with their subsequent diffusion to the film surface and to the interface with the buffer layer. X-ray diffractometry allowed us to establish that rapid laser annealing contributes to formation of a more perfect crystal structure of $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ compared to crystallization achieved during traditional thermal annealing. It has been proven that the final fraction of incorporated Sn in crystal lattice depends on its content in

the initial amorphous films $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Cy}$. Morphological studies of film surface using atomic force and scanning electron microscopy revealed that carbon doping contributes to a significant reduction in surface roughness.

Індекс УДК: 539.216; 539.22; 538.91Ф405; 548; 620.18 , 537-311.322

Коди тематичних рубрик: 29.19.04, 29.19.31

Керівники роботи

Власне Прізвище Ім'я По-батькові: Юхимчук Володимир Олександрович

Науковий ступінь: д.ф.-м.н.

Вчене звання: професор

Ідентифікатор ORCID ID:

Додаткова інформація:

VIII. Наукова (науково-технічна) продукція (НТП)

Назва НТП українською: Метод формування GeSn:C плівок

Назва НТП англійською: Method of forming GeSn:C films

НТП, яку передбачалося створити: Створено

Причини, через які НТП не було створено:

Отримані результати: Методи, теорії, гіпотези

Галузь застосування: оптоелектроніка ближнього та середнього ІЧ діапазонів

Реєстраційний номер картки технології:

Опис НТП: Цей підхід включає формування багат шарових структур Ge/Sn термічним напиленням, імплантацію іонів C⁺ та відпал за допомогою фемтосекундного лазерного випромінювання з довжиною хвилі = 800 нм.

Соціально-економічна спрямованість НТП: Створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту

Вплив НТП на довкілля:

Впровадження НТП: Не впроваджено

Практична реалізація НТП

Початок етапу:

Закінчення етапу:

Споживачі продукції:

Перспективні ринки:

Характер співробітництва з інвестором

Потрібний обсяг інвестицій, тис. грн.:

Права, що надаються інвестору після завершення роботи:

Наявність бізнес-плану:

Техніко-економічне обґрунтування:

Потенціальний обсяг продажу, тис. грн.:

Очікуваний термін окупності (років):

Додаткова інформація:

IX. Бібліографічний опис

V.O. Yukhymchuk, P.M. Lytvyn, A.A. Korchovyi, O.Yo. Gudymenko, N.V. Mazur, O.A. Kapush, M.Ya. Valakh, V.S. Yefanov, A.M. Dmytruk, and V.M. Dzhanan. Laser-induced crystallisation of amorphous GeSn and GeSn:C films. Mater. Res. Express 12 (2025) 115004. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ae1d3d>

V.O. Yuhymchuk, G.G. Tarasov, M.Ya. Valakh, P.M. Lytvyn, O.Yo. Gudymenko, N.V. Mazur, T.M. Sabov, V.S. Yefanov, V.M. Dzhanan. Synthesis of Ge_{1-x}Sn_x and Ge_{1-x-y}Sn_xC_y Films by Magnetron Sputtering followed by Laser Annealing. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 29, n1. (2026).

В.О. Юхимчук, Н.В. Мазур, О.Й. Гудименко, Т.М. Сабов, В.М. Джаган, П.М. Литвин, А.М. Дмитрук, О.В. Косуля, О.В. Дубіковський, М.Я. Валах. ФОРМУВАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ GeSn ТА GeSn:C ПЛІВОК НА Si ПІДКЛАДКАХ. X УКРАЇНСЬКА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ УНКФН-10. Ужгород, Україна 26 - 30 травня 2025. ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ. с.30-31

Н.В. Мазур, В.О. Юхимчук, О.Й. Гудименко, О.А. Капуш, В.С. Єфанов, В.М. Джаган, П.М. Литвин, А.М. Дмитрук, О.В. Косуля, О.В. Дубіковський. ЛАЗЕР ІНДУКОВАНА КРИСТАЛІЗАЦІЯ ІОННО- (C⁺ , B⁺) ІМПЛАНТОВАНИХ GeSn ПЛІВОК. X УКРАЇНСЬКА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ УНКФН-10. Ужгород, Україна 26 - 30 травня 2025. ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ. с.257-258

V. Yukhymchuk, M. Valakh, V. Dzhagan, O. Oberemok, O. Gudymenko, P. Lytvyn, N. Mazur, V. Yefanov, T. Sabov, A. Dmytruk. Formation and Properties of GeSn and GeSn:C Films. 26TH SYMPOSIUM ON PHOTONICS AND OPTICS SPO 2025. p/30

Mazur N.V., Yukhymchuk V.O., Lytvyn P.M., Kosulya O.A., Gudymenko O.Yo., Kapush O.A., Valakh M.Ya., Yefanov V.S., Dmytruk A.M., Dzhagan V.M. The Influence of Laser Annealing on the Morphology and Elemental Composition of GeSn Films. XX INTERNATIONAL FREIK CONFERENCE ON PHYSICS AND TECHNOLOGY OF THIN FILMS AND NANOSYSTEMS. Ivano-Frankivsk, October 06-10, 2025. Materials, p. 120

Юхимчук В.О. , Мазур Н.В., Тарасов Г.Г., Капуш О.А., Сабов Т.М., Корчовий А.А. , Литвин П.М., Гудименко О.Й., Косуля О.В., Дубіковський О.В., Дмитрук І.М. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ GeSn ПЛІВОК З ВИСОКИМ ВМІСТОМ Sn. VI International Conference "Actual Problems of Fundamental Science". June 09-12, 2025. Lesya Ukrainka Volyn National University. Proceedings APFS-2025. P. 124-125.

Свідоцтво № 139945 на реєстрацію авторського права на твір «Спосіб отримання нанометрових плівок станогерманидів». Автори: Мазур Н.В., Капуш О.А., Юхимчук В.О., Джаган В.М., Литвин П.М., Дубіковський О.В., Гудименко О.Й., Косуля О.В. Дата реєстрації: 6.10.2025 р.

Х. Заключні відомості

Керівник юридичної особи

Мельник Віктор Павлович

д. ф.-м. н.

Перелік осіб-виконавців

Єфанов Володимир Семенович

(к. ф.-м. н., с.н.с., 01.04.10)

Гудименко Олександр Йосипович

(к.ф.-м.н., с.н.с.)

Капуш Ольга Анатоліївна

(к. х. н., 02.00.21)

Мазур Назар Володимирович

(д.філософ, 105)

Сабов Томаш Мар'янович

(к. ф.-м. н., н.с)

Тарасов Георгій Григорович

(д.ф.-м.н., професор, 01.04.10)

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Редько Роман Анатолійович

Телефон

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна