



**«ЕЛЕМЕНТИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ»**

ЕПСЕТ-18



**ELEMENTS, DEVICES AND SYSTEMS
OF ELECTRONIC TECHNIQUE**

EDSET-18

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ
ІМ. В. С. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЦЕНТР НАН БІЛОРУСІ З МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА
УНІВЕРСИТЕТ ПРИКЛАДНИХ НАУК (ЛИТВА)
РЕЗЕКНЕНСЬКА ТЕХНОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ (ЛАТВІЯ)
ЦЕНТРАЛЬНО-ЄВРОПЕЙСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (СЛОВАЧЧИНА)

**МАТЕРІАЛИ ПЕРШОЇ МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«ЕЛЕМЕНТИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ
(ЕПСЕТ-18)
ELEMENTS, DEVICES AND SYSTEMS
OF ELECTRONIC TECHNIQUE
(EDSET-2018)**

14 - 16 листопада 2018 р.

**Запоріжжя
ЗДІА
2018**

УДК 621.315.592; 537.529; 541.013

ОТРИМАННЯ ПЛІВОК ZnO НА МАКРОПОРУВАТОМУ Si (100) МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РОЗПИЛЕННЯ

Кідалов В.В.¹, Дяденчук А.Ф.², Батурич В.А.³, Рогозін І.В.⁴, Бачеріков Ю.Ю.⁵, Жук А.Г.⁶, Філоненко М.М.⁷, Карпенко О.Ю.⁸, Кідалов В.В.⁹

¹<https://orcid.org/0000-0002-5128-1880>, Бердянський державний педагогічний університет, д. фіз.-мат. н., професор, KidalovV.V@gmail.com

²<https://orcid.org/0000-0002-6625-9985>, Бердянський державний педагогічний університет, ст. викладач, Dyadenchukalena@gmail.com

³Інститут прикладної фізики НАН України, к. фіз.-мат. н., старший науковий співробітник, baturin@ipflab.sumy.ua

⁴Бердянський державний педагогічний університет, к. фіз.-мат. н., доцент, rivrov@gmail.com

⁵Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, д. фіз.-мат. н., провідний науковий співробітник, yuuyu@isp.kiev.ua

⁶Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, к. фіз.-мат. н., науковий співробітник, jook.anton@gmail.com

⁷<https://orcid.org/0000-0002-2938-3725>, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова, к. фіз.-мат. н., доцент, m.m.filonenko@npu.edu.ua

⁸Інститут прикладної фізики НАН України, молодший науковий співробітник, ayk@ukr.net

⁹Бердянський державний педагогічний університет, студент, V.V.Kidalov@gmail.com

Анотація: У даній роботі методом реактивного магнетронного ВЧ розпилення отримані плівки ZnO на підкладках кремнію орієнтації (100) з попередньо нанесеною системою макропор. Рентгенографічні дослідження ZnO показали, що вони мають полікристалічну природу з гексагональною решіткою типу вюрцит. Середні розміри кристалітів склали 12 нм. Мікроелементний аналіз виявив практично ідеальну стехіометричність ZnO вирощеного на porous-Si/Si.

Ключові слова: реактивне магнетронне розпилення, плівка ZnO, макропоруватий Si.

Annotation: In the present work, ZnO films on (100) silicon substrates with a pre-applied system of macropores were obtained by the method of reactive magnetron HF sputtering. X-ray studies of ZnO have shown that it has a polycrystalline nature with a hexagonal wurzite-type lattice. The average crystallite size was 12 nm. Trace element analysis revealed almost perfect stoichiometric ZnO grown on porous-Si/Si.

Key words: reactive magnetron sputter, ZnO film, macroporous Si.

Актуальність теми. Одними з найбільш перспективних плівкових покриттів є прозорі провідні оксидні покриття, серед яких особливе місце займає оксид цинку. Підвищений інтерес викликаний унікальною комбінацією оптичних та електрофізичних властивостей оксиду цинку. Оксид цинку (ZnO) має широке технологічне застосування, зокрема, в фотоприймачах, короткохвильових напівпровідникових діодних випромінювачах (світлодіодах), тонкоплівкових сонячних елементах, сенсорах газу, фотодетекторах. На даний момент залишається актуальним питання про отримання плівок оксиду цинку із заданими функціональними характеристиками, здатних знайти широке промислове застосування пристроїв на основі шарів ZnO.

Для отримання плівок ZnO можуть бути використані підкладки нітриду галію (GaN) і карбиду кремнію (SiC). Однак вартість даних підкладок великого діаметра достатня висока. З метою здешевлення при виготовленні структур з плівкою ZnO часто як підкладка використовується кремній (Si).

Останнім часом ведуться спроби по отриманню плівок на поруватій поверхні напівпровідників, що пов'язано з можливістю оптимізації умов розміру зерна, вакансій кисню, дефектів і т. д.

Метою цієї роботи є дослідження процесів формування оксиду цинку методом реактивного магнетронного ВЧ розпилення на підкладках кремнію орієнтації (100) з попередньо нанесеною системою макропор.

Методика експерименту. Зразки поруватого кремнію були отримані методом електрохімічного травлення з використанням кремнієвих пластин n-типу провідності орієнтації (100) з питомим опором $1,0 \div 1,5$ Ом·см. Процес анодування проводили з використанням розчину електроліту, що складається з плавикової кислоти (HF) і етанолу (C_2H_5OH).

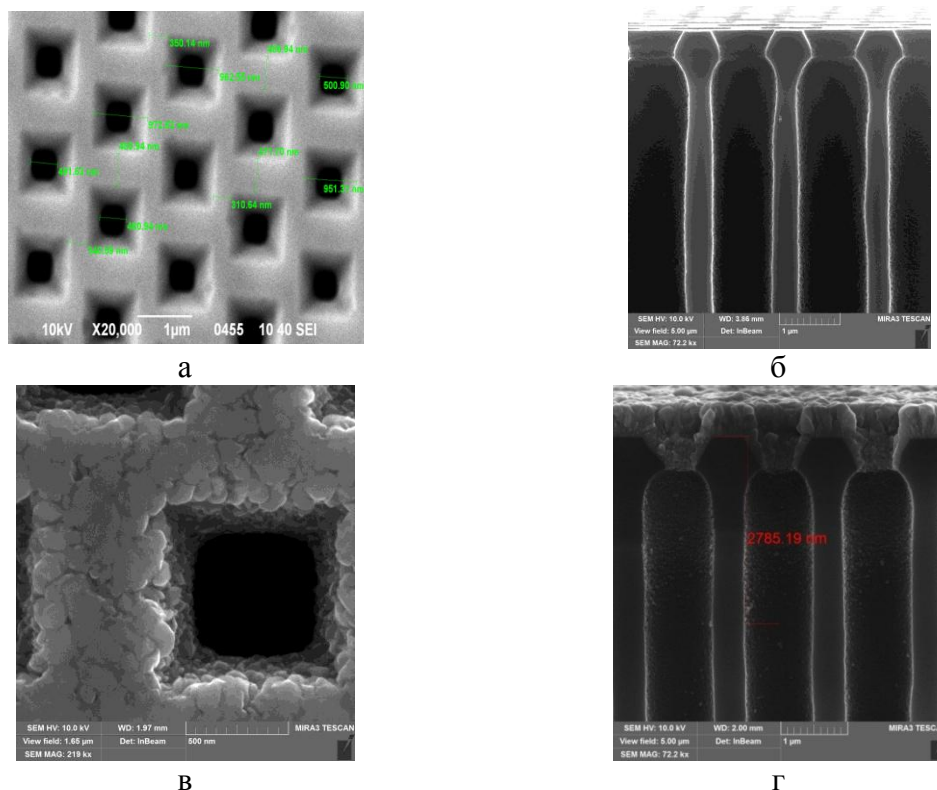


Рис. 1. РЕМ-зображення поверхні (а) та поперечного перерізу макропоруватого Si (б), а також поверхні (в) та поперечного перерізу (г) плівки ZnO, сформованої на поверхні Si (100) з попередньо нанесеною системою макропор

Напилення плівок ZnO виконано реактивним магнетронним ВЧ розпиленням цинкової мішені. Підкладки закріплювалися в пристрої за допомогою спеціальних затискачів, які здійснювали їх переміщення всередині вакуумної камери. Підкладки і мішені розміщували паралельно один одному. Безпосередньо перед процесом нанесення плівок вакуумну систему було відкачано до рівня 10^{-3} Па.

Результати та обговорення. Після обробки на поверхні зразків спостерігається структура з невеликих, близько десятків-сотні нанометрів, кристалітів. Зразок зберіг вихідну структуру у вигляді сітки (рис. 1,в). Оціночна товщина плівки ZnO становить близько 1-3 мкм (рис. 1,г).

Мікроелементний аналіз плівки ZnO свідчить про високу стехіометричність плівки ZnO на поверхні porous-Si (100).

Рентгенографічні дослідження кристалічної структури покриттів з ZnO показали, що вона має полікристалічну природу з гексагональною решіткою типу вюрцит. Рентгенограми мають основний дифракційну пік (002), який спостерігається при куті $2\theta=34,64^\circ$. Кристаліти

в покриттях ZnO високо орієнтовані по осі с, перпендикулярно до поверхні підкладки. Постійна решітки вздовж кристалографічної осі с півки ZnO складала 5,2260 Å.

Середні розміри кристалітів розраховані за формулою Селякова-Шерера. Згідно обчислень середній розмір кристалітів склав 12 нм, що трохи менше, ніж розмір кристалітів згідно результатів СЕМ (рис. 1, в).

Широке застосування дані гетероструктури можуть знайти при виготовленні джерел світлодіодних чіпів, випромінюючих біле світло (поєднання синьо-зеленої емісії від ZnO з червоно-помаранчевою емісією з поруватого кремнію). У зв'язку з цим представляються актуальними подальші дослідження процесу формування поруватої структури в системі ZnO/Si та її впливу на механічні напруження в системі.

УДК 535.016, 535.215, 53.096, 535.37

ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ Si КВАНТОВИХ ТОЧОК AlAs/InAs У ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ AlAs/InAs/GaAs

Ковальова М.С.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
kovalyova_marianna@ukr.net

Анотація: Для дослідження впливу легування були виготовлені сонячні елементи з квантовими точками InAs/GaAs у проміжній зоні, пролеговані Si. Присутність домішок Si в квантових точках призводить до покращення ефективності внаслідок розширення спектру в інфрачервону область та наявності вбудованого заряду. Були виміряні вольт-амперні характеристики та спектри фотоЕРС. Виявлено, що легування збільшує струм в зворотному напрямку, проте зменшує сигнал фотоЕРС.

Ключові слова: сонячні елементи, квантові точки (КТ), фотострум, фотовольтаїка, фотоЕРС.

Annotation: To study the effect of Si doping, intermediate band solar cells (IBSCs) with Si doped InAs/GaAs quantum dots that were fabricated. Si selective doping of quantum dots leads to an improvement in efficiency due to IR harvesting and built-in-dot charge. Photovoltage and I–V characteristics were measured. The observed increase the current in the reverse direction due to Si doping but photovoltage signal is reduced.

Key words: solar cells, quantum dots (QDs), photocurrent, photovoltaics, photovoltage.

Розробка новітніх електронних та оптоелектронних пристроїв вимагає інформації щодо різних механізмів та характеру перебігу нерівноважних процесів в гетероструктурах, а також вплив на них квантово-розмірних станів та інтерфейсів. Серед матеріалів для сонячних батарей популярними є сполуки типу $A^{III}B^V$, до яких належить InAs/GaAs. Такі сонячні елементи мають високу ефективність¹ завдяки широкій проміжній зоні. Внаслідок поглинання фотонів підрівнями забороненої зони утворюється додаткова фотоЕРС, що дозволяє перевищити ліміт Шоклі-Квейсера³. Для підвищення ефективності використовується селективне легування. В досліджуваних структурах часткове заповнення електронами проміжної зони досягається введенням домішок Si у КТ.

Гетероструктури AlAs/InAs/GaAs були вирощені методом молекулярно-променевої епітаксії на підкладці n^+ GaAs (001). Внутрішня область досліджуваних структур складається з 20 шарів, кожен з яких містить 2,3 моношарів квантових точок InAs з двома моношарами AlAs, розділені шаром GaAs товщиною 20 нм. Квантові точки були пролеговані домішками Si з різною концентрацією 0, 6, 12, 18 та 24 електронів на КТ (e/KT).

Було виміряно темнові вольт-амперні характеристики (ВАХ) при кімнатній температурі (рис. 1.). Встановлено, що найбільший струм в зворотному напрямку спостерігається, коли легований шар містить 12 e/KT і 18 e/KT. Інші концентрації легування зменшують струм у порівнянні зі зразком без легування.