

НИЗЬКОРОЗМІРНІ СТРУКТУРИ НА ПОВЕРХНІ ФОСФІДУ ІНДІЮ

Я.О. Сичікова

Бердянський державний педагогічний університет

Україна

Надійшла до редакції 14.05.2012

В даній роботі продемонстровано можливість отримання надграток фосфіду індію, оксидних кристалітів на поверхні монокристалічного фосфіду індію, нанорозмірних структур In/InP по типу квантових точок. Дослідження морфології даних структур дозволило зробити якісний аналіз процесу утворення нанорозмірних структур.

Ключові слова: надгратки, морфологія, фосфід індію, оксидні кристаліти, квантові точки.

В данной работе продемонстрирована возможность получения сверхрешеток фосфида индия, оксидных кристаллитов на поверхности монокристаллического фосфида, наноразмерных структур In/InP по типу квантовых точек. Исследование морфологии данных структур позволило сделать качественный анализ процесса получения наноструктур.

Ключевые слова: сверхрешетки, морфология, фосфид индия, оксидные кристаллиты, квантовые точки.

In this paper the ability of obtaining InP supertattices, oxide crystallites on the surface of single-crystal indium phosphide, nanoscale structures In/InP type of quantum dots. Investigation of the morphology of this structures allowed to make good analysis of the nanoscale structures.

Keywords: supertattices, morphology indium phosphide, oxide crystallites, quantum dots.

ВСТУП

Низькорозмірні напівпровідники є предметом активних досліджень завдяки модифікованим оптичним й електричним властивостям, обумовленими квантово-розмірними ефектами, що мають місце в нанорозмірних структурах [1, 2]. Одержання одномірних наноструктур відкриває можливості створення нового класу електронних, оптичних і механічних наноприладів. Площа поруватих напівпровідників в мільйони разів більша за площу монокристалічних аналогів. Ця унікальна властивість дозволяє розглядати поруваті кристали у якості матеріалу для створення на їх основі сенсорів та сонячних батарей. Ще один перспективний напрям – отримання надграток – твердотільних матеріалів із періодичною зміною шарів з різними властивостями вздовж одного напрямку. В області фізики конденсованого стану надгратки стали об'єктом інтенсивного дослідження завдяки ефекту квантового конфайнменту, що робить їх потенціальними кандидатами на використання у різних електронних та оптичних приладах. Мікроскопічні дослідження таких систем є істотним кроком до розуміння їх властивостей на макроскопічному рівні та виготовленню на їх основі мікроелек-

тронних пристроїв та їх компонентів. Найбільших успіхів вчені досягли в триманні низькорозмірних структур на основі кремнію. В наш час технічно найбільш досконалими після кремнію є арсенід галію, фосфід індію, селенід цинку. Особливе місце серед цих напівпровідників займає саме фосфід індію.

Фосфід індію (InP) має великі перспективи широкого промислового виробництва. На основі фосфіду індію створюються польові транзистори і інші НВЧ прилади. Монокристалічні пластини InP використовуються в якості підкладок для вирощування різних гетероструктур, на основі яких створюються ефективні джерела випромінювання (інжекційні лазери, світлодіоди) і швидкодіючі фотоприймачі для систем волоконно-оптичних ліній зв'язку. Фосфід індію перспективний для розробки надшвидких інтегральних схем. На сьогоднішній день InP є найбільш вірогідним матеріалом для масового виробництва ІС [1, 3].

В основу даного дослідження поставлено задачу отримання низькорозмірних структур на поверхні монокристалічного фосфіду індію, визначення найоптимальніших умов отримання та пояснення механізму формування цих структур.

ЗРАЗКИ ТА ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Для експерименту нами були використані монокристалічні зразки блочного InP, вирощеного за методом Чохральського з кристалографічною орієнтацією (111), (100) та концентрацією носіїв заряду $2,3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, що мали дзеркально гладку поверхню темно-сірого кольору. Низькорозмірні структури формувалися методом електрохімічного травлення. У якості електроліту використовували розчини кислот (HF, HCl, HBr) у різних концентраціях. Щільність струму вибиралася у широкому діапазоні від 30 до 270 мА/см², час травлення – від 2 до 60 хв. Перед кожною серією експерименту зразки очищалися в етиловому спирті. Умови експерименту, за яких формуються певні класи структур, наведено у табл. 1.

Морфологія поверхні досліджувалася на растровому електронному мікроскопі JSM-

Таблиця 1

Умови експерименту

Низькорозмірні структури	Електроліт	Щільність струму, мА/см ²	Час травлення, хв	Додаткові умови
Поруваті шари <i>n</i> -типу <i>p</i> -типу	HF HCl	50 ÷ 250	3 ÷ 30	Для травлення <i>p</i> -типу освітлення вольфрамовою лампою потужністю 200 Вт
Текстуровані поверхні	HBr	130 ÷ 170	6 ÷ 10	Освітлення вольфрамовою лампою потужністю 200 Вт
Надгратки	HF	80 ÷ 150	25 ÷ 35	Пульсуюча напруга: травлення при напрузі 5 В (1 хв), травлення без напруги (просто хімічне травлення) – 2 хв
Нанокластери	HF + C ₂ H ₅ OH	70 ÷ 130	10 ÷ 15	Після травлення – старіння протягом 3-х днів на відкритому повітрі
Нульмірні структури	HF+HNO ₃	180	4 ÷ 6	Вплив імпульсного магнітного поля серією симетричних трикутних імпульсів амплітудою $B = 0,5 \text{ Т}$ з частотою $f = 50 \text{ Гц}$.

6490. Також було проведено аналіз хімічного складу поруватої поверхні зразків.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В результаті експерименту на поверхні фосфіду індію було сформовано різні типи наноструктур. В залежності від умов анодування та вихідних характеристик кристалу структури представляли собою наступні класи: поруваті шари, надгратки, текстуровані поверхні, нанокластери (острівки оксидів) та нульмірні структури (по типу квантових точок). Фактори, що найбільш впливають на тип структури наступні: склад та концентрація електроліту, щільність струму, час анодування, освітлення зразків та обробка магнітним полем. Крім того, принциповим є тип провідності кристалу, орієнтація поверхні, структурна досконалість. Різна комбінація цих умов дає різноманіття низькорозмірних структур, що можуть бути сформовані на поверхні фосфіду індію.

Зупинимося більш детально на кожному випадку.

Поруваті шари. Найбільш дослідженими та технічно вдосконаленими є поруваті структури на поверхні монокристалічних напівпровідників. Поруватий фосфід індію досліджено в роботах [4 – 6]. Однак, різноманіття конфігурацій отриманих поверхневих шарів робить це питання цікавішим та спонукає вчених до більш детального аналізу механізмів процесів самоорганізації поруватих шарів.

Експериментальним шляхом встановлено, що пори формуються переважно на фосфіді індію електронного типу провідності. При цьому пороутворення спостерігається у широкому діапазоні щільності струму та у різних електролітах. Довгий час вважалося, що на кристалах з дірковим типом провідності пороутворення взагалі неможливе. Це зумовлено наступними чинниками. Ріст пори починається в тій точці поверхні пластини, в якій з якої-небудь причини спостерігається висока локальна концентрація дірок. При цьому стінки пори залишаються вертикальними до тих пір, поки не змінюється режим формування або (*i*) структура самої пластини. Очевидно, що необхідну локальну концентрацію дірок можна створити тільки у тому випадку, якщо

вони не є основними носіями, тобто у фосфіді індію *n*-типу. В роботі [7] нами продемонстровано можливість утворення пор на *p*-InP шляхом фотоелектрохімічного травлення, тобто під час анодування зразки підсвічувалися вольфрамовою лампою. Оскільки енергія кванта світла (видиме випромінювання) більше ширини забороненої зони напівпровідника InP (1,344 eV), то в приповерхневій зоні відбувається генерація неосновних носіїв, це призводить до зміни потенціалу напівпровідника. При поглинанні світла напівпровідником InP *p*-типа в приповерхневій області утворюються електрони і дірки. Із-за викривлення зонної діаграми на межі розділу “напівпровідник-електроліт” дірки йдуть углиб напівпровідника, а електрони накопичуються на поверхні. Поверхневі електрони взаємодіють з монокристалом InP. В результаті на поверхні утворюються вільні атоми фосфору. Вільні атоми індію і фосфору, що утворюються, йдуть в розчин, при цьому відбувається процес утворення пор.

Початкова стадія електрохімічного розчинення однакова для кристалів InP з різною кристаліграфічною орієнтацією. При накладенні до електролітичної комірки зовнішньої напруги починається травлення тих областей, де спостерігається наявність поверхневих дефектів. За відсутності таких відбувається хаотичне утворення пір по усій поверхні кристала. Утворюється нерегулярний тонкий шар пор (0,5 – 5 нм). На наступному етапі починається ріст пор углиб підкладки. На цьому етапі кінетику пороутворення визначатиме кристаліграфічна орієнтація. Для кристалів з орієнтацією (111) пори мають форму, близьку до трикутної. Такі пори досить великі, діаметр від 0,05 до 1 мкм. Пори, що мають квадратну форму формуються на (100) орієнтованих кристалах. Такі пори зазвичай маленькі (3 – 40 нм) та щільно упаковані. Рис. 1 демонструє форму та розмір пор фосфіді індію.

Текстуровані поверхні. Ще одним пріоритетним напрямом є отримання текстурованих поверхонь, що відбувається за наступним механізмом. При пропусканні через електроліт постійного струму щільністю 150 мА/см² адсорбовані молекули вириваються з поверхні пластини. При цьому атоми фосфору легше адсорбують з іонами водню, що забезпечує

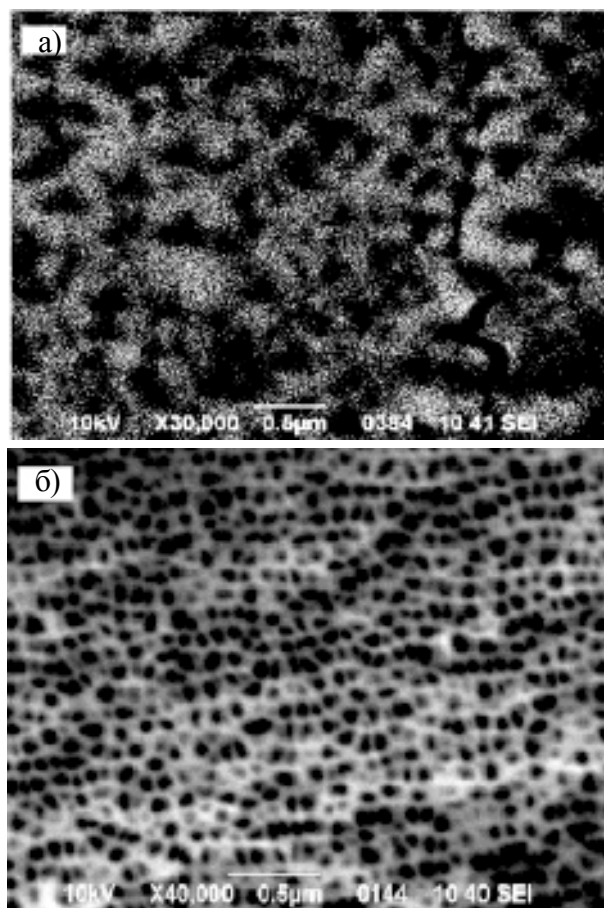


Рис. 1. Морфологія поруватого фосфіді індію: а) – (111)-орієнтований кристал – трикутні пори; б) – кристал з орієнтацією поверхні (100) – пори, що мають форму, близьку до квадратної.

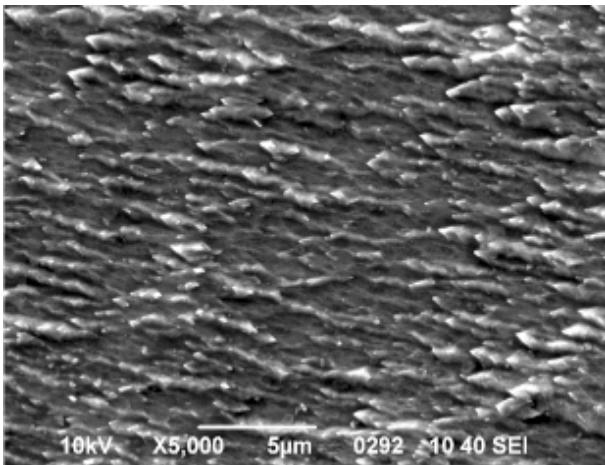
більш швидко витравлювання підґратки фосфору. Стехіометрія зразка порушується у бік збільшення концентрації атомів індію [8]. В результаті на поверхні пластини утворюється система пірамідальних кластерів, нахил ребер яких забезпечує отримання досить низького коефіцієнта відбиття та збільшення робочої площі пластини в десятки разів у порівнянні з монокристалічним аналогом.

Експериментальним шляхом встановлено оптимальну концентрацію електроліту, щільності струму та часу травлення для отримання найбільш однорідної по висоті та формі текстур.

Таким чином, оптимальні умови для отримання якісної текстурованої поверхні *p*-InP наведено нижче:

- склад травника $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O} = 1:1$;
- щільність струму 150 мА/см²;
- час травлення 8 хвилин;
- потужність вольфрамової лампи 200 Вт.

Рис. 2 демонструє морфологію текстурованої пластини фосфіді індію.

Рис. 2. Текстурована поверхня *p*-InP.

З рис. 2 видно, що на поверхні монокристалу утворюється щільна картина пірамідальних наростів, які мають нахил, що пов'язаний з анізотропією кристалу, а також напрямом струму. Висота пірамід варіюється від 0,7 до 1,1 мкм.

За умови невиконання вищевказаних умов поведінка напівпровідника під час анодування має деякі особливості. Так, при збільшенні часу травлення до 15 хв починається ріст каналів пор вглиб підкладки, що супроводжується руйнуванням поверхні пластини. При часі травлення менше 8 хв, спостерігається неповне текстурування поверхні, тобто залишаються ділянки поверхні зі збереженою монокристалічністю та орієнтацією поверхні. Використовування щільності струму вище ніж 150 – 170 мА/см² спостерігається втравлювання шару фосфіду індію товщиною близько 8 – 10 мкм, при щільностях струму, нижчих за вказану межу піраміди мають недостатньо виражену форму та висоту (меншу за 0,5 мкм). При більш високих концентраціях кислоти в розчині електроліту утворюються нерозчинні плівки, що складаються з адсорбованих поверхнею напівпровідника атомів бром, при низьких концентраціях кислоти формування фігур на поверхні фосфіду індію взагалі не відбувається. Також необхідною умовою є освітлення пластин. Це забезпечує високу щільність розподілу пірамід по поверхні злитку (щільність близько 5 пірамід на 1 мкм). Слід зауважити, що розчини інших кислот теж не забезпечує достатній рівень текстурування поверхні. Крім того, монокристали фосфіду індію *n*-типу взагалі демонструють нездатність до текстурування. Справа в тому, що пластини з

електронним типом провідності при анодуванні в розчинах кислот легко розтравлюються, формуючи при цьому поруваті шари.

Надгратки. При використанні режиму пульсуючої напруги на поверхні напівпровідника формується велика кількість дискретних систем низької вимірності, що складаються з поруватих та монокристалічних шарів InP. В результаті травлення утворилася надгратка, що представляє собою систему періодичних шарів InP-*por*-InP. Товщина кожного поруватого шару складає приблизно 20 – 25 нм, монокристалічного – 30 – 35 нм (рис. 3). Слід зауважити таку цікаву властивість – надгратка утворилася по всій товщині зразка, при чому найбільш вираженою вона є на стороні, що повернута до платиного електроду. В цій області шари більш товсті та мають більш виражену структуру. Із зворотнього боку шари більш тонкі. Порувата структура не так виражена. Найменш вираженими є шари, що розташовані всередині зразка. Така поведінка свідчить про те, що травлення відбувається і на зворотньому боці пластини, тобто струм огинає пластину та підтравлює її з усіх боків. Рис. 3 демонструє шари надгратки (табл. 2).

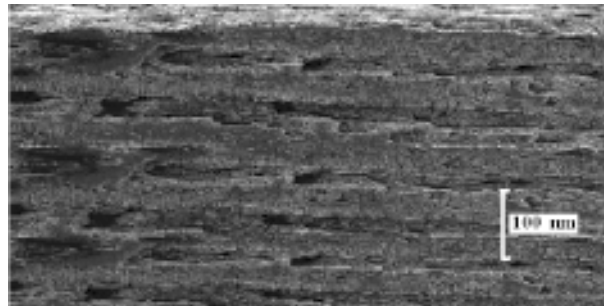


Рис. 3. Надгратка, що утворилася з усіх боків кристалу.

Верхнім шаром, що є очевидним, є поруватий. Він являє собою дуже розтравлену структуру. Це є логічним, тому що поверхня кристалу під час травлення найбільш активно взаємодіє з електролітом та, на відміну від внутрішніх шарів, постійно – від самого початку травлення до його завершення. Поруваті шари не є впорядкованими. Пори мають велику об'ємну густину (до 80%), розмір – від декількох нанометрів до десятків мікронів.

Далі йде монокристалічний шар, який теж має пори, але цих отворів небагато, вони розташовані переважно на границі розділу двох шарів та мають впорядкований характер. Напрямок цих пор збігається з кристалографічною

Таблиця 2
Типи структур та деякі їх особливості

Низькорозмірні структури	Тип структури	Розмір одиниці	Особливості будови
Поруваті шари	пори	Діаметр пори від 7 нм до 300 нм	Форма залежить від орієнтації поверхні: для (111)-орієнтованих кристалів пори мають трикутну форму, для (100) – близьку до квадратної
Текстуровані поверхні	Пірамідалі кластери	Висота пірамід від 0,7 до 1,1 мкм	Піраміди мають нахил (кут нахилу від 65° до 85°)
Надгратки	Періодичні шари поруватого та монокристалічного фосфіду індію	Ширина поруватих та монокристалічних смуг 20–25 нм та 30–35 нм відповідно	Надгратка утворюється по всій товщині зразка. Монокристалічний шар теж має пори, але цих отворів небагато, вони розташовані переважно на границі розділу двох шарів та мають впорядкований характер
Нанокластери	Кристалічні оксиди індію	Розмір кластеру від 10 до 200 мкм	Квіткообразні сполуки, що мають кристалічну структуру
Нульмірні структури	Кластери індію по типу квантових точок	Від 3 до 40 нм	Кластери розподілені регулярно по поверхні кристалу, деякі кластери об'єднуються у більш масивні скупчення

орієнтацією зразка, що дозволяє судити про напрям фронту травлення. Утворення пор в монокристалічних шарах кристалу (нехай навіть й невеликої їх кількості) свідчить про те, що за відсутності напруги процес травлення кристалу не припиняється. В цьому випадку електрохімічний процес має дещо відмінний характер – відбувається просунення фронту травлення вглиб зразка. Така поведінка не є тривіальною та свідчить про складні хімічні та електричні процеси, що супроводжуються під час анодування фосфіду індію.

Послідовність періодичних шарів створює додатковий періодичний потенціал. За будь-яких просторових характеристик цих шарів поява такого додаткового потенціалу зумовлює появу принципово нових корисних фізичних властивостей такої структури порівняно з властивостями її складових. Це може відображатися на таких характеристиках, як теп-

лопровідність, електропровідність, оптична анізотропія кристалу. В свою чергу це дозволяє розширити межі застосування напівпровідника та створення принципово нових пристроїв на основі нових матеріалів, якими є надгратки.

Нанокластери. Загальновідомо, що поверхня напівпровідників легко окислюється. При цьому можливе утворення суцільних оксидних плівок або острівців оксидів. Цікавим є дослідження кристалічних оксидів. Що утворилися на поверхні поруватого фосфіду індію при витримці його на відкритому повітрі. На (111)-поверхні *n*-InP після її електролітичної обробки з'явилися кристаліти розміром 100 – 200 мкм, розміщені хаотично (рис. 4).

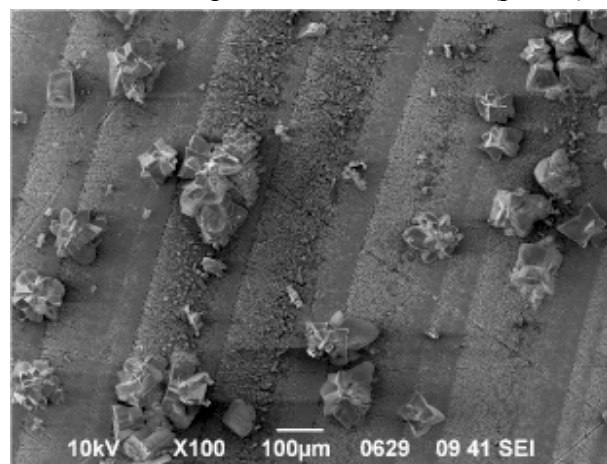


Рис. 4. Зображення РЕМ, що демонструє кристаліти, які утворилися на поверхні монокристалічного *n*-InP після анодного електролітичного травлення.

Видно, що кристаліти мають досить складну “зірчасту”, але відмінну одна від іншої в деталях, форму. Їх форма залежить, з нашої точки зору, від типу тих зародкових дефектів, що виходять на (111)-поверхню зразка *n*-InP та створюють умови подальшого пороутворення (розгалудження пор).

Хімічний склад даних утворень розглянуто в табл. 3. Табл. 3 демонструє, що кристаліти складаються з атомів кисню, фтору та індію у відношенні приблизно рівному 1:1:2. Фосфор присутній лише у найменших концентраціях (1%). Це свідчить про те, що частина атомів індію з кристалу InP була замінена іншими атомами (про що також говорить хімічний склад всієї поверхні). Витісненні атоми вступили у взаємодію з електролітом, і продукти цієї взаємодії “впали” на поверхню кристала

Таблиця 3
Процентний склад хімічних елементів,
з яких складаються кристаліти

Спектр	O	F	P	In	Всього
Спектр	25,72	21,28	1,02	51,98	100,00

у вигляді кристалітів [9]. За цими результатами можна зробити попередній висновок, що кристаліти представляють собою оксиди індію або більш складні хімічні сполуки.

Однозначно говорити про те, які саме сполуки присутні в кристалітах, дуже важко. Мабуть, склад кристалітів визначається наявністю декількох сполук (оксидів, фторидів та ін.).

Рис. 5 демонструє, що кристаліти представляють собою квіткообразні сполуки, що мають кристалічну структуру.

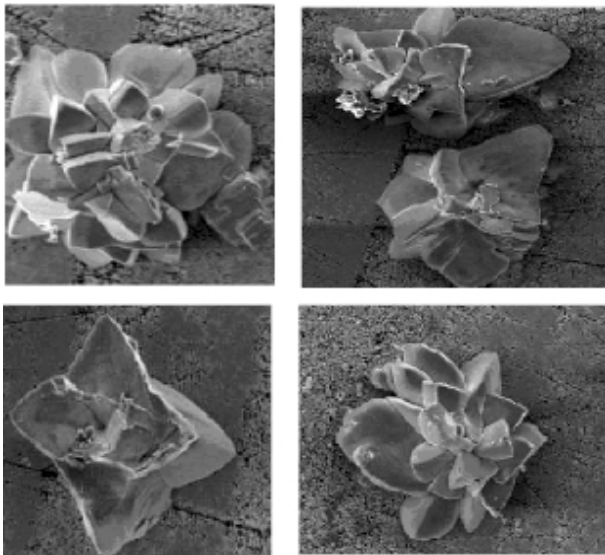


Рис. 5. Квіткообразні сполуки, що мають кристалічну структуру.

Переважними місцями зростання кристалітів на поверхні фосфіду індію є атомні дефекти, поверхні-ступені, дислокації. У них атоми кристалу (особливо фосфору) слабше пов'язані з підкладкою і можуть бути видалені з власної ґратки під дією електроліту. Використовувана концентрація фтору у складі травника є досить великою, і зображення поверхні не дає уявлення про початкові стадії росту кристалітів. Дослідження, проведені при меншій дозі іонів фтору в травнику, показали, що саме атомні шаблі й їх перетин є центрами утворення острівців. При вивченні анодування *n*-InP (111) у водно-спиртовому розчині плавикової кислоти виявлено явище агломерації кристалітів в гігантські острівці. У результаті

утворювалися окремі острівці розмірами у кілька сотень мікрометрів. Ступінь покриття поверхні фосфіду індію кристалітів складає менше 10%.

Нульмірні структури. Обробка зразків під час травлення у магнітному полі призводить до того, що на поверхні InP формуються квантові точки In – низькорозмірні структури з просторовим обмеженням носіїв заряду в усіх трьох вимірах. Результат досягається тим, що в способі отримання структур In/InP на поверхні пластин фосфіду індію використовують електрохімічне травлення при одночасній обробці в магнітному полі серією симетричних трикутних імпульсів амплітудою $B = 0,5$ Т з частотою $f = 50$ Гц. Імпульси магнітного поля формувалися розрядами батареї конденсаторів через низько індуктивний соленоїд.

Основним фактором, що відповідає за чутливість кристалів A^3B^5 до імпульсного магнітного поля є наявність комплексів власних точкових дефектів, що здатні розпадатися під слабким магнітним впливом. Виникнення власних дефектів в кристалах фосфіду індію зумовлено, насамперед, вмістом надлишкової кількості вакансій летючого компонента – фосфору.

На рис. 6. зображено морфологію поверхні обробленого кристалу InP. На поверхні кристалу чітко видно утворення кластерів, які розподілені більш-менш регулярно по всій поверхні кристалу. Розмір кластерів складає від 3 до 40 нм.

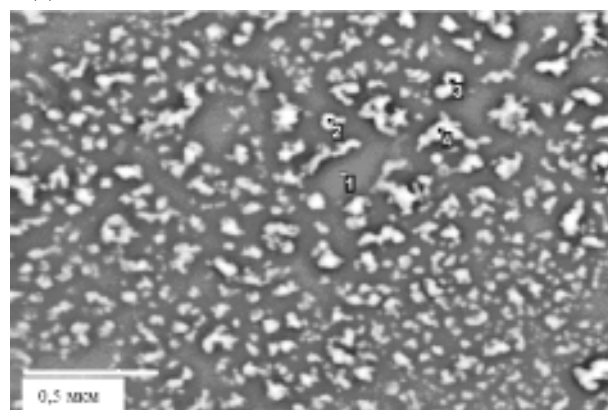


Рис. 6. СЕМ-зображення нульмірної структури In/InP.

Такі нанорозмірні структури у певному наближенні можна вважати квантовими точками, тому що наявні кластери обмежені за всіма трьома координатами (нульмірні структури) та за таких малих розмірів виникають квантово-розмірні ефекти. Було проведено хімічний аналіз поверхні кристалу, в результаті

якого встановлено, що поверхня кристалу майже не містить атомів кисню. Це говорить про те, що оксидна плівка не утворилася під час анодування, та структура в цьому сенсі вважається якісною. Ділянки, вільні від нанокластерів складаються майже порівну з атомів індію та фосфору з незначним порушенням стехіометрії у бік надлишку фосфору. В той самий час, кластери майже повністю складаються з атомів індію. З цього приводу можна зробити припущення, що утворення структур відбувалося за наступним механізмом. Під час травлення під дією магнітного поля атому індію “стікаються” один до одного, утворюючи кластери індію. Слід врахувати той фактор, що високу чутливість до дії поля проявляють приповерхневі шари напівпровідника. При цьому значно змінюються сорбційні властивості поверхні. Очевидно, що зміна фазового, структурного та термодинамічного стану поверхні кристалів в результаті дії магнітного поля може суттєво впливати на реакційну властивість, кінетику твердофазних процесів за їх участю. Основним фактором, що є відповідальним до чутливості кристалів A^3B^5 до імпульсної магнітної обробки, є наявність комплексів власних точкових дефектів, що здатні розпадатися під слабкою магнітною дією. Утворення власних дефектів в кристалах фосфіду індію обумовлено, насамперед, складом надлишкової кількості вакансій летючого компоненту – фосфору, що здатні до формування комплексів з антиструктурними дефектами InP. ІМП-індуцований розпад цих дефектних комплексів в глибині кристалу супроводжується появою рухливих вакансій фосфору, що дифундують з об’єму кристалу до поверхні, як природничому стоку для точкових дефектів. Дифузія вакансій фосфору до поверхні еквівалентна “залікуванню” їх в об’ємі кристалу, що дифундують назустріч своїм вакансіям з поверхні. Ухід атомів фосфору вглиб кристалу призводить до збагачення приповерхневого шару другим компонентом – індієм.

Наслідком цього є зміна топології поверхні, збільшення кількості структурних дефектів в приповерхневих шарах та її активація, що призводить до утворення кластерів індію на поверхні кристалу.

ВИСНОВКИ

Таким чином, в роботі продемонстровано що електрохімічне травлення дозволяє формувати на поверхні напівпровідника фосфіду індію різноманітні структури. Змінюючи умови травлення, можна отримувати надгратки, поруваті шари, текстуровані поверхні, нульмірні структури та кластери оксидів. Це дозволяє розглядати фосфід індію та структури на його основі як перспективний матеріал для виготовлення лазерів, сенсорів, біосенсорів, сонячних батарей тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сычикова Я.А., Кидалов В.В., Сукач Г.А. Формирование пористой структуры фосфида индия с заданными свойствами: монография. – Донецк: Юго-Восток, 2010. – 230 с.
2. Taketomo Sato, Toshiyuki Fujino, Hideki Hasegawa. Self-assembled formation of uniform InP nanopore arrays by electrochemical anodization in HCl based electrolyte//Applied Surface Science. – 2006. – Vol. 2525. – P. 457-146.
3. Toshiyuki Fujino, Takeshi Kimura, Taketomo Sato, Hideki Hasegawa, Tamotsu Hashizume Electrochemical Formation of Chaotic and Regular Nanostructures on (001) and (111)B InP Substrates and Their Photoluminescence Characterizations//e-Journal of Surface Science and Nanotechnology. – 2006. – Vol. 4. – P. 184-190.
4. Сычикова Я.А. Влияние состава электролита на величину порогового напряжения начала порообазования фосфида индия//ФИП. – 2010. – Т. 8, №3. – С. 259-264.
5. Сычикова Я.А., Кидалов В.В., Сукач Г.А. Исследование полос роста фосфида индия методом селективного электрохимического травления//Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2010. – № 1. – С. 52-57.
6. Suchikova J.A., Kidalov V.V., Sukach G.A. Morphology of porous *n*-InP (100) obtained by electrochemical etching in HCl solution//Functional Materials 17. – 2010. – № 1. – P. 1-4.
7. Пат. 49947 Україна, МПК(2006): G01N 27/00. Спосіб отримання поруваної поверхні фосфіду індію *p*-типу методом фотоелектрохімічного травлення/Сичікова Я.О., Кідалов В.В., Сукач Г.О.; заявник та патентовласник Сичікова Я.О. – u201003113; заявл. 18.03.2010; опубл. 11.05.2010. Бюл. № 9/2010.
8. Сычикова Я.А., Кидалов В.В., Балан О.С., Сукач Г.О. Тестування поверхні фосфіду ін-

дію//Жур. нано- і електрон. фіз. – 2010. – № 1. – С. 84-88.

9. Сычикова Я.А., Кидалов В.В., Сукач Г.А. Влияние дислокаций на процесс порообразования в монокристаллах n -InP(111)// Физика и техника полупроводников. – 2011. – Т. 45, № 1. – С. 123-126.

LITERATURA

1. Sychikova Ya.A., Kidalov V.V., Sukach G.A. Formirovanie poristoj struktury fosfida indiya s zadannymi svojstvami: monografiya. – Doneck: Yugo-Vostok, 2010. – 230 s.
2. Taketomo Sato, Toshiyuki Fujino, Hideki Hasegawa. Self-assembled formation of uniform InP nanopore arrays by electrochemical anodization in HCl based electrolyte//Applied Surface Science. – 2006. – Vol. 2525. – P. 457-146.
3. Toshiyuki Fujino, Takeshi Kimura, Taketomo Sato, Hideki Hasegawa, Tamotsu Hashizume Electrochemical Formation of Chaotic and Regular Nanostructures on (001) and (111)B InP Substrates and Their Photoluminescence Characterizations//e-Journal of Surface Science and Nanotechnology. – 2006. – Vol. 4. – P. 184-190.
4. Sychikova Ya.A. Vliyanie sostava elektrolita na velichinu porogovogo napryazheniya nachala poroobazovaniya fosfida indiya//FIP. - 2010. – Т. 8, №3. – S. 259-264.
5. Sychikova Ya.A., Kidalov V.V., Sukach G.A. Issledovanie polos rosta fosfida indiya metodom selektivnogo elektrohimicheskogo travleniya// Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2010. – № 1. – S. 52-57.
6. Suchikova J.A., Kidalov V.V., Sukach G.A. Morphology of porous n -InP (100) obtained by electrochemical etching in HCl solution//Functional Materials 17. – 2010. – № 1. – P. 1-4.
7. Pat. 49947 Ukraina, MPK(2006): G01N 27/00. Sposib otrimannya poruvatoї poverhni fosfidu indiyu p -tipu metodom fotoelektrohimichnogo travlennya/Sichikova Ya.O., Kidalov V.V., Sukach G.O.; zayavnik ta patentovlasnik Sichikova Ya.O. – u201003113; zayavl. 18.03.2010; opubl. 11.05.2010. Byul. № 9/2010.
8. Sychikova Ya.A., Kidalov V.V., Balan O.S., Sukach G.O. Testuruvannya poverhni fosfidu indiyu //Zh. nano- i elektron. fiz. – 2010. – № 1. – S. 84-88.
9. Sychikova Ya.A., Kidalov V.V., Sukach G.A. Vliyanie dislokacij na process poroobrazovaniya v monokristallah n -InP(111)//Fizika i tehnika poluprovodnikov. – 2011. – Т. 45, № 1. – S. 123-126.