

PACS numbers: 61.43Gt, 78.30Fs, 78.55m

## ТЕКСТУРУВАННЯ ПОВЕРХНІ ФОСФІДУ ІНДІЮ

**Я.О. Сичікова<sup>1</sup>, В.В. Кідалов<sup>1</sup>, О.С. Балан<sup>1</sup>, Г.О. Сукач<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Бердянський державний педагогічний університет,  
вул. Шмідта, 4, 71100, Бердянськ, Україна,  
E-mail: [v.v.kidalov@mail.ru](mailto:v.v.kidalov@mail.ru)

<sup>2</sup> Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України,  
пр. Науки 41, 03028, Київ, Україна

*У роботі запропоновано метод фотоелектрохімічного текстурування поверхні монокристалічного фосфіду індію. За допомогою скануючої електронної мікроскопії встановлено оптимальні умови, за яких можливе формування зразків з розвинутою морфологією та рівномірним розподілом кластерів по поверхні.*

**Ключові слова:** ФОСФІД ІНДІЮ, ФОТОЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ТРАВЛЕННЯ, СКАНУЮЧА ЕЛЕКТРОНА МІКРОСКОПІЯ, ПІРАМІДАЛЬНІ КЛАСТЕРИ, АНІЗОТРОПІЯ КРИСТАЛУ.

*(Одержано 13.04.2010, у відредагованій формі – 29.04.2010)*

### 1. ВСТУП

Потреби сучасного суспільства в обробці та передачі зростаючих об'ємів інформації призвели до створення надшвидкісних оптоелектронних інтегральних схем на кремнії та бінарних напівпровідниках. Технологічно об'єднання транзисторних структур в надвеликі інтегральні схеми обмежується фізичними межами зменшення розмірів мікрообластей, низьку рухомість заряду в напівпровідниках. Вихід з цих ускладнень – у збільшенні функціональних можливостях елементів [1-3]. 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. Не можна не згадати про зростаючий інтерес до пористого фосфіду індію, який має незвичайні оптичні та електричні властивостями в порівнянні з монокристалічний InP. Цьому питанню присвятили свою увагу чимало вчених [4-7]. Проте, формування поруватих структур можливо лише за умови використання

напівпровідника *n*-типу. Дана робота присвячена питанню збільшення ефективної площі *p*-InP, що реалізується способом текстурування поверхні, який стає все більш популярним серед науковців та інженерів. Такі структури можуть знайти застосування при виготовленні сенсорів (так як їх чутливість залежить від площі поверхні) та сонячних батарей (можливість накопичення рекордної кількості енергії). У даний час вважається, що для забезпечення отримання текстурованої поверхні із заданими властивостями бажано використання методів іонного, плазмохімічного травлення, лазерної обробки у поєднанні з літографією. Але ці методи є технологічно складними, до того ж вони значно підвищують вартість структур, що виготовляються, тому є економічно не вигідними.

В основу представленого дослідження поставлена задача отримання текстурованого шару фосфіду індію *p*-типу методом фотоелектрохімічного травлення, який є простим та не потребує спеціального обладнання. Доказом виникнення текстурованих структур на поверхні може служити зображення поверхні, отримане за допомогою растрового електронного мікроскопу (модель JSM-6490).

## 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Для експерименту були обрані зразки монокристалічного *p*-InP (100) з концентрацією носіїв  $2,3 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Як електроліт використовувалися розчини плавикової, бромідної та соляної кислот. Густина струму вибиралася в діапазоні від 30 до 180 мА/см<sup>2</sup>, час травлення від 5 ÷ 30 хвилин. Перед процедурою зразки очищалися в ацетоні, метанолі й дистильованій воді, після чого просушувалися в струмені азоту. Після сушки проводилося текстурування пластин монокристалічного фосфіду індію в анізотропних травниках з різною швидкістю травлення на різних гранях монокристалу. Під час травлення пластин використовувався режим освітлення зразків вольфрамовою лампою потужністю від 20 до 250 Вт. Зразок занурюють у розчин кислоти. Катодом в електрохімічній комірці служить пластина платини, потенціостат використовують для регулювання щільності струму та/або напруги анодування.

## 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Суть методу полягає у наступному. При зануренні напівпровідникової пластини InP в розчин травника, його молекули адсорбуються на поверхні пластини. При пропусканні через електроліт постійного струму адсорбовані молекули вириваються з поверхні пластини. При цьому атоми фосфору легше адсорбують з іонами водню, що забезпечує більш швидке витравлювання підґратки фосфору. Стехіометрія зразка порушується у бік збільшення концентрації атомів індію. 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 текстури. Таким чином,

оптимальні умови для отримання якісної текстурованої поверхні *p*-InP наведено нижче: склад травника  $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O} = 1:1$ ; густина струму  $150 \text{ mA/cm}^2$ ; час травлення 8 хвилин; потужність вольфрамової лампи 200 Вт.

Рис.1 демонструє морфологію текстурованої пластини фосфіду індію. З рисунку 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.

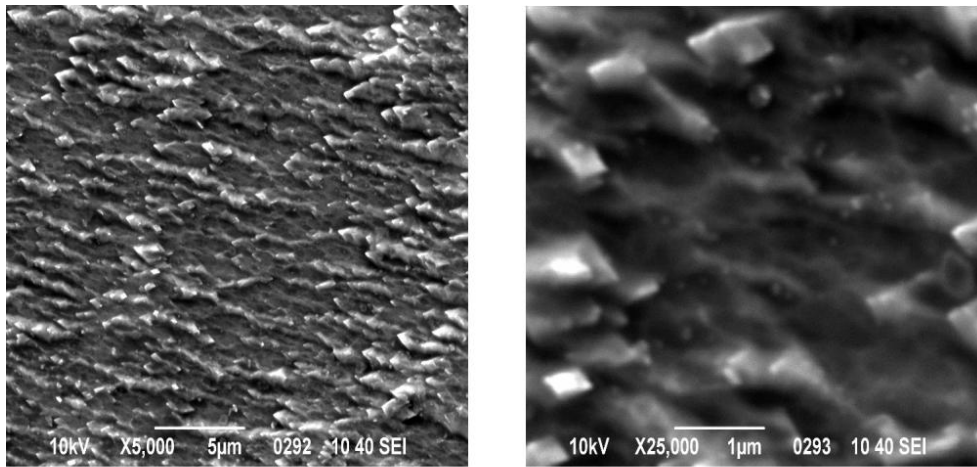


Рис. 1 – Текстурована поверхня *p*-InP

Використання густини струму вище ніж  $150 \div 170 \text{ mA/cm}^2$  спостерігається в травлюванні шару фосфіду індію товщиною близько  $8 \div 10 \text{ мкм}$ , при густинах струму, нижчих за вказану межу піраміди мають недостатньо виражену форму та висоту (меншу за  $0,5 \text{ мкм}$ ). 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  $1 \text{ мкм}$ ). Слід зауважити, що розчини інших кислот теж не забезпечує достатній рівень текстурування поверхні. Крім того, монокристали фосфіду індію *n*-типу взагалі демонструють нездатність для текстурування. Справа в тому, що пластини з електронним типом провідності при анодуванні в розчинах кислот легко розтравлюються, формуючи при цьому поруваті шари.

#### 4. ВИСНОВКИ

В даній роботі запропоновано метод текстурування поверхні монокристалічного  $p$ -InP. Запропонований спосіб текстурування технічно простий, для його реалізації застосовуються дешеві реактиви, він не потребує спеціального обладнання, тому є економічно вигідним. Встановлено оптимальні умови, за яких можливе формування зразків з розвинутою морфологією та рівномірним розподілом кластерів по поверхні злитку.

#### TEXTURATION OF THE PHOSPHIDE INDIUM SURFACE

*Y.A. Suchikova*<sup>1</sup>, *V.V. Kidalov*<sup>1</sup>, *O.S. Balan*<sup>1</sup>, *G.A. Sukach*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Berdyansk State Pedagogical University,  
4, Shmidta Str., 71100, Berdyansk, Ukraine  
E-mail: [v.v.kidalov@mail.ru](mailto:v.v.kidalov@mail.ru)

<sup>2</sup> V.Lashkaryov's Institute of Semiconductor Physics NASU,  
41, Nauky Av., 03028, Kyiv, Ukraine

*In this work the photoelectrochemical method texturation of the monocrystal InP surface is presented. By means of scanning electron microscopy optimum conditions for the developed morphology formation with uniform clusters distribution on a InP surface are established.*

**Keywords:** PHOSPHIDE INDIUM, PHOTOELECTROCHEMICAL ETCHING, SCANNING ELECTRON MICROSCOPY, PYRAMIDAL CLUSTERS, CRYSTAL ANISOTROPY.

#### ТЕКСТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ФОСФИДА ИНДИЯ

*Y.A. Сычикова*<sup>1</sup>, *В.В. Кидалов*<sup>1</sup>, *А.С. Балан*<sup>1</sup>, *Г.А. Сукач*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Бердянський державний педагогічний університет,  
ул. Шмидта, 4, 71100, Бердянськ, Україна  
E-mail: [v.v.kidalov@mail.ru](mailto:v.v.kidalov@mail.ru)

<sup>2</sup> Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова,  
пр. Науки 41, 03028, Київ, Україна

*В работе представлен метод фотоэлектрохимического текстурирования поверхности монокристаллического фосфида индия. С помощью сканирующей электронной микроскопии установлены оптимальные условия, при которых возможно формирование развитой морфологии на поверхности фосфида индия с равномерным распределением кластеров по поверхности.*

**Ключевые слова:** ФОСФИД ИНДИЯ, ФОТОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ, СКАНИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ, ПИРАМИДАЛЬНЫЕ КЛАСТЕРЫ, АНИЗОТРОПИЯ КРИСТАЛЛА.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ж.И. Алферов, *ФТП* **32**, 3 (1998).
2. В.И. Осинский, В.В. Луговский, Ю.Е. Николаенко, *ТКЭД* №4, 12 (1997).
3. Т. Nakano, *Jpn. J. Appl. Phys.* **6**, 854 (1967).

4. I. Simkiene, J. Sabataityte, A. Kindurys, M. Treideris, *Acta Phys. Pol. A* **113**, 1085 (2008).
5. U. Schlierf, D.J. Lockwood, M.J. Graham, P. Schmuki, *Electrochim. Acta* **49**, 1743 (2004).
6. P. Schmuki, U. Schlierf, T. Herrmann, G. Champion, *Electrochim. Acta* **48**, 1301 (2003).
7. E.P. Domashevskaya, V.M. Kashkarov, P.V. Seredin, V.A. Terekhov, S.Yu. Turishchev, I.N. Arsentyev, V.P. Ulin, *Mat. Sci. Eng. B* **147**, 144 (2008).