

Синтез епітаксіальних шарів нітриду індію на підкладці поруватого фосфіду індію

Я.О. Сичікова

Бердянський державний педагогічний університет, вул. Шмідта, 4, 71106 Бердянськ, Україна

(Одержано 02.05.2015; опубліковано online 20.10.2015)

У роботі представлено методику отримання плівки InN на поруватих підкладках InP методом радикало-променевої гетеруючої епітаксії. За результатами оже-спектроскопії, товщина плівок InN складала від 100 нм до 0,5 мкм в залежності від технологічних умов травлення.

Ключові слова: Нітрид індію, Поруватий фосфід індію, Буферний шар, Епітаксія, Електрохімічне травлення, Період ґратки.

PACS numbers: 61.43Gt, 78.30Fs, 78.55m

1. ВСТУП

Нітриди третьої групи привертають увагу дослідників завдяки наявності у них унікальних оптичних та електричних властивостей [1, 2]. Ці матеріали знаходять все більш широке застосування в сучасній твердотільній електроніці та оптоелектроніці завдяки наступним фізичним властивостям: прямозонність, наявність спонтанної поляризації та сильного п'єзоефекту, висока теплопровідність, можливість отримувати як *p*- так і *n*-тип. Вузькозонність нітриду індію робить його привабливим для створення фотодіодів з високою чутливістю. Низьке значення ширини забороненої зони ($E_g = 0,7$ eV при 300 K) дозволяє розраховувати на можливість використання цього матеріалу для виготовлення фотоприймачів ІК-діапазону [3]. На основі InN можуть бути вироблені світлодіоди, датчики та високочастотні прилади.

Умови синтезу шарів InN, як правило, несприятливі через невисоку температуру дисоціації [4]. Невідповідність параметрів кристалічних ґраток InN та монокристалічної підкладки призводить до зниження кристалічної якості епітаксіальних шарів [5].

Останнім часом у галузі вирощування епітаксіального InN значна увага приділяється підкладкам InP завдяки таким якостям, як низький опір омичних контактів, практично співпадаючі за орієнтацією площини розколу для InN та InP. Іншою привабливістю InP є можливість отримувати тонкі поверхневі шари InN за рахунок нітридизації (обробка у плазмі атомарного азоту), що зумовлює можливість вирощування кубічної модифікації InN внаслідок зберігання кубічної структури підкладки при конвертації поверхневих шарів підкладок InP у InN [6, 7]. Крім того, нітридизація підкладок InP представляється перспективним засобом отримання напівпровідникових потрійних сполук $\text{InN}_x\text{P}_{1-x}$ із заданою величиною параметру x , що дозволить керувати випромінюванням у широкому діапазоні – від інфрачервоної до ультрафіолетової області.

Головною проблемою отримання плівок InN на чужорідних підкладках є невідповідність періодів ґраток плівки нітриду та використовуваної підкладки. Це призводить до появи значної кількості дефектів на межі плівки InN та підкладки і, як наслідок, поганої якості отримуваних плівок InN. Рішення цієї задачі є застосування «м'яких» підкладок, а саме

поруватих просторів фосфіду індію, що здатні приймати на себе пружні деформації, що виникають в процесі її формування та послідуєного охолодження, й забезпечувати відтік для дислокацій невідповідності.

В даній роботі продемонстровано можливість отримання плівок нітриду індію високої якості на підкладці поруватого фосфіду індію. Досліджено морфологію та хімічний склад шарів InN.

2. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Поруваті шари фосфіду індію формували на поверхні монокристалічного *n*-InP. Для отримання поруватого фосфіду індію при електрохімічному травленні використовувались електроліти на основі соляної кислоти. Підтримання постійної температури при електрохімічному травленні забезпечувалося за допомогою циркуляції електроліту через термостат. Перед електрохімічним травленням з оборотної сторони пластини наносили омичний контакт за допомогою вакуумного пристрою ВУП.

Шари нітриду індію отримували методом радикало-променевої гетеруючої епітаксії. Головна відмінність цього методу від традиційної епітаксії в тому, що один компонент поступає з газової фази (атомарний азот), а інший (індій) – гетерується з об'єму кристалу. Іншою важливою особливістю цього методу є розподіл температури в реакторі. Оброблюваний кристал знаходиться у вузькій зоні високотемпературної частини реактору, а температура всього реактору нижча (рис. 1). Такий температурний профіль призводить до видалення домішок з зони росту в низькотемпературну частину реактору, що обумовлює високу чистоту шарів, що формуються.

У якості атомарного азоту використовується особливо чистий аміак, який проходить через високочастотний розряд, у результаті чого утворюється атомарний азот, який є хімічно активним. Потік атомарного азоту потрапляє на кристал фосфіду індію (температура зразка 400 C, час експерименту 1,5 год) в результаті чого відбувається процес конвертації поверхневих шарів на поверхні поруватого InP виникають тонкі плівки InN.

У якості високо вакуумного насоса використовували турбомолекулярний насос ВМН-150М. Для виявлення картини формування епітаксійних шарів

нітриду індію та оцінки якості отриманих напівпровідникових структур використовували метод скануючої електронної мікроскопії. Хімічний склад поверхневих шарів встановлювали методом електронної спектроскопії для хімічного аналізу (EDAX). Розподіл компонентів по глибині досліджували методом оже-спектроскопії.

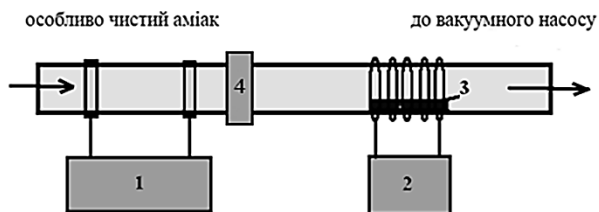


Рис. 1 – Принципова схема для отримання плівок InN на поруватих підкладках фосфіду індію методом радикало-променевої епітаксії: (1) генератор УВЧ; (2) джерело напруги для підгріву зразків; (3) поруваті зразки; (4) регулюючий клапан

3. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Незаперечним є той факт, що морфологія поруватих структур значним чином залежить від часу травлення. Правильний підбір терміну електролітичної реакції відіграє вирішальну роль в отриманні наноструктур. Крім того, час травлення виявляє чітку кореляцію з глибиною проростання поруватого шару (табл. 1).

При використанні розчинів галогенів і середньої щільності струму (30-100 мА/см²) активний початок процесу пороутворення спостерігався приблизно через дві хвилини. При травленні *n*-InP протягом (5-15) хвилин спостерігається утворення більш-менш якісного поруватого шару у широкому діапазоні поляризувальної напруги та при різних складах електроліту. При збільшенні часу травлення до 20 хв і більше імовірними стають декілька сценаріїв перебігу подальшого електролітичного процесу:

- припинення зростання поруватого шару внаслідок таких феноменів, як ефект пасивації, утворення суцільних нерозчинних плівок, збіднення електроліту до критичного значення при якому для подальшого зародження пор вже не вистачає аніонів фтору чи хлору;
- значне розтравлювання поверхні, при якому отримані зразки характеризуються сильно порушеною морфологією. При цьому вже неможливо говорити про збереження монокристалічності поверхні матеріалу внаслідок того, що руйнується кристалічна ґратка кристалу;

Таблиця 1 – Залежність поруватості фосфіду індію від часу травлення

№ зразка	<i>t</i> , хв	поруватість, %
1	2	15
2	3	18
3	5	32
4	7	38
5	10	44
6	12	46
7	15	52
8	18	67
9	20	70
10	25	72

– повне або часткове розчинення продуктів реакції. Утворений раніше поруватий шар розтравлюється до такого стану, що просто «розсипається» в процесі електролізу з виділенням у розчин електроліту фосфору та індію.

З таблиці випливає, що поруватість фосфіду індію знаходиться в прямій залежності від умов травлення: дана величина тим вище, чим більше час анодування зразків. Очевидним є також той факт, що час травлення корелює з розміром та формою наноструктур.

Рис. 2 демонструє зображення морфології поруватого зразка фосфіду індію, отриманого шляхом електролітичного травлення *n*-InP (100) в розчині соляної кислоти. На рисунку можна бачити упорядкований ансамбль пор, який утворився на підкладці з монокристалічного фосфіду індію. Пори проросли по всій поверхні злитка. Розмір пір складає в середньому 40 нм, що свідчить про те, що дана структура є нанорозмірною. Розмір стінок між порами знаходиться в межах (5-10) нм. Глибина проростання каналів пір складає приблизно 35 мкм.

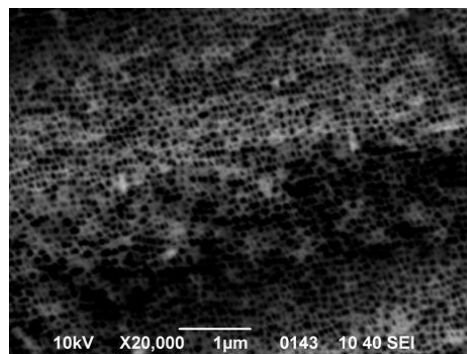


Рис. 2 – Морфологія поруватого InP (100)

Головною проблемою отримання плівок InN на чужорідних підкладках є невідповідність періодів ґраток нітриду та використовуваної підкладки. Це призводить до появи значної кількості дефектів на межі плівки InN та підкладки і, як наслідок, поганої якості отримуваних плівок InN. Рішення цієї задачі є застосування «м'яких» підкладок, а саме поруватих просторів фосфіду індію, що здатні приймати на себе пружні деформації, що виникають в процесі її формування та послідувального охолодження, й забезпечувати відтік для дислокацій невідповідності [8].

Так, згідно з результатами скануючої електронної мікроскопії (на сколі), було отримано плівку InN товщиною 1,2 мкм (рис. 3а).

За результатами мікроскопії було встановлено, що у випадку розмірів кристалітів підкладки InP менш

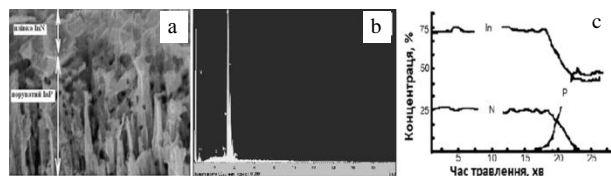


Рис. 3 – Утворення плівки InN / пор-InP: а) СЕМ-зображення розколу, б) хімічний склад елементів на поверхні, в) концентраційні профілі розподілу компонентів

ніж 100 нм, відбувається ріст суцільної плівки InN у результаті заростання поруватої підкладки фосфіду індію. Мінімальне значення шерохватості плівки нітриду індію складає 25 нм. Результати структурного аналізу за допомогою дифрактометричних досліджень свідчать про високу кристалічну якість, методом EDAX було встановлено хімічний склад отриманих плівок. Аналіз цих результатів показує, що на поверхні формується нестехіометрична плівка InN (рис. 3б). Методом оже-спектроскопії було доведено утворення плівки нітриду індію (рис. 3в). Товщина плівки InN становить від 100 нм до 0,5 мкм в залежності від умов травлення.

4. ВИСНОВКИ

Таким чином, в даній роботі показана можливість отримання високоякісних плівок InN на поруватих підкладках InP методом радикало-променевої гетеруючої епітаксії. Методом оже-спектроскопії було доведено утворення плівки нітриду індію. Товщина плівки InN становить від 100 нм до 0,5 мкм в залежності від умов травлення.

Синтез епитаксиальних слоїв нітрида індія на підложці пористого фосфіда індія

Я.А. Сычикова

Бердянський державний педагогічний університет, ул. Шмидта, 4, 71106 Бердянськ, Україна

В роботі представлена методика отримання плівки InN на пористих підложках InP методом радикало-лучевої гетеруючої епітаксії. По результатам оже-спектроскопії, товщина плівок InN складала від 100 нм до 0,5 мкм в залежності від технологічних умов травлення.

Ключевые слова: Нітрид індія, Пористий фосфід індія, Буферний слой, Епітаксія, Електрохімічне травлення, Період решітки.

Synthesis of Indium Nitride Epitaxial Layers on a Substrate of Porous Indium Phosphide

J.A. Suchikova

Berdyansk State Pedagogical University, 4, Schmidt Str., 71106 Berdyansk, Ukraine

The paper presents a technique to obtain InN films on porous InP substrates by radical-beam gettering epitaxy. According to the results of the Auger spectroscopy, InN film thickness ranged from 100 nm to 0.5 microns depending on the etching conditions.

Keywords: Indium nitride, Porous indium phosphide, Buffer layer epitaxy, Electrochemical etching, Lattice constant.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В.В. Ратников, В.В. Мамутин, В.А. Векшин, С.В. Иванов, *ФТТ* **43** № 5, 913 (2001) (V.V. Ratnikov, V.V. Mamutin, V.A. Vekshin, S.V. Ivanov, *Phys. Solid State* **43** No 5, 949 (2001)).
2. W. Walukiewicz, J.W. Ager, K.M. Yu, Z. Liliental-Weber, J. Wu, S.X. Li, R.E. Jones, J.D. Denlinger, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **39**, R83 (2006).
3. С.В. Шутов, Э.С. Аппазов, *Письма в ЖТФ* **30** № 8, 7 (2004) (S.V. Shutov, E.S. Appazov, *Techn. Phys. Lett.* **30** No 4, 307 (2004)).
4. В.В. Соболев, М.А. Злобина, *ФТП* **33** № 4, 395 (1999) (V.V. Sobolev, M.A. Zlobina, *Semiconductors* **33** No 4, 385 (1999)).
5. A.G. Bhuiyan, A. Hashimoto, A. Yamamoto, *J. Appl. Phys.* **94**, 2779 (2003).
6. А.Д. Погребняк, В.Н. Борисюк, А.А. Багдасарян, О.В. Максакова, Е.В. Смирнова, *Ж. нано- та електр. фіз.* **6** № 4, 04018 (2014) (A.D. Pogrebjak, V.N. Borisyuk, A.A. Bagdasaryan, O.V. Maksakova, E.V. Smirnova, *J. Nano- Electron. Phys.* **6** No 4, 04018 (2014)).
7. J.A. Suchikova, V.V. Kidalov, G.A. Sukach, *Functional Mater.* **17**, 1 (2010).
8. J. Suchikova, V.V. Kidalov, G.A. Sukach, *Int. Conf. – Functional Material (ICFM-2009)*, 395 (Ukraine: Crimea, Partenit: 2009).