

Низькорозмірні структури GaN

А.Ф. Дяденчук, В.В. Кідалов

Бердянський державний педагогічний університет, вул. Шмідта, 4, 71100 Бердянськ, Україна

(Одержано 13.05.2014; опубліковано online 29.11.2014)

Вперше досліджено низькорозмірні структури GaN на поверхні поруватого GaAs отримані методом нітридизації поруватих шарів GaAs, розглянуто процес електрохімічного травлення GaAs з подальшою обробкою в атомарному азоті, у результаті чого на поверхні GaAs формуються квантові точки GaN. При осадженні на поверхню GaAs відбувається заміщення атомів As атомами N, яке призводить до формування тонкого шару GaN на поверхні GaAs. Досліджено їх фотолюмінесценцію і морфологію поверхні методом скануючої електронної спектроскопії.

Ключові слова: Метод нітридизації, Квантові точки.

PACS numbers: 61.43Gt, 78.30Fs, 78.55m

1. ВСТУП

Дослідження властивостей поруватого кремнію дало поштовх для дослідження поруватих шарів в інших напівпровідниках. Все частіше дослідники стали намагатися знайти універсальний спосіб отримання низькорозмірних напівпровідникових матеріалів. Останнім часом вчені намагаються створити поруваті шари на бінарних і більш складних матеріалах шляхом їх електрохімічного травлення [1-5]. Багато повідомлень про такі сполуки (GaP, SiGe, SiC, GaAs та ін.) вже з'являлися в літературі.

Головна задача сучасної оптоелектроніки пошук матеріалів для ультрафіолетової області спектру. Нітрид-галієві епітаксійні плівки грають важливу роль у створенні приладів короткохвильової електроніки. Напівпровідникова сполука GaN є перспективними матеріалом для світлодіодів та лазерів які працюють у цьому діапазоні (GaN 3.4eV (360 nm)).

Однак для отримання випромінювання в більш далекій області ультрафіолетового випромінювання можна використовувати квантові точки GaN. Як відомо, при цьому відбувається зміщення основної полого фотолюмінесценції в ультрафіолетову область спектру. Тому цілком нашої роботи – отримати квантові точки GaN на поруватих напівпровідниках GaAs в результаті нітридизації, при якому відбувається конвертація нових шарів GaAs в GaN. Такі структури можуть знайти застосування при виготовленні сенсорів, ефективних джерел випромінювання, в області виробництва високопродуктивних сонячних батарей, світловипромінюючих і фотодіодів, фотодетекторів і навіть одноелектронних транзисторів.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Поруватий GaAs одержували шляхом електрохімічної обробки монокристалічного GaAs (001), що є анодом. Як електроліт використовували суміші плавикової, соляної і азотної кислот. Для експериментів як анод були використані зразки GaAs *n*-типу провідності з полірованою поверхнею, як катод – платина, які розміщуються паралельно один одному. Сам процес травлення здійснювався в електрохімічному осередку. В процесі експериментів змінювалися на-

ступні параметри: час дії, початкова сила струму, концентрація кислот.

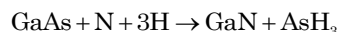
Пороутворення в GaAs відбувалося при травленні у водному розчині плавикової кислоти протягом часового проміжку від 10 до 30 хвилин, при вказаних складах і концентраціях компонентів електролітів щільності струмів варіювали в діапазоні від 8 до 400 мА/см². Експеримент проводився при кімнатній температурі.

Процес травлення проводився у декілька етапів:

1. поліровка поверхні, знежирення;
2. безпосередньо сам процес електрохімічного травлення;
3. очищення поверхні від продуктів травлення.

Нітридизація поруватого GaAs проводилась за наступними параметрами – час відпалу від 40 до 60 хв, температура відпалу 820-1020 К, робочий тиск у реакторі – 10⁻²-10⁻¹ бар.

Процес нітридизації (для отримання тонких шарів GaN) проводився в розряді N₂+H₂ (2 % H₂). Водень пов'язує миш'як в AsH₃ і останній адсорбується з поверхні відповідно до реакції



Дослідження фотолюмінесценції відбувалося при температурі 77 К, для чого використовувався азотний лазер ІЛПІ-503 з довжиною хвилі 337.1 нм та довжиною імпульсу 10 нс. За допомогою монохроматора МДР-12 було проаналізовано отримані спектри.

При осадженні на поверхню GaAs однією з важливіших проблем є заміщення атомів As атомами N, яке призводить до формування тонкого шару GaN на поверхні GaAs. Після осадження GaN починається розпад шару GaN на квантові точки.

Вивчення морфології відбувалося за допомогою скануючого електронного мікроскопу. На рис. 1 представлено морфологію квантових точок GaN на поверхні поруватих шарів GaAs (111), отриманих після відпалу в атомарному азоті. На вкладці показано хімічний склад квантових точок, отриманий за допомогою EDAX методу, відповідно до якого на поверхні отриманих зразків присутні атоми Ga і N.

Наслідком міграції іонів може бути переформування наночасток GaN, що супроводжується зміною

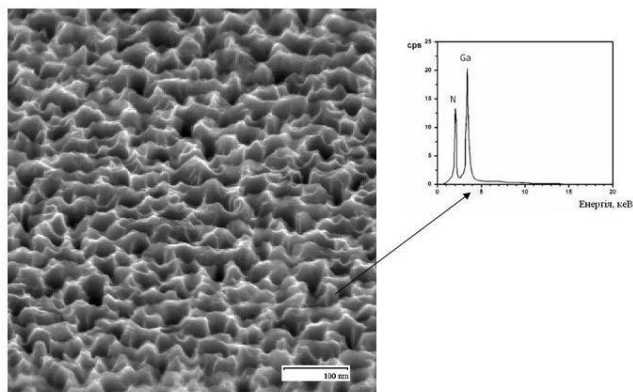


Рис. 1 – СЕМ-зображення квантових точок GaN на поверхні поруватих шарів GaAs (111), отриманих після відпалу в атомарному азоті (вкладка – хімічний склад квантових точок, отриманий за допомогою EDAX методу)

їх стехіометрії і розміра, що призводить до зсуву максимуму полоси в спектрах ФЛ.

На рис. 2 представлено спектр ФЛ отриманої структури. Як видно з цього рисунка, відбувається зсув основної полоси ФЛ. Спектр ФЛ отриманих структур представляє собою симетричну полосу з максимумом при 337 нм. Зміщенням основної смуги ФЛ відбувається в короткохвильову область спектру, яке можна пояснити за допомогою квантово-розмірного ефекту (електронно-оптичні властивості квантово-розмірних структур залежать від розміру кристала в напрямку, за яким обмежено рух носіїв заряду). Спектр отриманої структури, у порівнянні зі спектром ФЛ GaN, суттєво розширений, максимум його смуги випромінювання зміщено в сторону, пік полоси ФЛ розширюється поблизу енергії 3,6 еВ (345 нм).

Спостережені спектри ФЛ квантових точок на поверхні GaN характеризуються зміщенням основної смуги ФЛ в короткохвильову область спектру, яке можна пояснити за допомогою квантово-розмірного ефекту (електронно-оптичні властивості квантово-розмірних структур залежать від розміру кристала в напрямку, за яким обмежено рух носіїв заряду).

Енергія високоенергетичних квантових переходів, що зумовлена обмеженням розмірів квантових об'єктів, може бути представлена як функція діаметру наноб'єктів d :

Низкоразмерные структуры GaN

А.Ф. Дяденчук, В.В. Кивалов

Бердянський державний педагогічний університет, ул. Шмидта, 4, 71100 Бердянськ, Україна

Впервые исследованы низкоразмерные структуры GaN на поверхности пористого GaAs полученного методом нитридации пористых слоев GaAs, рассмотрен процесс электрохимического травления GaAs с последующей обработкой в атомарном азоте, в результате чего на поверхности GaAs формируются квантовые точки GaN. При осаждении на поверхность GaAs происходит замещение атомов As атомами N, которое приводит к формированию тонкого слоя GaN на поверхности GaAs. Исследованы их фотолюминесценция и морфология поверхности методом сканирующей электронной спектроскопии.

Ключевые слова: Метод нитридации, Квантовые точки.

$$\hbar\omega = E_g + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2R^2} \left[\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right] - \frac{1,786e^2}{\epsilon_1 R},$$

де другий доданок відповідає за енергію електрона і дірки, поміщених в потенційну яму, третій доданок враховує їх кулонівську взаємодію між собою.

Підставивши отримані дані в рівняння отримуємо при $d = 20-30$ нм значення енергії $\Delta E = 3,6$ еВ ($\lambda = 345$ нм), а зміщення спектру становитиме 23 нм. Ці результати демонструє спектр фотолюмінесценції квантових точок GaN, зображений на рис. 2.

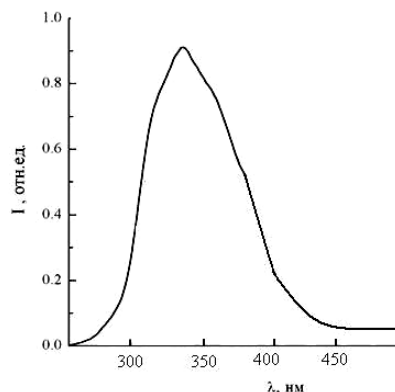


Рис. 2 – Спектр фотолюмінесценції квантових точок GaN

Зсув спектру становитиме 23 нм, що відповідає значенню енергії $\Delta E = 3,6$ еВ ($\lambda = 345$ нм). Ці результати демонструє спектр фотолюмінесценції квантових точок GaN, зображений на рис. 2. Фотолюмінесценція показала, що розмір квантових точок GaN складає приблизно 20-30 нм.

3. ВИСНОВКИ

Таким чином, результати дослідження свідчать про те, що на поверхні поруватого GaAs формуються квантові точки GaN. Розмір квантових точок GaN складає приблизно 20-30 нм. Зміщення спектрів фотолюмінесценції квантових точок GaN отриманих відпалом поруватих шарів GaAs в атомарному азоті пояснюється за допомогою квантово-розмірного ефекту.

GaN Low-dimensional Structures

A.F. Dyadenchuk, V.V. Kidalov

Berdyansk State Pedagogical University, 4, Shmydta, 71100 Berdyansk, Ukraine

The GaN low-dimensional structures obtained by nitridation of GaAs porous layers were investigated for the first time. The process of GaN quantum dots formation on the GaAs surface was considered. This process was a result of electrochemical etching of GaAs followed by treatment in atomic nitrogen environment. Nitrogen atoms, which were deposited on the GaAs surface, replace arsenic ones that lead to the formation of a thin GaN layer on the GaAs surface. The photoluminescence and surface morphology of the structures obtained were studied by scanning electron spectroscopy.

Keywords: Nitridation method, Quantum dots.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Д.Н. Горячев, О.М. Сресели, *Физика и техника полупроводников* **37** No 11, 1383 (1997).
2. P. Schmuki, J. Frazer, C.M. Vitus, M.J. Graham, H.S. Isaacs, *J. Electrochem. Soc.* **143**, 3316 (1996).
3. P. Schmuki, D.J. Lockwood, H.J. Labb'e, J.W. Fraser, *Appl. Phys. Lett.* **69**, 1620 (1996).
4. А.Л. Лебедев, Ю.В. Рудь, *Письма ЖТФ* **22**, 12 (1996) (A.L. Lebedev, Yu.V. Rud, *Tech. Phys. Lett.* **22**, 12 (1996)).
5. B.H. Erne, D. Vanmeakelbergh, J.J. Kelly, *Adv. Mater.* **7**, 739 (1995).