

УДК 661.868.1:621.372.82

DOI: 10.31673/2412-9070.2023.048090

С. В. СІМЧЕНКО, канд. фіз.-мат. наук;

Ю. А. ГЛУЩЕНКО, канд. фіз.-мат. наук, доцент,

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

ОТРИМАННЯ КЛАСТЕРІВ НІТРИДУ ГАЛІЮ ДЛЯ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ

Запропоновано метод отримання світловипромінювальних кластерів нітриду галію (GaN) на підшарках із поруватого арсеніду галію (GaAs) завдяки обробленню підшарка атомами азоту із азотної ВЧ-плазми. Вивчено морфологічні та люмінесцентні властивості здобутих структур. Наведено обґрунтування можливості використання світловипромінювальних кластерів GaN для виготовлення світлодіодів та застосування останніх в оптоелектронних лініях зв'язку. Встановлено, що фотолюмінесцентні властивості кластерів GaN залежать від поруватості підшарка GaAs та геометричних розмірів сформованих кластерів.

Ключові слова: нітрид галію; поруватий GaAs; спектри фотолюмінесценції; оптоелектронні лінії зв'язку.

ВСТУП

Отримання якісних плівок нітриду галію *n*- та *p*-типів провідності дало змогу створити ефективні напівпровідникові «сині» діоди та лазери [1]. Нині GaN, що застосовується в промислових приладах, має гексагональну структуру.

Аналіз дослідження. Завдяки прогресу в отриманні якісних плівок GaN інтерес до такого напівпровідникового з'єднання істотно зріс. Основними проблемами при цьому залишилися забезпечення однофазності плівок GaN та зниження рівня їх дефектності через невідповідність періодів ґраток плівки та підшарка. Одним із можливих напрямів розв'язання цієї проблеми, зокрема отримання метастабільної кубічної фази GaN, є застосування «м'яких» поруватих підшарків, як запропоновано у [2; 3]. Незважаючи на досягнуті певні успіхи, проблему адгезії шару GaN до поруватого підшарка остаточно не вирішено. Під час використання суцільних шарів GaN у напівпровідникових світловипромінювальних приладах виникають складності, пов'язані з відшаруванням GaN від підшарка через різницю температурних коефіцієнтів розширення цих напівпровідникових сполук.

Мета дослідження. Метою дослідження є отримання світловипромінювальних покриттів GaN на підшарках із поруватого арсеніду галію та дослідження їх люмінесцентних характеристик.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Результати дослідження

У цій статті подано апробований метод отримання кластерів нітриду галію на підшарках із поруватого GaAs через оброблення підшарка атомами азоту з азотної ВЧ-плазми. Головною перевагою сформованих кластерів є зведення до мінімуму відшарування кластера в разі високих робочих температур.

Поруваті шари GaAs здобували за допомогою анодного електрохімічного травлення монокристалів *n*-GaAs (111), легованих кремнієм (концентрація основних носіїв $10^{15} \dots 10^{18} \text{ см}^{-3}$) у розробленій нами комірці з платиновим електродом (рис. 1) [4]. На звороті пластини GaAs було нанесено омичний контакт. Травлення здійснювали у спиртовому розчині 55% плавикової кислоти. Розчин готували за такою формулою: $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 1:1$ (за об'ємом). Поруваті підшарки отримували за різних умов травлення, що призводило до коливання ступеня поруватості GaAs від 30 до 55%, густину електричного струму варіювали в межах від 70 до 90 mA/cm^2 , час травлення становив 10-15 хв.

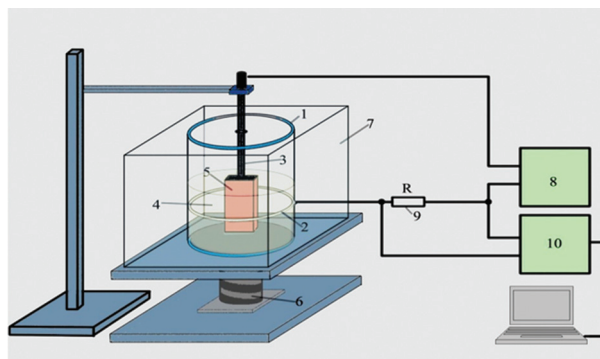


Рис. 1. Комірка для електрохімічного травлення: 1 — фторопластова ємність для електроліту; 2 — Pt-кільцевий електрод; 3 — тримач зразка; 4 — електроліт; 5 — зразок; 6 — регульована підставка; 7 — світлозахисний ковпак; 8 — прецизійне джерело напруги; 9 — вимірювальний опір; 10 — блок АЦП

Процес нітридизації здійснювали в кілька етапів, що складаються з циклів нагрівання-охолодження зразка в атмосфері атомно-молекулярної суміші $\text{N} + \text{N}_2$.

Температуру зразка контролювали термопарою хромель-алюмель, потік атомів азоту на зразок реєстрували за допомогою платинового ізотермічного мікрокалориметра [5]. Експеримент проводили

при потоках атомів $j = 10^{21} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$ і циклах нагрівання зразка 300 К, 350 К, 400 К, 450 К, 500 К, із кроком 50 К. Тривалість кожного циклу становила 20 хв. Після кожного циклу зразок охолоджували до 300 К і потім досліджували його люмінесцентні властивості при кімнатній температурі.

Під час зняття спектрів фотолюмінесценції зразка застосовувався світлосильний монохроматор ЗМР-3 та фотопомножувач ФЕУ-100. Збудження спектрів фотолюмінесценції зразка здійснювалося за допомогою ртутної лампи з використанням інтерференційного світлофільтра виробництва США (довжина хвилі 365 нм). Морфологія поруватих підшарків та отриманих кластерів GaN досліджувалась на растровому електронному мікроскопі РЕМ-109 (рис. 2 і рис. 3).

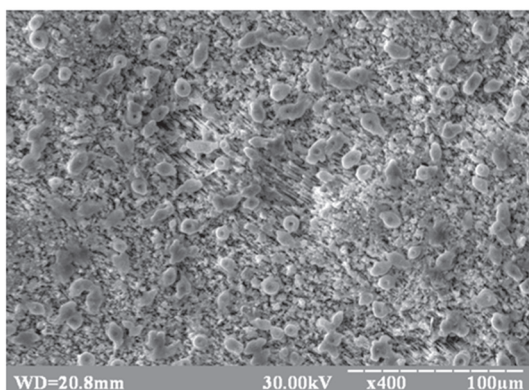


Рис. 2. Морфологія поруватої поверхні GaAs (травлення в електроліті на основі HF, $T = 300 \text{ К}$) після температурного відпаду в радикалах NH_3 ($T = 500 \text{ К}$, $j = 10^{21} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$)

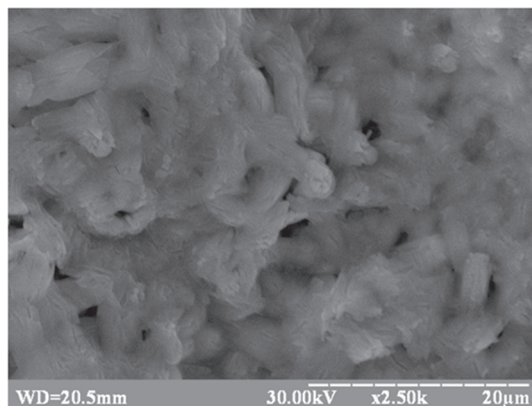


Рис. 3. Морфологія сформованих кластерів GaN на поверхні поруватого GaAs (температурний відпал в радикалах NH_3 ; $T = 500 \text{ К}$, $j = 10^{21} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$)

Обговорення результатів проведеного дослідження

У разі 300 К у спектрі фотолюмінесценції (ФЛ) спостерігалось два максимуми: в ультрафіолетовій (УФ) $\sim 380 \text{ нм}$ та червоній (710...725 нм) ділянках спектра (рис. 4). Червона смуга ФЛ зумовлена випромінювальною рекомбінацією в нанокристалах GaAs, що виступають на поверхню. Цікавим є факт, що червона ФЛ виявилася досить інтенсив-

ною: інтенсивність при 300 К становить $\sim 15\text{-}20\%$ від інтенсивності УФ ФЛ. Висока ефективність червоної ФЛ за відносно малій об'ємній частці нанокристалів GaAs свідчить про ефективне захоплення нерівноважних електронно-діркових пар, які генеруються в ультрафіолетовій ділянці поруватою матрицею GaAs.

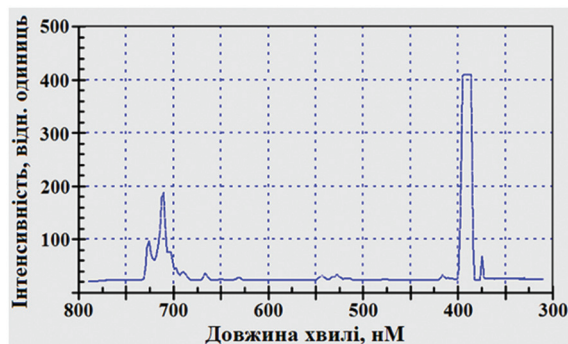


Рис. 4. Спектр фотолюмінесценції досліджуваної структури ($T = 300 \text{ К}$)

Велика відмінність заборонених зон GaN (3,37 eV) і GaAs (1,43 eV) безумовно відіграє важливу роль у цьому процесі.

Отже, вузькозонні нанокристали GaAs у GaN:As поведуться в рекомбінаційних процесах подібно до вбудованих гетероструктур або квантових точок у широкозонній матриці. Максимум, що припадає на УФ-ділянку, типовий для GaN і відповідає енергіям пов'язаних екситонів у гексагональній фазі.

ВИСНОВКИ

Результати експерименту показують, що найбільш яскраву ФЛ мають кластери GaN, вирощені на поруватому кристалі GaAs зі ступенем поруватості 45%. Зауважимо, що інтенсивність ФЛ практично не зменшувалася після кількох циклів прогрів-охолодження (550...300 К) такого зразка на повітрі, що відкриває перспективи використання здобутих структур для виготовлення надмініатюрних світловипромінювальних та оптоелектронних пристроїв.

Отже, у цій статті на приготовлених нами поруватих підшарках GaAs (111) отримано термічно стійкі гексагональні кластери GaN, що мають кращу адгезію до підшарка порівняно із суцільними плівками з цього самого напівпровідника.

Досліджено фотолюмінесцентні властивості отриманих кластерів GaN. Установлено, що спектральні характеристики випромінювання залежать від поруватості підшарка GaAs та геометричних розмірів сформованих кластерів.

Список використаної літератури

1. Дудин С. В. Плазменное травление гетероструктур на основе нитрида галлия при изготов-

лени оптикоэлектронных устройств // Физическая инженерия поверхности. 2006. Т. 4, № 1–2. С. 117–123.

2. Komarovskikh N. V., Fomina L. V., Beznosyuk S. A. Computer Modeling the Gallium Nitride Nanofilms on the Substrate of Gallium Arsenide // Chemistry. 2015. Vol. 4. P 163–168.

3. Photoluminescent and structural properties of GaN thin films obtained by radical-beam gettinger epitaxy on porous GaAs (0 0 1) / V. V. Kidalov, G. A. Sukach, A. O. Petukhov [et al.] // Journal of luminescence. 2003. Vol. 102. P. 712–714.

4. Сімченко С. В. Нанотекстуровані квантові приймачі для оптоволоконних ліній зв'язку // II Міжнар. наук.-техн. конф. «Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку». Київ 01.12.2022. С. 192–193.

5. Окисление водорода на палладии: метод хематоков в нанодиоде Шоттки / Д. В. Гранкин, В. В. Стыров, С. В. Симченко [и др.] // Журнал физической химии. 2017. Т. 91, № 2. С. 297–303.

S. V. Simchenko, J. A. Glushchenko

OBTAINING GALLIUM NITRIDE CLUSTER FOR INFORMATION TRANSMISSION IN OPTOELECTRONIC COMMUNICATION LINES

The paper proposes a method for obtaining light-emitting clusters of gallium nitride (GaN) on porous gallium arsenide (GaAs) substrates by treating the substrate with nitrogen atoms from a nitrogen RF plasma. The morphological and luminescent properties of the obtained structures were studied. Reasons for the possibility of using light-emitting GaN clusters for the manufacture of LEDs and their use in optoelectronic communication lines are provided. It was established that the photoluminescent properties of GaN clusters depend on the porosity of the GaAs substrate and the geometric dimensions of the formed clusters.

Keywords: gallium nitride; porous GaAs; photoluminescence spectra; optoelectronic communication lines.

