



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **103985** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
H01L 21/00
G01R 13/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 06006	(72) Винахідник(и): Конакова Раїса Василівна (UA), Міленін Віктор Володимирович (UA), Редько Роман Анатолійович (UA), Редько Світлана Миколаївна (UA), Міленін Григорій Володимирович (UA), Швалагін Віталій Васильович (UA)
(22) Дата подання заявки: 17.06.2015	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.01.2016	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.01.2016, Бюл.№ 1	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, просп. Науки, 41, м. Київ-680, 03680 (UA)

(54) СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ВНУТРІШНІХ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ В ЕПІТАКСІЙНІЙ СТРУКТУРІ GaN/Al₂O₃

(57) Реферат:

Спосіб зниження внутрішніх механічних напружень в епітаксійній структурі GaN/Al₂O₃ здійснюють зовнішньою обробкою. Контрольовані структури піддають впливу імпульсного магнітного поля з індукцією 60-70 мТл, тривалістю імпульсу 1,0-4,0 мс, частотою слідування імпульсів 5-15 Гц і тривалістю дії на структури 7-9 хв.

UA 103985 U

Корисна модель належить до технології вдосконалення напівпровідникових приладів. Знижуючи кількість дефектів та домішок у напівпровідникових матеріалах, які використовуються для виготовлення різного роду приладів, можна підвищити надійність останніх, оскільки подальші впливи, пов'язані з технологічними операціями та умовами експлуатації, не призводять до релаксації напружень, яка, у свою чергу, супроводжується генерацією невпорядкованих дислокацій та нерівноважних точкових дефектів, пронизуючих робочу область приладу.

Широке застосування III-нітридів як матеріалів напівпровідникової техніки та електронної промисловості зумовило розвиток нових методів їх отримання, які дозволяють ефективно регулювати функціональні властивості нітридів шляхом спрямованої модифікації їх структурного і хімічного складу. Виготовлені структури (тонкі плівки, гетероструктури і т.п.), мають велику кількість точкових та протяжних дефектів, що призводить до суттєвих відмінностей реальних характеристик матеріалу від властивостей ідеального кристала [1]. Одним із найбільш перспективних матеріалів на основі сполук III-нітридів є GaN. Епітаксійні шари нітриду галію, який широко використовується в мікроелектроніці, вирощують на підкладках різного типу, але частіше всього на Al_2O_3 .

В той же час відомо, що структури GaN/ Al_2O_3 також мають великі ступені внутрішніх напружень стиснення, які виникають при охолодженні даних структур від температури формування до кімнатних. Ця обставина зумовлена різними коефіцієнтами теплового розширення сапфіру і нітриду галію. Зокрема наявність внутрішніх механічних напружень в системі епітаксійна плівка - GaN-підкладка достатньо сильно змінює спектральні характеристики даного матеріалу, в тому числі і спектр крайової фотолюмінесценції, що суттєво обмежує використання потенційних можливостей таких структур.

Для зниження рівня внутрішніх механічних напружень в [2] використовували буферні шари AlN між плівкою GaN та підкладкою Si, але це призводить до подорожчання виготовлення кінцевого продукту. В [3] для досягнення того ж ефекту було запропоновано використання структурованої поверхні та проміжних шарів гетероепітаксійних структур. Цей спосіб дійсно дозволяє знизити наявні механічні напруги в матеріалі, проте потребує попередніх теоретичних обрахунків ускладнення технології виготовлення і, зрештою, також призводить до підвищення вартості кінцевого продукту.

В [4] (даний метод вибраний за прототип) було запропоновано використання γ -променів для досягнення поставленої задачі, а контроль здійснювався за спектрами електровідбиття вихідних та оброблених структур. Даний спосіб не призводить до підвищення вартості виготовлення готових гетероепітаксійних структур GaN і може бути використаний для ефективного зниження рівня внутрішніх механічних напруг вже готових гетероепітаксійних плівок, проте саме використання γ - випромінювання є достатньо дорогим та небезпечним через використання радіоактивних ізотопів.

Задачею корисної моделі було отримати більш дешевий і більш безпечний спосіб зниження рівня внутрішніх механічних напруг гетероепітаксійних плівок в структурі GaN/ Al_2O_3 .

Вказана задача вирішується завдяки тому, що в способі зниження внутрішніх механічних напружень в епітаксійній структурі GaN/ Al_2O_3 , згідно з корисною моделлю, контрольовані структури піддають впливу імпульсного магнітного поля з індукцією 60-70 мТл, тривалістю імпульсу 1,0-4,0 мс, частотою слідування імпульсів 5-15 Гц і тривалістю дії на структури 7-9 хв.

Абсолютна величина механічної напруги може бути визначена опосередковано, через вимірювання крайової фотолюмінесценції GaN, енергетичне положення піку якої пов'язане із наявними внутрішніми механічними напруженнями співвідношенням [5]:

$$h\nu_{300\text{K}}(\text{eV}) = 3,4285 + 0,021 \cdot 1\sigma_{xx}(\text{ГПа}), \quad (1)$$

де $h\nu_{300\text{K}}$ - положення крайового піку ФЛ при кімнатній температурі, виражене в eV, а σ_{xx} - значення внутрішньої механічної напруги, виражене в ГПа.

Слабке імпульсне магнітне поле (яке достатньо ефективно впливає на протяжні дефекти твердих тіл [6]), впливу якого піддають структури, ініціює спін-залежні процеси розпаду метастабільних дефектних комплексів, існуючих на межі поділу плівка-підкладка з подальшою дифузією продуктів розпаду та наступними реакціями з домішками та дефектами напівпровідникового матеріалу. Усе це призводить до релаксації внутрішніх механічних напруг (зокрема у металах це було достатньо надійно зафіксовано [7, 8]). В напівпровідниках це призводить до змін в спектрах крайової ФЛ. Даний спосіб має наступні відмінності і переваги над прототипом:

- для зниження ступеня внутрішніх механічних напруг використовується обробка в слабкому магнітному полі ($B=40-80$ мТл, $\tau=1,0-4,0$ мс, $f=5-15$ Гц, $t=7-9$ хв.), а не шкідливе та небезпечне γ - випромінювання;

- вартість такої обробки суттєво нижча за вартість радіоактивних ізотопів, які є джерелами γ -випромінювання.

Таким чином, запропоноване нами технічне рішення є більш дешевим та безпечним, оскільки не потребує використання радіоактивних ізотопів γ -випромінювання, і в той же час дозволяє здійснити оцінку величини зниження внутрішньої механічної напруги в зразку.

Приклад конкретного виконання.

Запропонований спосіб зниження внутрішніх механічних напружень в епітаксійному GaN був реалізований на приладових гетероепітаксійних структурах GaN/Al₂O₃, отриманих хімічним осадженням з парової фази з використанням металоорганічних сполук газозафазовою епітаксією. Товщина плівки GaN, легованої кремнієм до концентрації $1,6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, складала від 2,0 до 2,5 мкм, а підкладок Al₂O₃-430 мкм. Обробка зразків здійснювалась в слабкому імпульсному магнітному полі з параметрами: $B=60 \text{ мТл}$, $\tau=2,0 \text{ мс}$, $f=10 \text{ Гц}$, $t=8 \text{ хв}$.

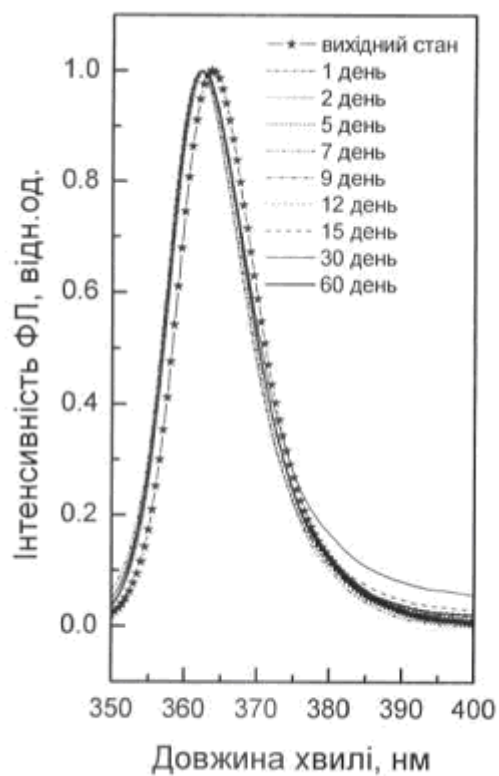
На графіку представлений нормований спектр крайової ФЛ структури GaN/Al₂O₃, на якому чітко видно вихідне енергетичне положення піка - 363,6 нм (3,417 еВ) та 362 нм (3,430 еВ) після обробки. Аналіз за допомогою формули (1) дає значення -0,507 ГПа та 0,076 ГПа для вихідного і обробленого стану, відповідно. Таким чином, рівень внутрішніх механічних напружень вдалось знизити в ~6,7 раз (у прототипі рівень внутрішніх напружень знижувався в 2-3 рази). Там же, на графіку, показана еволюція крайової ФЛ з часом, що минув після обробки, яка свідчить про незворотність таких змін і стабільність параметрів внутрішніх напружень.

Джерела інформації:

1. Г.О. Сукач, В.В. Кідалов, А.С. Ревенко. Підкладки для епітаксійного росту нітридів III групи. - К.: Четверта хвиля, 2007. - 192 с.
2. В.Н. Бессолов, В.М. Ботнарюк, Ю.В. Жилияев, Е.В. Коненкова, Н.К. Полетаев, С.Д. Раевский, С.Н. Родин, С.Л. Смирнов, Ш. Шарофидинов, М.П. Щеглов, Нее Seok Park, Masayoshi Koike. Хлоридная газозафазная эпитаксия GaN на Si: структурные и люминесцентные характеристики слоев // Письма в ЖТФ. - 2006. - Т. 32, № 15. - С. 60-66.
3. В.Е. Бургов. Физические основы оптимизации нитридных полупроводниковых гетероструктур для их применения в высокоэффективных светодиодных устройствах. Автореф. дисс. д. ф.-м. н. - СПб., 2013.
4. А.Е. Беляев, Н.И. Ключ, Р.В. Конакова, А.Н. Лукьянов, Б.А. Данильченко, Ю.Н. Свешников, А.Н. Ключ. Исследование методом электроотражения влияния - облучения на оптические свойства эпитаксиальных пленок GaN // Физика и техника полупроводников. - 2012. - Т. 46, № 3. - С. 317-320.
5. D.G. Zhao, S.J. Xu, M.H. Xie, Y. Tong, Hui Yang. Stress and its effect on optical properties of GaN epilayers grown on Si(111), 6H-SiC(0001), and c-plane sapphire // Applied Physics Letters. - 2003. - V. 83, № 4. - P. 677-679.
6. Ю.И. Головин. Магнитопластичность твердых тел // Физика твердого тела. - 2004. - Т. 46, № 5. - С. 769-803.
7. Н.Н. Козлова, А.А. Колпаков, Ю.А. Масалов, С.Н. Постников, С.А. Свириденко, В.Н. Старостин. Способ снятия внутренних напряжений при механической обработке литых деталей // Патент РФ, RU 2118927 (1998).
8. Ю.В. Батигін, О.Ю. Бондаренко. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок // Патент на винахід № 84925, 2006.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб зниження внутрішніх механічних напружень в епітаксійній структурі GaN/Al₂O₃, що здійснюють зовнішньою обробкою, який **відрізняється** тим, що контрольовані структури піддають впливу імпульсного магнітного поля з індукцією 60-70 мТл, тривалістю імпульсу 1,0-4,0 мс, частотою слідування імпульсів 5-15 Гц і тривалістю дії на структури 7-9 хв.



Комп'ютерна верстка О. Гергіль

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601