



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **89047**

(13) **U**

(51) МПК

G01R 31/26 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2013 12631**

(22) Дата подання заявки: **28.10.2013**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.04.2014**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.04.2014, Бюл.№ 7**

(72) Винахідник(и):

Власенко Олександр Іванович (UA),

Велещук Віталій Петрович (UA),

Киселюк Максим Павлович (UA),

Власенко Зоя Костянтинівна (UA)

(73) Власник(и):

ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ

ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ

АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,

пр. Науки, 41, м. Київ, 03680 (UA)

(54) СПОСІБ ЕКСПРЕСНОГО КОНТРОЛЮ КРИТИЧНИХ ДЕФЕКТІВ У СВІТЛОДІОДНИХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВІ GaN

(57) Реферат:

Спосіб експресного контролю критичних дефектів світлодіодних GaN структур, в якому до світлодіодної структури прикладають максимально можливу неруйнуючу постійну зворотну напругу і фіксують свічення мікоплазм. Вимірюють кількість точок свічення мікроплазм $N_{МП}$ при даній напрузі, і по значенню $N_{МП}$ контролюють критичні дефекти у світлодіодних GaN структурах та оцінюють їх надійність.

UA 89047 U

Корисна модель належить до галузі оптоелектроніки та світлодіодної техніки та може бути використана для експрес-методу контролю критичних протяжних дефектів у GaN (InGaN, AlGaIn) гетероструктурах потужних світлодіодів на стадіях їх виробництва та експлуатації, які є ефективними джерелами випромінювання для освітлення та підсвітки.

На сьогодні домінує тенденція виготовлення світлодіодних гетероструктур на основі GaN з великою площею та інтеграція їх у матриці. Проте зі збільшенням площі при епітаксійному вирощуванні InGaN/GaN відбувається більш неоднорідний розподіл внутрішніх механічних напруг та протяжних дефектів, при цьому зростає ймовірність виникнення "критичних" дефектів які є домінуючими з точки зору погіршення функціональних параметри світлодіодів та їх надійності.

Відповідно, гостро постає проблема оперативного виявлення і контролю таких електрично активних протяжних дефектів в InGaN/GaN гетероструктурах.

Окрім методів структурного аналізу для контролю дефектності, діагностики та характеристики даних структур використовують фото-, електро- та катодо- люмінесценцію (ФЛ, ЕЛ, КЛ). Зокрема катодолюмінесценція широко застосовується як безконтактний і відносно неруйнівний метод мікроаналізу оптичних і електронних властивостей нітриду галію та гетероструктур на його основі (InGaN/AlGaIn/GaN)GaN [1-4]. Інтенсивність свічення локальних ділянок та спектри КЛ дозволяє одержати важливу інформацію про фізичні властивості матеріалу, природу дефектів. Просторова роздільна здатність, що досягається в класичних системах КЛ аналізу порядку 1 мкм та навіть менше [3].

З іншої сторони, самим поширеним типовим методом контролю дефектності напівпровідникових структур є селективне травлення та наступний підрахунок ямок травлення [4, 5].

Відомий "Способ выявления эпитаксиальных дефектов дислокаций" патент RU № 2403648 [6], де для виявлення епітаксійних дефектів дислокацій проводиться травлення поверхні кремнієвих пластин у селективному спеціально підібраному травнику, при температурі 293 K та часу травлення 145 ± 5 хвилин, при цьому кількість точок, що світяться, становить 5 шт., а сумарна кількість дефектів дислокацій 550 ± 50 шт/см². Винахід забезпечує зменшення тривалості процесу виявлення дислокацій. Перевагами даного способу є проведення контролю дефектності при кімнатній температурі та чітка візуалізація місцезнаходження практично всіх дислокацій. До недоліків слід віднести те, що даний спосіб є по-перше руйнівним, по друге тривалим та дорогим.

Відомий "Способ исследования люминесцентных свойств материала с пространственным микро- или наномасштабным разрешением" патент RU № 2435157 [7], де для встановлення люмінесцентних властивостей матеріалу із високою просторовою роздільною здатністю (мікро- та наномасштабною) ділянку матеріалу опромінюють скануючим електронним пучком та лазерним випромінюванням стимулюють люмінесценцію. Причому вплив лазерного випромінювання на досліджувану область матеріалу роблять пізніше опромінення цієї області матеріалу електронним пучком на час затримки, обумовлене співвідношенням $T_{затр} \geq 10 T_{затухання}$, де $T_{затр}$ - це час затримки між впливом на досліджувану область електронного пучка та лазерного випромінювання, $T_{затухання}$ - це час затухання катодолюмінесценції досліджуваної області матеріалу, що перебуває в межах від 1 не до 10^9 нс. Технічний результат - підвищення точності ототожнення результатів люмінесценції з конкретною областю зразка, забезпечення експресності дослідження, розширення можливості дослідження люмінесценції в матеріалах, зокрема у GaP. Недоліком такого способу є використання складного та коштовного устаткування.

Перевагою аналога [6] перед існуючими є більш достовірне визначення густини дислокацій у напівпровіднику. Перевагою аналога [7] є більш об'єктивна та ємна інформація про люмінесцентні властивості та стан дефектів і їх розподіл.

Проте основним їх недоліком є те, що вони є руйнівними [6] та не експресними [6, 7] - їх важко використати на поточних лініях тестування при виробництві світлодіодів через необхідність використання спеціального (дорогого) устаткування, тривалий час вимірювання та відповідно отримання результатів. При цьому дані методи не завжди в змозі виявити "критичні", електрично активні протяжні дефекти (області), вплив яких є домінуючим на електричні та люмінесцентні функціональні параметри GaN структур.

Більш вільним від вищеописаних недоліків є "Спосіб діагностики та характеристики світлодіодних GaN структур по електролюмінесценції мікроплазм". Заявка № u 201305320 [8], який вибрано за прототип. Тут до світлодіодної структури прикладають постійну зворотну напругу, величину якої збільшують до максимально можливого неруйнівного значення і вимірюють спектр електролюмінесценції всіх мікроплазм; і за величиною інтенсивності

електролюмінесценції $I_{МП}$ та величиною відношення інтенсивностей максимумів синьої та жовтої смуг спектру електролюмінесценції $I_{\text{синя смуга}}/I_{\text{жовта смуга}}$ характеризують світлодіодні GaN структури та оцінюють їх надійність. Спосіб дає можливість візуалізувати критичні протяжні дефекти, і чим більша інтенсивність їх люмінесценції $I_{МП}$ при заданій напрузі, тим менше співвідношення $I_{\text{синя смуга}}/I_{\text{жовта смуга}}$. Тим GaN структура є більш ненадійною та неякісною. У прототипі спосіб експрес - контролю позбавлений недоліків - він є неруйнівним, оперативним, а отримувана інформація прямо пов'язана з критичними дефектами, що дає змогу виділити ненадійні структури.

Проте, в даному способі запису спектрів МП в прототипі необхідною є доволі чутлива CCD - камера та спектрометр, і через низьку інтенсивність свічення МП потрібна певна витримка при записі спектру (5-10 хвилин). Останнє знижує швидкість (оперативність) тестування і це є недоліком прототипу.

Задачею корисної моделі є підвищення експресності способу (швидкості тестування) і його спрощення при контролі критичних дефектів (дефектних областей) у світловипромінюючих GaN структурах при умові достовірного прогнозування надійності.

Поставлена задача вирішується тим, що до світлодіодної структури прикладають максимально можливу неруйнуючу постійну зворотну напругу і фіксують свічення мікроплазм, який відрізняється тим, що вимірюють кількість точок свічення мікроплазм $N_{МП}$ при даній напрузі, і по значенню $N_{МП}$ контролюють критичні дефекти у світлодіодних GaN структурах та оцінюють їх надійність.

Характеризація базується на такому параметрі як кількість мікроплазм $N_{МП}$. Чим більша кількість МП $N_{МП}$ при заданій напрузі, тим GaN структура є більш ненадійною та неякісною. Величина $N_{МП}$ значно впливає на ВАХ, особливо на тунельний та зворотний струми, а оскільки умовою світлодіодних структур у різноманітних матрицях є однаковість їх прямих та зворотних ВАХ, то сортування СД по близьким величинам $N_{МП}$ дещо спрощує цю процедуру підбору.

Запропонований нами метод більш експресний у порівнянні з прототипом, при цьому такий же інформативний та достовірний, оскільки кількість точок МП пропорційна густині проростаючих дислокацій у області просторового заряду (ОПЗ) GaN структури. Він також задовольняє основним вимогам до методів відбракування, тестування та прогнозування надійності світловипромінюючих структур: максимальна інформативність та достовірність результатів дослідження при найменшій їх кількості.

Приклад

Для контролю критичних технологічних дефектів та прогнозування надійності досліджувались потужні ($P_{\text{електр}}=1$ Вт, $I_{\text{ном}}=350$ мА) InGaN/GaN світлодіоди із площею гетеропереходу 1 мм^2 , синього кольору випромінювання ($\lambda_{\text{макс}}=460-470$ нм) трьох типів. До світлодіодів прикладалась постійна зворотна напруга та підвищувалась до виникнення максимальної кількості точок мікроплазм, при умові: величина напруги є неруйнівною. Їх поверхня фотографувалась, кількість точок МП при однаковій напрузі рахувалась. На Фіг. 1 представлено фотографії поверхні гетероструктур потужних СД. Світлі точки на поверхні відповідають свіченню мікроплазм при ударній іонізації та рекомбінації носіїв.

1) Гетероструктура Golden Dragon⁺ (Osram) (Фіг. 1, а) була вирощена на сапфіровій підкладці та перенесена після лазерного відділення на Si підкладку за допомогою AuSn (евтектика) контакту. Густина дислокацій $\sim 10^9 \text{ см}^{-2}$, струм при прямій напрузі протікає однорідно по площі (контакти зверху та знизу). Світловий потік $\Phi=18-21$ Лм.

2) Гетероструктура XPE (Cree) була вирощена на SiC підкладці (Фіг. 1, б). Густина дислокацій на 1-2 порядки є меншою у порівнянні із структурою, вирощеною на сапфіровій підкладці. Струм протікає однорідно по площі (контакти зверху та знизу). Світловий потік $\Phi = 23,5-30,6$ Лм.

3) Гетероструктура FYLP (Foryard) вирощена на сапфіровій підкладці (Фіг. 1, в). Густина дислокацій $\sim 10^9 \text{ см}^{-2}$, контакти знаходяться зверху, відповідно струм по площі протікає неоднорідно. Світловий потік $\Phi=10-15-18,1$ Лм. (15 - середнє значення).

На Фіг. 1-3 представлено фото мікроплазм на поверхні InGaN/GaN гетероструктур потужних світлодіодів: (Фіг. 1) - Golden Dragon⁺Osram, $U_{\text{звор}}=-40$ В, (Фіг. 2) - XPE Cree, $U_{\text{звор}}=-40$ В, (Фіг. 3) - FYLP Foryard, $U_{\text{звор}}=-24$ В. Тут зворотна напруга $U_{\text{звор}}=-40$ В є неруйнівною при часі спостереження до 10 хвилин; при цьому при напрузі - 24 В мікроплазми в структурах Golden Dragon⁺Osram та XPE Cree відсутні. А напруга - 40 В для СД FYLP Foryard є недосяжною, оскільки відбувається пробій, що вже вказує на її низьку надійність.

На Фіг. 4-5 наведено вольт-амперні характеристики потужних світлодіодів (Фіг. 4) - пряма ВАХ, (Фіг. 5) - зворотна ВАХ. Найбільшу крутизну прямої ВАХ має структура XPE Cree, найменшу - FYLP Foryard. Тобто величина тунельного струму, яка визначається кількістю

протяжних дефектів в ОПЗ, (до $U_{\text{прям}}=2,2$ В) максимальна для структури FYLP Foryard і мінімальна для XPE Cree (Фіг. 4), а величина компоненти струму випромінювальної рекомбінації максимальна для структури XPE Cree, і мінімальна для FYLP Foryard. BAX Golden Dragon⁺ Osram після 2,2 В є близько розташованою (Фіг. 4).

- 5 Більш виражені відмінності спостерігаються на зворотних BAX (Фіг. 5) - величина зворотного струму відрізняється практично на порядок для даних трьох СД, і є найменшою для XPE Cree. Ця різниця у зворотних BAX чітко корелює з кількістю точок $N_{\text{МП}}$ (див. таблиця), оскільки зворотний струм протікає переважно по дефектам МП.

Таблиця

Структура	Густина дислокацій ρ , см ⁻²	Світловий потік Φ , Лм	Кількість точок МП, $N_{\text{МП}}$	Підкладка
XPE (Cree, США)	$\sim 10^7$	23,5-30,6	27	SiC
Golden Dragon ⁺ (Osram, Німеччина)	$\sim 10^9$	18-21	54	Si+AuSn. Лазерне відділення від Al_2O_3 підкладки.
FYLP (Foryard, Китай)	$\sim 10^9$	10-15-18,1	178	Al_2O_3

10 Надійність - властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

15 Для світлодіодів одним з таких основних параметрів є інтенсивність електролюмінесценції (ЕЛ) (величина світлового потоку Φ , таблиця) при номінальному струмі, інтервалі температур та заданій вологості. Інтенсивність ЕЛ світлодіодів з часом зменшується згідно Фіг. 6. Економічно недоцільно проводити випробування СД настільки тривалий час. Виробники лише прогнозують термін життя (зазвичай до рівня 70 %). Наприклад вимірюють спад ЕЛ з часом протягом 2000 годин з наступною екстраполяцією результатів до 10000 годин за спеціально розробленими алгоритмами.

20 На Фіг. 6 наведено залежності інтенсивності електролюмінесценції від часу роботи для потужних СД, взяті з їх паспортів - виміряні (до 12 000 год.) та апроксимовані (до 100 000 год.) результати спаду інтенсивності ЕЛ з часом. Струм - 350 мА, тестування проведено, згідно зі стандартом LM-80 Testing.

25 Як видно з даних залежностей, час роботи до рівня 70 % та 50 % для СД XPE Cree є найбільшим, для СД FYLP Foryard - найменшим.

30 Кількість точок МП пропорційна густині протяжних дефектів, що перетинають ОПЗ, які у свою чергу є причиною локального підвищення температури (Т). У той же час при підвищенні Т на 10 °С час експлуатації діода зменшується вдвічі. Відповідно, по величині $N_{\text{МП}}$ можна прогнозувати надійність InGaN/GaN СД.

Висновки.

35 Як видно з прикладу, серед трьох типів синіх світлодіодів гетероструктура XPE Cree має найменші величини густини дислокацій ρ , кількість точок $N_{\text{МП}}$, тунельний та зворотний струм, та найбільший час роботи, найбільшу величину Φ та крутизну BAX, тобто є самою надійною серед даних трьох СД. Гетероструктура FYLP Foryard тут має найгірші параметри (неякісна), її величина $N_{\text{МП}}$ максимальна, її час роботи є найменшим і вона є ненадійною.

40 Таким чином, стає можливим більш швидкий та спрощений контроль критичних дефектів у GaN структурах потужних світлодіодів і прогнозування їх надійності, оскільки кількість точок свічення мікроплазм $N_{\text{МП}}$ пов'язана з густиною дислокацій, світловим потоком, часом роботи, величиною тунельного та зворотного струму на BAX.

Джерела інформації:

1. Заморянская М.В. Катодолуминесценция широкозонных материалов и наногетероструктур на их основе. Автореферат диссертации на соискание ученой степени докт. физ.-мат. наук, спец. 01.04.07, Санкт-Петербург, 2012.

45 2. H. Lei, H.S. Leipner, J. Schreiber, J.L. Weyher. Raman and cathodoluminescence study of dislocations in GaN // Journal of Appl. Phys. - 2002. - Vol. 92, № 11. - P. 6666-6670.

3. L.F. Zagonel, L. Rigutti, M. Tchemycheva, G. Jacopin, R. Songmuang and M. Kociak. Visualizing highly localized luminescence in GaN/AlN heterostructures in nanowires // Nanotechnology-2012. - № 23, 455205 (8 pp).

4. D. Cheras, S.J. Henley, and F.A. Ponce. Edge and screw dislocations as nonradiative centers in InGaN/GaN quantum well luminescence // Appl. Phys. Lett. - 2001. - Vol.78, № 18, P. 1369610 (3 pages).

5. D. Zhuang, J.H. Edgar. Wet etching of GaN, AlN, and SiC: a review // Materials Science and Engineering R-2005. - Vol. 48. - P. 1-46.

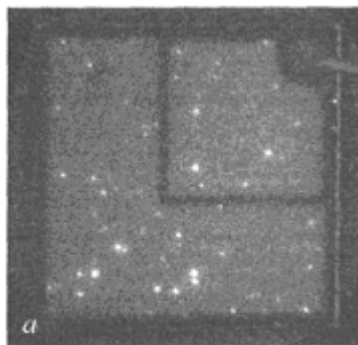
6. Патент Росії № 2403648 дата публ. 08.05.2009 Исмаилов Т.А., Шангереева Б.А., Шахмаева А.Р. "Способ выявления эпитаксиальных дефектов дислокаций".

7. Патент Росії № 2435157 дата публ. 11.05.2010 Вайнштейн И.А., Вохминцев А.С. "Способ исследования люминесцентных свойств материала с пространственным микро- или наномасштабным разрешением".

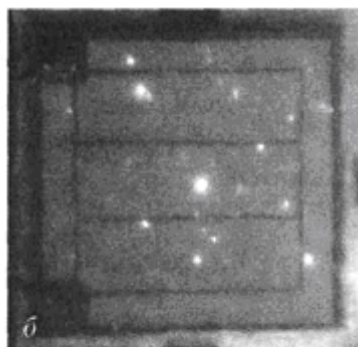
8. Заявка № u201305320 на корисну модель. Україна. 25.07.2013. О.І. Власенко, В.П. Велещук, В.І. Босий М.П. Киселюк, З.К. Власенко, О.В. Ляшенко, В.В. Борщ. Спосіб діагностики та характеристики світлодіодних GaN структур по електролюмінесценції мікроплазм.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

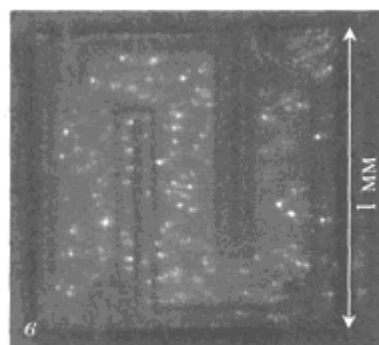
Спосіб експресного контролю критичних дефектів світлодіодних GaN структур, в якому до світлодіодної структури прикладають максимально можливу неруйнуючу постійну зворотну напругу і фіксують свічення мікроплазм, який **відрізняється** тим, що вимірюють кількість точок свічення мікроплазм $N_{МП}$ при даній напрузі, і по значенню $N_{МП}$ контролюють критичні дефекти у світлодіодних GaN структурах та оцінюють їх надійність.



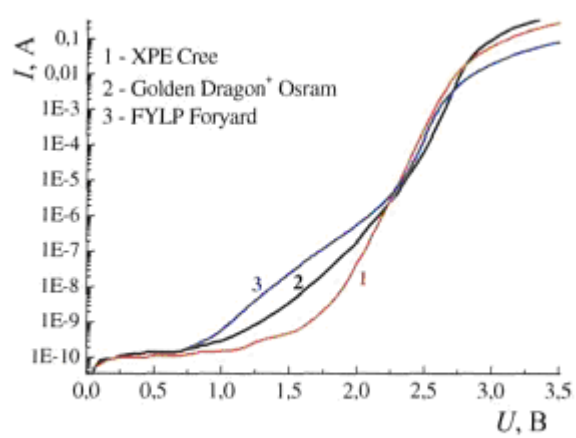
фіг. 1



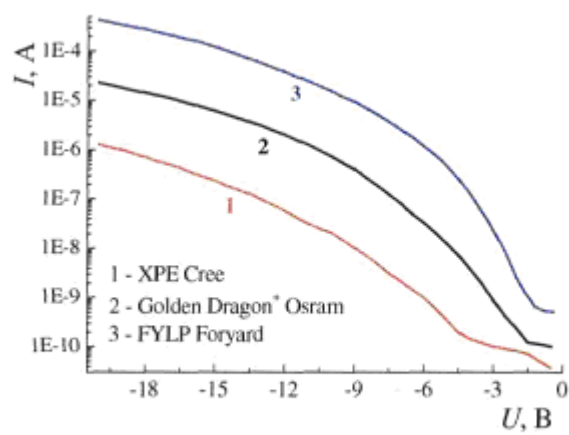
фіг. 2



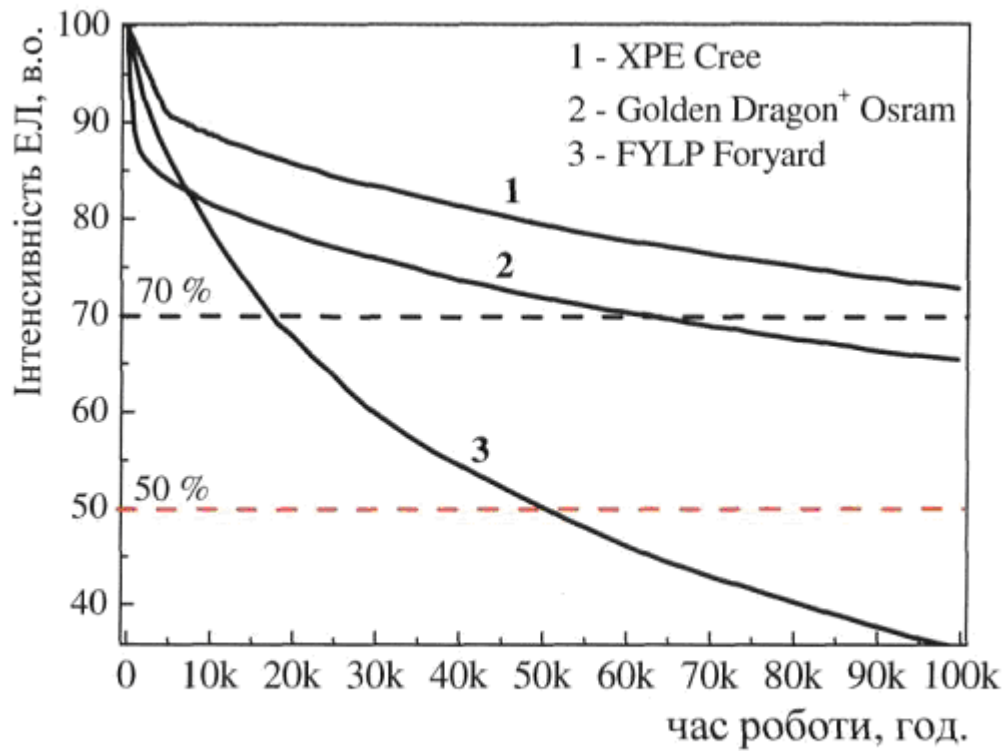
φir. 3



φir. 4



φir. 5



фіг. 6

Комп'ютерна верстка О. Рябко

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

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