

Міністерство освіти і науки України

Національна академія наук України

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АКАДЕМІЧНОЇ ТА УНІВЕРСИТЕТСЬКОЇ НАУКИ

Збірник наукових праць
за матеріалами

ІХ Міжнародної
науково-практичної конференції

7 – 9 грудня 2016 року

УДК 621.383:621.381.2, 535.376:534.16

*Велешук В.П., к.ф.-м.н., с.н.с.
Власенко О.І., д.ф.-м.н., проф., зав. відділу
Власенко З.К., к.ф.-м.н., с.н.с.
Шинкаренко В.В., к.ф.-м.н., с.н.с.
Інститут фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ
Шульга О.В., д.т.н., доцент
Бориц В.В., к.ф.-м.н., доцент
Бориц О.Б., к.т.н., доцент
Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка
Полтава, Україна*

НЕОДНОРІДНІСТЬ ВИПРОМІНЮВАННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ЕКРАНІВ ЗА РАХУНОК РОЗКИДУ ПАРАМЕТРІВ RGB-СВІТЛОДІОДІВ

Вивчено проблему неоднорідності випромінювання світлодіодних RGB-екранів при низьких, мінімальних градаціях яскравості через неоднакове свічення світлодіодів (СД) синього випромінювання. Досліджено розкид електричних параметрів окремих структур RGB СД. Встановлено, що найбільший розкид вольт-амперних і вольт-фарадних характеристик RGB СД (FM-Z3535RGBW) мають структури синього кольору випромінювання.

Ключові слова: RGB-світлодіоди, InGaN/GaN, ВАХ.

UDC 621.383:621.381.2, 535.376:534.16

*Veleschuk V.P., Vlasenko A.I.,
Vlasenko Z.K., Shynkarenko V.V.
Lashkaryov V. Institute of Semiconductor
Physics, NASU. Kyiv, Ukraine.
Shulga O., Borshch V., Borshch O.
Poltava National Technical
Yuri Kondratyuk University, Ukraine.*

HETEROGENEITY RADIATION OF THE LED DISPLAY DUE TO VARIATION OF RGB LED PARAMETERS

The problem of heterogeneity radiation of RGB LED display at low minimum brightness gradations caused by unequal luminosity blue LEDs are studied. The variation of electrical parameters of individual structures RGB LEDs are studied. It was established that the greatest variation in CVC and Capacitance-Voltage characteristics of RGB LEDs (FM-Z3535RGBW) have the structure of blue light.

Keywords: RGB LED, InGaN/GaN, CVC.

Вступ. Світлодіоди і виробни на їх основі знайшли широке застосування у повсякденному житті. Завдяки коректній передачі кольорів та відтінків промислово виготовляються світлодіодні екрани різних типів, якісна робота яких залежить від однорідності передачі кольорів цілого масиву СД (~ 100 000 штук).

Однією з проблем СД-екранів є однорідність випромінювання окремих СД для всього діапазону яскравості й для всіх кольорів [1]. Виявлено, що при низьких (мінімальних) градаціях яскравості спостерігається неоднорідність свічення для структур синього кольору випромінювання (рис.1), при цьому неоднорідність збільшується зі зменшенням яскравості. Однією з причин цього може бути розкид значень струму I драйверів, але величина розкиду струму від каналу до каналу драйвера складає $\pm 1\%$ (Тур), $\pm 3\%$ (Мах), від драйвера до драйвера $\pm 1\%$ (Тур), $\pm 2\%$ (Мах) [2]. Звичайно, це може впливати на неоднорідність, але в такому випадку будуть спостерігатися темні смуги, а в нашому неоднорідність хаотична.

Причиною неоднорідності може бути розкид електричних і світлових параметрів окремих структур RGB СД через особливості складної технології їх виготовлення [3] Тому метою роботи було вивчення розкиду вольт-амперних (ВАХ) і вольт-фарадних (ВФХ) характеристик окремих структур RGB СД. Також виміряно час наростання/спаду імпульсу електролюмінесценції (ЕЛ) структур синього випромінювання.

Методика досліджень. Вивчалися промислові RGB-світлодіоди FM-Z3535RGBW. Структури виготовлені з таких напівпровідників: червоний колір випромінювання – AlGaInP, зелений – $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$, синій – $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{GaN}$. Максимальний струм для всіх структур – 20 мА. Вимірювались ВАХ, ВФХ та імпульси ЕЛ при тривалості імпульсу струму 40, 100, 300 нс. Частота модуляції додаткової напруги при вимірі ємності 1 МГц. Така частота обрана тому, що дані СД в екранах для трансляції відео працюють в імпульсному режимі струму (широко-імпульсна модуляція – ШІМ) з високими частотами оновлення зображення.

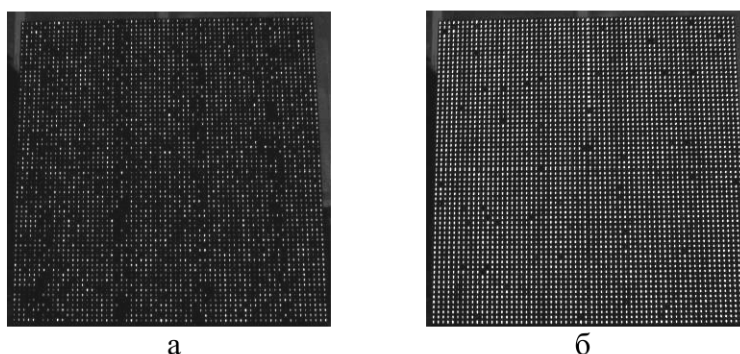


Рисунок 1. Елемент світлодіодного екрана при низьких градаціях свічення синіх структур: а – 50-та, б – 80-та градація (із $2^{16} = 65536$ можливих)

Механізми струмопроходження і функціональна залежність струм-напруга в гетероструктурах $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{GaN}$ відомі [4, 5]. При напругах 1,2 – 2,25 В струм $I \sim \exp(eU/E_i)$, показник експоненти E_i дуже слабо залежить від температури, тобто нахил тунельної компонента незмінний. При напрузі $U > 2,5$ В (напруга включення ЕЛ) переважає інжекційна компонента струму, $I = I_0 \cdot \exp(eU/nkT)$. Спостерігається різке експонентне зростання при інжекції в активну область ($\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ квантової ями). У напівлогарифмічному масштабі ВАХ близька до прямої. При великих струмах протікання (понад 10^{-3} А) впливає послідовний опір омичних контактів R_s , спостерігається відхилення від лінійності в напівлогарифмічних координатах [4, 5].

Аналогічно для структур зеленого і червоного випромінювання.

Видно, що ВАХ синіх структур № 2, 3, 7, 8, 9 відрізняється від іншої сукупності ВАХ, що добре згруповані, ВАХ № 2, 3 мають менший струм за інші в діапазоні 2,5 – 3 В. Це

узгоджується з ВФХ: дифузійна ємність структур № 2, № 3 найбільш низька серед десяти структур. ВАХ структур № 7, 8, 9 має більший тунельний струм.

ВАХ зелених і червоних структур добре згруповані, у напівлогарифмічному масштабі їхня залежність практично пряма, що вказує на задовільну технологічну однорідність структур. Установлено, що напруги при номінальних струмах попадають в інтервал відповідно до специфікації даних СД.

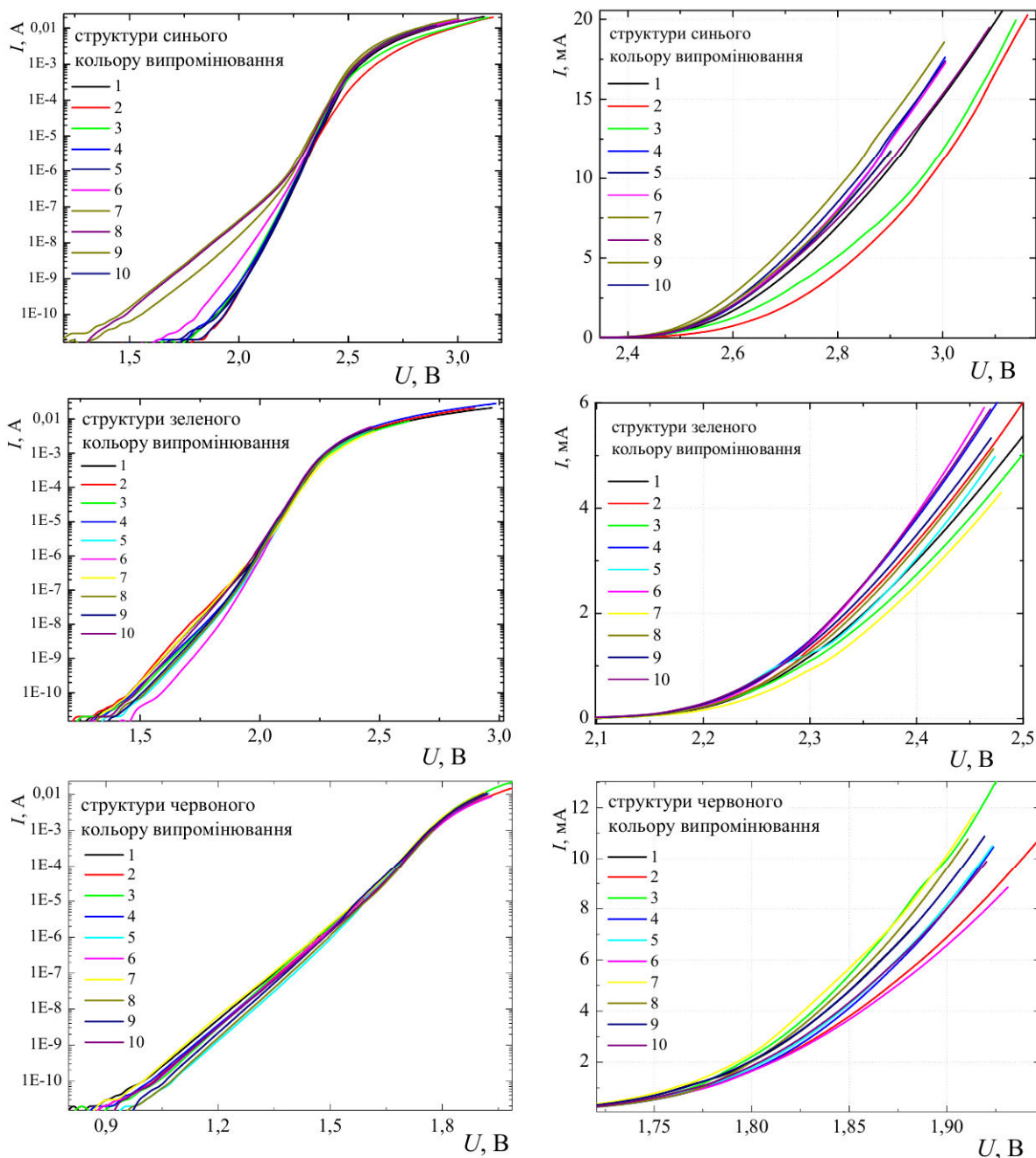


Рисунок 2. ВАХ структур синього, зеленого та червоного кольорів випромінювання RGB світлодіодів. Зліва – логарифмічний масштаб, справа – лінійний

Відомо, що розкид електричних і світлових параметрів світлодіодних структур, виготовлених в одному технологічному циклі на загальній пластині-підкладці обумовлений суцільно технологічними причинами при їх епітаксії, формуванні омичних контактів і технологічних обробках [3]. Вагомий внесок дає однорідність по площі складу $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$

квантової ями, її товщини ($\approx 30 \text{ \AA}$) і різкість профілів гетерограниць GaN/In_{0,2}Ga_{0,8}N/GaN. А також варіація опору омичних контактів.

Розподіл по напрузі включення в області 2,5 В для синіх кристалів (маленькі струми, послідовний R_s має мінімальний вплив) пов'язаний з неоднорідністю активної області через флуктуації реагентів при газофазній епітаксії з металоорганічних сполук. А відмінності в прямій напрузі при струмі 20 мА (великий струм, послідовний R_s має значний вплив) пояснюються уже розкидом величини питомого контактного опору омичних контактів.

Установлено, що розкид струму при фіксованій напрузі: 18,4 мА – 11 мА = 7,4 мА для синіх структур (при $U = 3 \text{ В}$), 5,9 мА – 3,9 мА = 2 мА для зелених структур (при 2,46 В), 11,7 мА – 7,5 мА = 4,2 мА для червоних структур (при 1,91 В). Тут обрана середня робоча напруга даних структур. Розкид ємності при фіксованій напрузі: 180 пФ – 73 пФ = 107 пФ при напрузі 3 В для синіх структур; 210 пФ – 150 пФ = 60 пФ при 2,5 В для зелених структур; 49 пФ – 39 пФ = 10 пФ при 2 В для червоних структур. Розкид ВАХ і ВФХ більший для структур синього випромінювання.

У перерахунку на споживану потужність розкид складає 22,2, 4,9, 8 мВт для синіх, зелених і червоних структур відповідно. Тобто для синіх величини розкиду та потужності більші, що власне і впливає на неоднорідність випромінювання.

Ще одним істотним фактором, що впливає на неоднорідність свічення масиву світлодіодів, може бути максимальна частота перемикавання (спрацьовування) окремих СД. Максимальна частота перемикавання СД в імпульсному режимі струму буде обмежена часом наростання і спаду імпульсу струму і відповідно електролюмінесценції [6]. Мінімальна тривалість імпульсу струму в сучасних СД екранах, принцип дії яких базується на ШІМ, досягає 40 - 60 нс. Частота передачі даних спеціальних драйверів постійного струму СД екранів складає 33 МГц [1]. Тому нами були виміряні часи наростання/спаду імпульсів ЕЛ структур синього випромінювання. Для цього використаний генератор наносекундних імпульсів Г 5-48, електролюмінесценція реєструвалася кремнієвим *p-i-n* фотодіодом SFH 203 P і осцилографом Tektronix TDS 2022. З'ясовано, що фронт наростання/спаду імпульсу ЕЛ In_{0,2}Ga_{0,8}N/GaN структур досліджуваних RGB СД складає 6 – 8 нс, що є типовим для СД на основі нітриду галію [6].

Висновки. Установлено, що найбільший розкид електричних характеристик RGB світлодіодів (FM-Z3535RGBW) мають структури синього кольору випромінювання. Відповідний розкид споживаної потужності $P = I \cdot U$ є ще більшим, що і буде впливати на однорідність випромінювання світлодіодних екранів.

Публікація містить результати досліджень, проведених за грантової підтримки Державного Фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф 64/16 – 2016, № держреєстрації 0116U003954.

Література

1. LED Fine Pitch Display Possible Problems and Driver IC Solutions. Macroblock 2015 [<http://www.mblock.com.tw/support.php?Type=dl&KindID=3>]
2. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc5957.pdf>
3. III-Nitride Devices and Nanoengineering // Ed. by Z.C. Feng. – UK, London: Imperial College Press, 2008. – 476 p.
4. S.W. Lee, D.C. Oh, H. Goto, J.S. Ha, etc. Origin of forward leakage current in GaN-based light-emitting devices // Appl. Phys. Lett. – 2006. – Vol. 89. – P. 132117(3).
5. Прудаев А.И., Гольгин И.Ю., Ширапов С.Б., Романов И.С., Хлудков С.С., Толбанов О.П. Влияние температуры на механизм инжекции носителей в светодиодах на основе множественных квантовых ям InGaN/GaN // ФТП. – 2013. – Т. 47, вып. 10. – С. 1391-1395.
6. Pei Y., Zhu S., Yang H., Zhao L., Yi X., Wang J., Li J. LED modulation characteristics in a visible-light communication system // Optics and Photonics Journal. – 2013. – № 3. – P. 139 – 142.