

КРАЙОВА ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ GaN

Досліджено спектри фотолюмінесценції нелегованих епітаксійних шарів GaN. Установлено, що домінуючу роль у люмінесценції відіграють зон-зонні переходи, рекомбінація за участю екситонів і мілких донорних центрів V_N^\bullet .

The photoluminescence spectra of undoped epitaxial layers GaN are investigated. It is established that interband transitions, as well as recombination of excitons and on donor centers V_N^\bullet are dominating.

Нітрид галію – один із перспективних матеріалів оптоелектроніки. На основі епітаксійних шарів GaN створено ряд світловипромінюючих і фоточутливих структур [1,2]. Їх параметри визначаються низкою факторів. Важливим серед них постає технологія отримання вихідного навмисно нелегованого матеріалу. Аналіз літератури показує, що дослідження нелегованого GaN в основному висвітлюють тільки роль екситонних процесів у формуванні випромінювання [3,4]. Не розглядається міжзонна рекомбінація і практично ігнорується роль власних дефектів. Зазначені недоліки у деякій мірі усуваються в роботі [5]. Проте актуальним лишається одночасне спостереження зазначених каналів рекомбінації. У зв'язку з цим у даній роботі розглядаються механізми крайового випромінювання в нелегованому GaN.

Досліджено фотолюмінесценцію (ФЛ) при 78 К епітаксійних шарів GaN товщиною ~ 5 мкм, які отримані хлоридно-гідридним методом і піролітичним осадженням з неорганічних комплексів Ga на сапфірові підкладки орієнтовані в площині (0001). Електронно- та рентгенографічні дослідження свідчать про їх монокристалічність. Між підкладкою і шаром GaN додатково осаджувався підшар AlN, що за даними рентгенографії зменшувало напруження кристалічної ґратки нітриду галію. Фотолюмінесценція збуджувалась азотним лазером, а вимірювання проводились у режимі автоматичного запису за допомогою монохроматора МДР-23 і стандартної системи синхронного детектування. Зразки розташовувались в оптичному кріостаті. Спектри ФЛ наведені в координатах: кількість фотонів в одиничному інтервалі енергій N_ω – енергій фотонів $\hbar\omega$.

Спектр ФЛ досліджених нелегованих шарів GaN наведено на рис.1. Спостерігаються смуги, які умовно позначені символами *A*, *B*, *C*, *E*. Аналіз експериментальних результатів почнемо з високоенергетичної області ($\hbar\omega > E_g$), де спостерігаються смуги *A* та *B*. Дослідження довгохвильового краю поглинання методом λ -модуляції дозволило визначити ширину забороненої зони $E_g = 3,432$ еВ при 78 К. Асиметричність форми смуг в області $\hbar\omega > E_g$ з розлогим високоенергетичним спадом, незалежність положення $\hbar\omega_m$ від рівня збудження свідчать про процеси за участю зон-зонних переходів. У нашому випадку смуга *A* апроксимується відомим виразом для міжзонних електронних переходів [6]

$$N_\omega \approx (\hbar\omega)^2 (\hbar\omega - E_g)^{1/2} \exp\left[-\frac{\hbar\omega - E_g}{kT}\right]. \quad (1)$$

Смугу *B* отримано шляхом віднімання експериментальних значень інтенсивності випромінювання для $\hbar\omega > E_g$ і розрахованої за (1) смуги *A*. Отриманий спектр добре узгоджується з виразом (1) при $E_g^B = 2,493$ еВ. Різниця значень $E_g^B - E_g^A = 0,011$ еВ збігається з величиною спин-орбітального розщеплення Δ_{SO} валентної зони GaN [4].

Для смуги *E* з $\hbar\omega_m = 3,456$ еВ (при інтенсивності фотозбудження $L \approx 10^{16}$ фот/с) притаманні такі властивості: а) асиметричність форми смуги з стрімким високоенергетичним спадом; б) зсув $\hbar\omega_m$ в область менших енергій при збільшенні L ; в) степеневу залежність інтенсивності випромінювання I від L з показником степеня 1,5 (врізка рис.1). Вказані закономірності свідчать про екситонний характер випромінювання [6]. Різниця

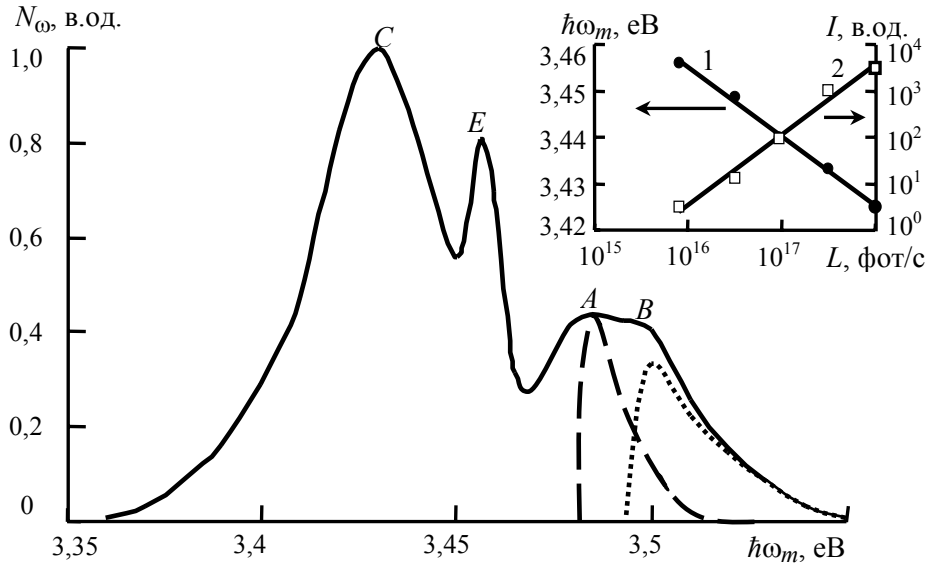


Рис.1. Спектр фотолюмінесценції нелегованого GaN при 78 К. На врізці: залежність положення максимуму смуги E (1) та інтенсивності її випромінювання (2) від рівня збудження.

енергій $E_g - \hbar\omega_m \approx 0,0265$ eВ відповідає енергії зв'язку вільного екситону, розрахованої за виразом [1]

$$E_{exc} = \left(\frac{m_r^*}{m_0}\right) \frac{1}{\varepsilon^2} \cdot 13,6 \text{ eВ}, \quad (2)$$

де m_r^* - приведена ефективна маса екситону для $m_n^* = 0,25m_0$ і $m_p^* = 0,6m_0$, ε - діелектрична проникливість GaN [4].

Смуга C характеризується положенням максимуму $E_g - \hbar\omega_m \approx 0,044$ eВ. Ця величина узгоджується з глибиною залягання донорних центрів, які утворюються однозарядними позитивними вакансіями азоту V_N^\bullet [5]. Незалежність положення максимуму від рівня збудження, симетричність контуру з напівшириною $\hbar\omega_{1/2} \approx 2 \cdot kT$ свідчить про рекомбінаційні процеси за участю одиничних локальних центрів [6], обумовлених V_N^\bullet . Форма смуги C добре узгоджується з виразом [7]

$$N_\omega = N_{\omega_0} \exp\left[-\frac{(\hbar\omega - \hbar\omega_m)^2}{\sigma^2}\right], \quad (3)$$

де σ^2 - параметр, пов'язаний з напівшириною $\hbar\omega_{1/2}$ смуги співвідношенням

$$\sigma^2 = \frac{\hbar\omega_{1/2}^2}{8 \cdot \ln 2} \quad (4)$$

і складає $3 \cdot 10^{-4}$ eВ². Отже, смуга C зумовлена випромінювальною рекомбінацією вільної дірки зі зв'язаним на донорному рівні V_N^\bullet електроном

за моделлю Ламбе-Кліка [8].

Отримані нами експериментальні результати дослідження ФЛ нелегованого GaN добре узгоджуються зі спектрами поглинання, отриманими за методом λ -модуляції.

Отже, крайове випромінювання нелегованого GaN зумовлюється зон-зонними електронними переходами, анігіляцією екситонів і рекомбінацією за участю одиничних локальних мілких центрів, зумовлених власними точковими дефектами V_N^\bullet кристалічної ґратки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Akasaki I., Amano H. // Optoelectron.: Devices and Technol. - 1992. - 7. - P.49-59.
2. Дисплеи / Под. ред. Ж. Панкова - М.: Мир, 1982.
3. Monemar B. Basic III-V nitride research - past, present and future // J. Cryst. Growth. - 1998. - 189-190. - P.1-7.
4. Четверикова И.Ф., Чукичев М.В., Храпцев А.П. // Обзоры по электрон. техн. - 1982 - сер.6, вып 8. - С.1-59.
5. Слетов М.М. Роль собственных дефектов в формировании ультрафиолетового излучения нитрида галлия // Опт. и спектр. - 1998. - 85, №4. - С.607-609.
6. Грибковский В.П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. - Минск: Наука и техника, 1975.
7. Физика и химия соединений A^{III}B^{VI} / Пер.с англ. под ред. С.А. Медведева. - М.: Мир, 1970.
8. Сердюк В.В., Ваксман Ю.Ф. Люминесценция полупроводников. - Киев-Одесса: Высш. школа, 1988.