

Д.М. Заячук, С.І. Круковський, Є.О. Полигач, Н.Я. Струхляк
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра напівпровідникової електроніки

ОДНОРІДНІСТЬ ЕПІТАКСІЙНИХ СТРУКТУР GaAs, ВИРОЩЕНИХ МЕТОДОМ РФЕ ПІД ВПЛИВОМ ЛЕГУЮЧОЇ ДОМІШКИ Yb

© Заячук Д.М., Круковський С.І., Полигач Є.О., Струхляк Н.Я., 2004

D.M. Zayachuk, S.I. Krukovsky, Ye.O. Polyhach, N.Y. Strukhlyak

HOMOGENEITY OF THE GaAs EPITAXIAL STRUCTURES GROWN BY LPE METHOD UNDER INFLUENCE OF Yb DOPING IMPURITY

© Zayachuk D.M., Krukovsky S.I., Polyhach Ye.O., Strukhlyak N.Y., 2004

Експериментально досліджені низькотемпературні спектри фотолюмінесценції (ФЛ) епітаксійних шарів арсеніду галію, вирощених методом рідинно-фазної епітаксії (РФЕ) з розчинів-розплавів галію, легованих домішкою ітербію в діапазоні концентрацій від $1 \cdot 10^{-3}$ до $1.2 \cdot 10^{-2}$ ат. %. Показано, що характер спектрів ФЛ і якість вирощуваних структур суттєво залежать від концентрації легуючої домішки в розплаві. Визначено діапазон концентрацій легуючої домішки, який дає змогу отримувати епітаксійні структури високого ступеня однорідності.

Low-temperature photoluminescence (PL) spectra of GaAs epitaxial layers grown by liquid-phase epitaxy (LPE) method from gallium solution-melt doped with Yb impurity over the range of concentration from $1 \cdot 10^{-3}$ till $1.2 \cdot 10^{-2}$ at. % are investigated. It is shown that both the characteristics of the PL spectra and quality of the grown structures are depended appreciably on concentration of the doping impurity into the solution. The range of doped impurity concentration, which enables to grow of epitaxial layers of large-scale homogeneity, is ascertained.

Вступ

Арсенід галію є основою різних приладів сучасної електроніки, як то лазерних та силових діодів, НВЧ транзисторів, сонячних елементів тощо [1–3]. Одним із критичних параметрів, що визначає їхні експлуатаційні характеристики, є концентрація фонових домішок та власних дефектів у активних шарах структур [1–5]. Останніми роками численними дослідженнями було встановлено, що ефективно керувати домішковою і дефектною системами епітаксійних шарів GaAs можна за допомогою впливу спеціального легування вихідних розчинів-розплавів рідкісноземельними елементами, зокрема домішкою Yb [5–8]. Ефективність впливу домішки Yb на основні електрофізичні характеристики плівок арсеніду галію суттєво залежить від наявності у вихідній шихті інших домішок [7]. Зокрема, коли вихідні розчини-розплави є “чистими”, то оптимальні інтегральні параметри структур – концентрація і рухливість вільних електронів в епітаксійних шарах, – отримуються за умови, коли домішка ітербію додається у вихідну шихту в оптимальній кількості $N_{opt} < 4,8 \cdot 10^{-3}$ ат. %, за якої ітербій не входить до кристалічної ґратки у вигляді мікрровключень [6]. При цьому не вирішеним залишається питання про локальну однорідність структур, які вирощуються із таких спеціально легованих вихідних розплавів. Частково дати відповідь на це запитання повинна ця робота, яка присвячена вивченню латеральної однорідності епітаксійних шарів GaAs, вирощених методом РФЕ з розчинів-розплавів, легованих домішкою ітербію.

Методика експерименту

Епітаксійні шари вирощували методом РФЕ у графітових контейнерах із розплаву галію (99.9999) на підкладках напівізолюючого GaAs, орієнтованих в кристалографічній площині типу (100). Температура початку епітаксії становила 680 °С, інтервал нарощування – 50 °С. Концентрація Yb в розчинах-розплавах змінювалася в межах від $1 \cdot 10^{-3}$ до $1.2 \cdot 10^{-2}$ ат. %. Для насичення розплавів миш'яком використовувався полікристалічний GaAs з концентрацією вільних електронів порядку $(2 \div 3) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Всього було вирощено і досліджено 4 структури – по дві із розчинів-розплавів із концентрацією домішки ітербію N_{Yb} , більшою і меншою за N_{opt} .

Латеральну однорідність епітаксійних структур досліджували методом низькотемпературної фотолюмінесценції (ФЛ). Дослідження проводили при температурі 10 К. Збудження ФЛ здійснювалося аргонним лазером з довжиною хвилі 514.5 нм. Експериментально вивчалися дві характеристики структур – координатна залежність інтенсивності піків екситонної люмінесценції, а також співвідношення інтенсивностей екситонних і домішкових люмінесцентних піків в окремих точках епітаксійних шарів залежно від діаметра збуджуючого лазерного променя. Останній змінювали в межах від 50 до 750 мкм.

Результати експерименту та їх обговорення

Експериментальні дослідження показали, що структура спектрів ФЛ епітаксійних шарів GaAs зазнає суттєвих змін під впливом легуючої домішки Yb, яка вводиться у вихідні розчини-розплави, а отже, остання суттєво впливає на вміст у шарах, що кристалізуються, неконтрольованих фонових домішок. Серед чотирьох із досліджених структур найдосконалішими виявилися епітаксійні шари, вирощені з розплавів, що містили легуючу домішку Yb в кількості $1.8 \cdot 10^{-3}$ ат. %. По-перше, для них було найкращим відношення інтенсивностей екситонних піків люмінесценції до інтенсивності короткохвильових піків люмінесценції, зумовлених випромінювальними переходами з участю мілких домішкових центрів. По-друге, епітаксійні шари цього складу виявилися найодноріднішими в поперечному перерізі – по деяких перерізах інтенсивність екситонного піка взагалі не змінювалася від краю до краю зразка, на інших ділянках вона мінялася незначно. Попри це, навіть такі структури не були, все-таки, ідеально однорідними. Про це свідчить характер спектрів ФЛ, записаних при різних – від 50 до 750 мкм – діаметрах збуджуючого лазерного пучка (рис. 1).

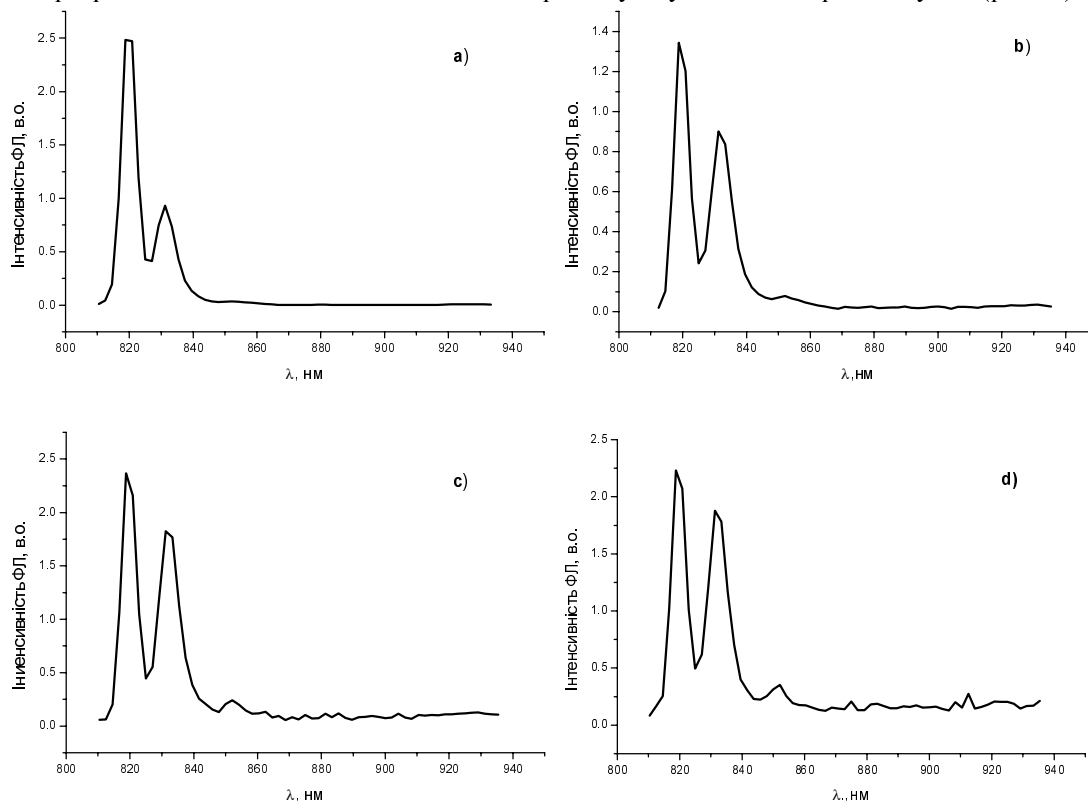


Рис. 1. Спектри ФЛ епітаксійного шару GaAs, вирощеного з розплаву з добавкою $1.8 \cdot 10^{-3}$ ат. % Yb, при діаметрах збуджуючого лазерного пучка а) 50, б) 250, в) 500 і д) 750 мкм

Звертає на себе увагу той факт, що для досліджуваного зразка, як і загалом для всіх структур GaAs, вирощених з шихти з концентрацією легуючої домішки $N_{Yb} < N_{opt}$, екситонний пік люмінесценції завжди помітно домінував над домішковим в усьому діапазоні досліджених діаметрів лазерного пучка збудження, що вказує на відсутність у таких плівках мікрообластей, збагачених скупченнями чужорідних домішок та власних дефектів, які би руйнували екситонну люмінесценцію і водночас збільшували інтенсивність люмінесцентних піків домішкового походження.

Зовсім іншою була картина люмінесценції епітаксійних шарів, вирощених з розчинів-розплавів з концентрацією легуючої домішки $N_{Yb} > N_{opt}$. Особливості поведінки спектрів ФЛ зразків GaAs, вирощених із такої шихти, ілюструють дані, зображені на рис. 2–4.

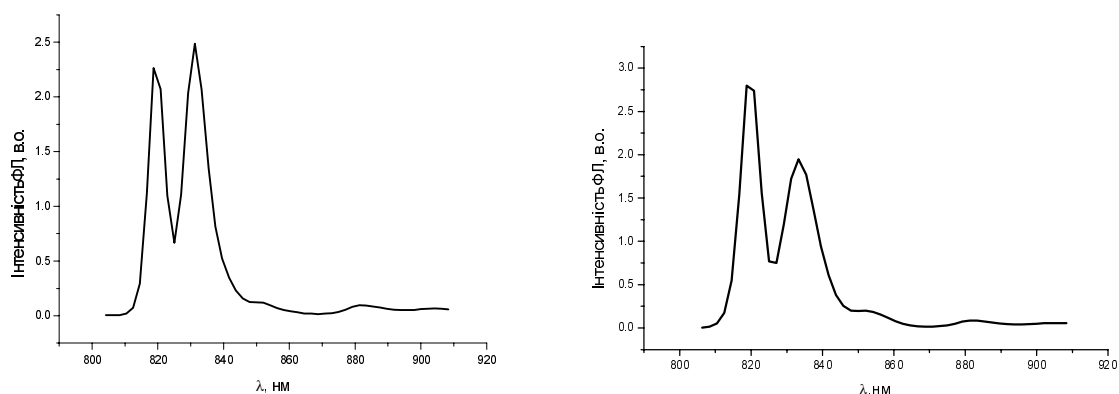


Рис. 2. Спектри ФЛ, виміряні в різних точках епітаксійного шару GaAs, вирощеного з розплаву з добавкою $6.4 \cdot 10^{-3}$ ат % Yb. Діаметр збуджуючого лазерного пучка – 50 мкм

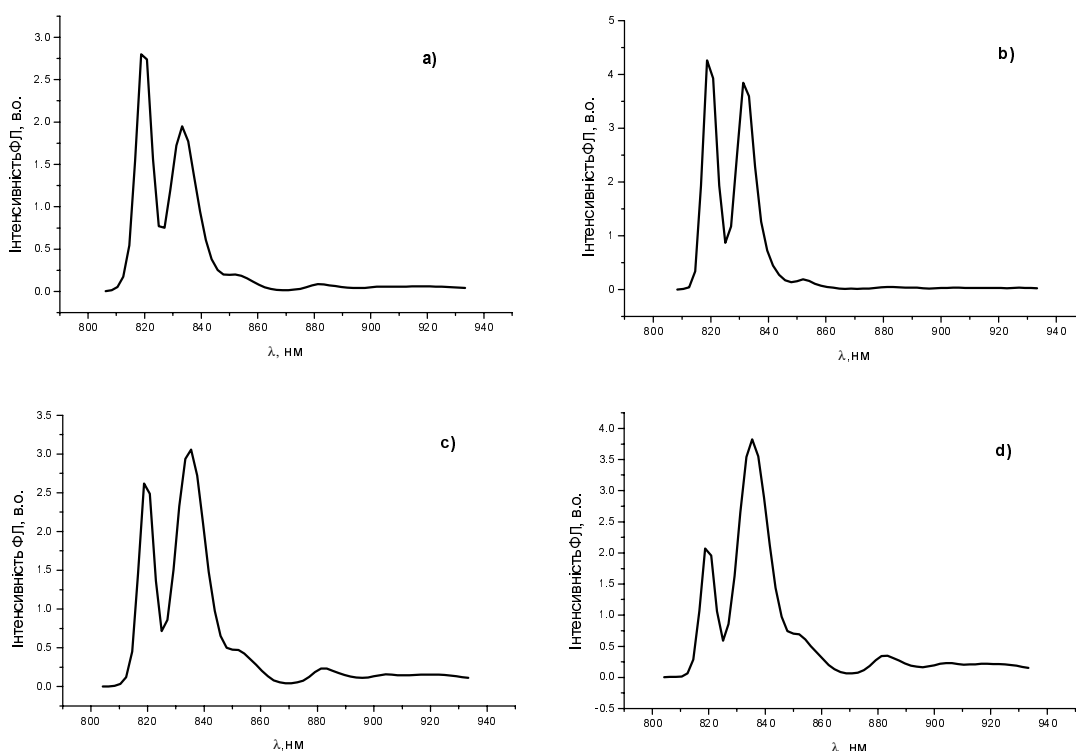


Рис. 3. Спектри ФЛ епітаксійного шару GaAs, вирощеного з розплаву з добавлянням $6.4 \cdot 10^{-3}$ ат % Yb, при діаметрах збуджуючого лазерного пучка а) 50, б) 250, в) 500 і д) 750 мкм

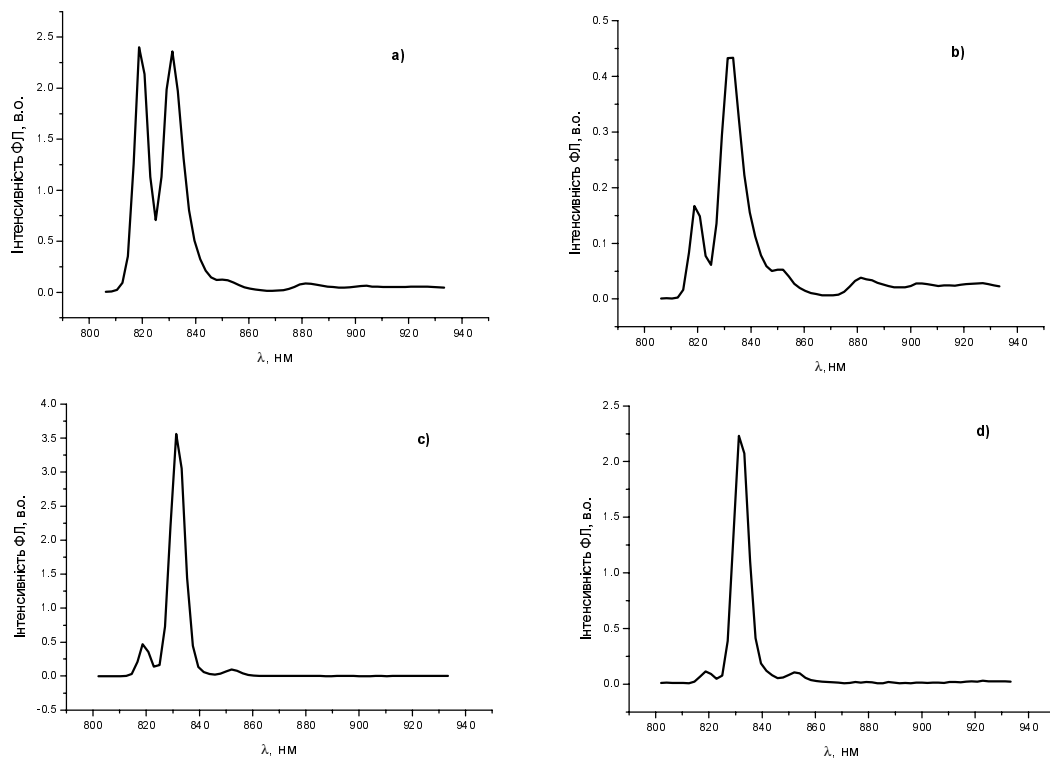


Рис. 4. Спектри ФЛ епітаксійних шарів GaAs, вирощених з розплавів з добавкою $6.4 \cdot 10^{-3}$ (a, b) та $1.2 \cdot 10^{-2}$ (c, d) ат. % Yb, при діаметрах збуджуючого лазерного пучка 50 (a, c) та 250 мкм (b, d)

Як можна бачити з рис.2, для зразків, вирощених з розчинів-розплавів, для яких N_{Yb} не набагато переважало N_{opt} , спостерігалися як мікрообласті, в яких при найменшому діаметрі лазерного пучка збудження екситонний пік домінував над домішковим, так і навпаки. Але якщо концентрація домішки у вихідній шихті N_{Yb} ставала помітно більшою за N_{opt} , як наприклад, для структур, вирощених з легованих розчинів-розплавів з $N_{Yb} = 1.2 \cdot 10^{-2}$ ат. %, то в будь-якій точці структури інтенсивність екситонного піка вже поступалася інтенсивності піку домішкового (рис. 4).

Дещо несподівано щодо того, чого можна було очікувати, поводити себе спектри ФЛ досліджуваних зразків залежно від діаметра збуджуючого лазерного променя. Незалежно від того, яка точка на поверхні півки, вирощеної за умови $N_{Yb} > N_{opt}$, вибиралася за вихідну – з домінуванням при мінімальному діаметрі лазерного пучка екситонного чи домішкового піка люмінесценції, – при збільшенні діаметра пучка домішковий пік люмінесценції врешті-решт завжди починав домінувати над екситонним (рис. 3, 4).

Очевидно, одержані дані свідчать про те, що не тільки інтегральні характеристики епітаксійних структур GaAs, вирощених з розчинів-розплавів з домішкою ітербію, а й їх однорідність суттєво залежать від концентрації домішки. Практично однорідними є структури, вирощені за умови, що у вихідному розчині-розплаві $N_{Yb} < N_{opt}$. Якщо ж вихідна шихта дуже збагачена легуючою домішкою Yb, тобто $N_{Yb} > N_{opt}$, результуючі структури з високою вірогідністю будуть неоднорідними. Вони містять мікрообласті з різним вмістом неконтрольованих домішок і власних дефектів і такі мікрообласті хаотично розподіляються у поперечному перерізі структури.

Висновки

Використання під час вирощування епітаксійних шарів GaAs методом РФЕ домішки ітербію дозволяє ефективно впливати на домішково-дефектну структуру таких шарів. При цьому, якщо концентрація домішки у вихідному розчині-розплаві N_{Yb} не переважає деяке її оптимальне значення N_{opt} , що відповідає мінімальній концентрації вільних носіїв заряду і їх максимальній рухливості в шарах, що кристалізуються, то епітаксійні шари володіють високим ступенем однорідності. У

зворотному випадку, коли $N_{yb} > N_{opt}$, вирощувані епітаксійні структури є неоднорідними за складом і ступінь їх неоднорідності зростає зі збільшенням N_{yb} .

1. Алферов Ж.И. // ФТП. – 1998. – 32. – С.3–8.
2. Корольков В., Рахимов Н. Диоды, транзисторы и тиристоры на основе гетероструктур. – Ташкент, 1986.
3. Андреев В.М., Хвостиков В.П., Ларионов В.Р., Румянцев В.Д., Палеева Е.В., Шварц М.З. // ФТП. – 1999. – 33. – С.1070–1072.
4. Соболев М.М., Брунков П.Н., Конников С.Г., Степанова М.Н., Никитин В.Г., Улин В.П., Долбая А.Ш., Камушадзе Т.Д., Майсурадзе Р.М. // ФТП. – 1989. – 23. – С.1058–1065.
5. Беспалов В. А., Елкин А. Г., Журкин Б. Г., Квит Ф. И., Октябрьский С. Р., Пережогин Г. А. // Краткие сообщения по физике. – 1987. – №9. – С.32.
6. Семенова Г.М., Криштаб Т.Г., Кладько В.П., Круковський С.І., Світельський О.В. // Укр. фіз. журн. – 1995. – 40. – С.1101–1106.
7. Гореленок А.Т., Каманин А.В., Шмидт Н.М. // ФТП. – 2003. – 37. – С.922–940.
8. Kryshab T.G., Prokhorovich A.V. Semenova G.N., Krasnov V., Krukovskii S.I., Merker R. Influence of Rare-Earth Additions on the Stoichiometry and Radiation Stability of LPE GaAs // Proceeding of Int. Conf. on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems. – Smolenice, Slovakia, 1996.

УДК 621.315.592 + 548.51 + 537.311.33

І.В. Курило, І.О. Рудий, І.Є. Лопатинський, М.С. Фружинський, І.С. Вірт*, З.К. Власенко**

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра напівпровідникової електроніки; кафедра загальної фізики,

* Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка,

** Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

ПЕРЕХІДНІ ШАРИ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ НА ОСНОВІ CdHgTe

© Курило І.В., Рудий І.О., Лопатинський І.Є., Фружинський М.С., Вірт І.С., Власенко З.К., 2004

I.V. Kurilo, I.O. Rudyi, I.Ye. Lopatynskii, M.S. Fruginskii, I.S. Virt, Z.K. Vlasenko

TRANSITION LAYERS IN CdHgTe HETEROSTRUCTURES

© Kurilo I.V., Rudyi I.O., Lopatynskii I.Ye., Fruginskii M.S., Virt I.S., Vlasenko Z.K., 2004

Методами електроннографії, растрової та трансмісійної електронної мікроскопії, електронної Оже-спектроскопії, мікромеханічних досліджень та селективного хімічного травлення досліджували початкові стадії росту та формування перехідних шарів гетероструктур на основі CdHgTe, вирощених ізотермічною парофазною епітаксією та імпульсним лазерним осадженням.

By electron diffraction, scanning and transmission electron microscopy, Auger-electron spectroscopy, micromechanical investigation and preferential etching the initial stages of growth and the formation of the transition layers in heterostructures CdHgTe were investigated. The heterostructures were grown by isothermal vapor phase epitaxy and pulsed laser deposition.

Вступ

Структуру межі розділення підкладка/епітаксійна плівка (ЕП) вивчали для багатьох напівпровідникових, металевих і діелектричних гетероструктур електронно-мікроскопічними, рентгенографічними, рентгеноспектральними, оптичними та електрофізичними методами. Було виявлено