

УДК 621.315.592

М.М. Ваків, С.І. Круковський, Р.С. Круковський.
Науково-виробниче підприємство “Карат”

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОВИХ РІВНОВАГ В СИСТЕМІ Bi-InAs

© Ваків М.М., Круковський С.І., Круковський Р.С., 2010

M.M. Vakiv, S.I. Krukovsky, R.S. Krukovsky

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PHASE EQUILIBRIUM IN Bi-InAs SYSTEM

© Vakiv M.M., Krukovsky S.I., Krukovsky R.S., 2010

Експериментально, за методом термо-гравітаційного аналізу, досліджено лінію ліквідуса в системі Bi-InAs в інтервалі температур 750–600 °С. Експериментальні дані з розчинності арсену у вісмуткових розчинах-розплавах добре узгоджуються із розрахунковими, визначеними згідно з моделлю регулярно асоційованих розчинів.

Ключові слова: термо-гравітаційний аналіз, арсенід, розчин.

Experimentally, using thermal gravity analysis, liquidus line in the system Bi-InAs at the temperature range 750-600 °C is researched. Experimental data on the solubility of arsenic in bismuth melts are relevant with estimates set by regular associated melts model.

Keywords: thermal gravity analysis, arsenic, melt.

Для нарощування епітаксійних структур на основі InAs та його твердих розчинів сьогодні достатньо широко використовується метод рідиннофазної епітаксії [1]. Розчинником використовують індієві розплави. Інтерес до дослідження процесів кристалізації шарів InAs із вісмуткових розплавів зумовлений декількома факторами. Як відомо, розчинність кремнію, однією із основних фонових домішок, у вісмуткових розплавах майже на два порядки нижча, ніж в індії [2, 3], а отже, кристалізовані епітаксійні шари InAs містять значно менше фонового кремнію. Крім того, при нарощуванні шарів InAs із вісмуткових розплавів в останніх забезпечуються близькі до стехіометричного співвідношення елементів п'ятої та третьої груп. За таких умов сумарна концентрація власних точкових дефектів (вакансій індію та арсену) на декілька порядків менша, ніж під час вирощування з індієвих розплавів. Все це в сукупності дає змогу отримувати структурно досконаліші епітаксійні шари. Описані вище переваги застосування вісмуткових розплавів потребують знання фазових рівноваг у квазібінарній системі Bi-InAs. Проте, перевірених експериментальних та розрахункових даних по кривих ліквідуса в цій системі немає.

Метою роботи було експериментальне дослідження фазових рівноваг в системі Bi-InAs та зіставлення цих даних із розрахунковими.

Дослідження проводили в інтервалі температур 750–600 °С, що є найтипівішим для кристалізації приладних епітаксійних структур на основі InAs.

Розчинність InAs у вісмуткових розчинах-розплавах визначали згідно з методикою диференційного термо-гравітаційного аналізу. З метою уточнення впливу методичних факторів на результати досліджень в експериментах були використані підкладки InAs різних орієнтацій – (111) та (100). Підкладки в окремих експериментах розміщувались на поверхні розплаву, вводили в середину розплаву, або ж перебували під розплавом. Час їх витримки в контакт з розчинами-розплавами становив не менше ніж годину. Для досліджень використовували графітову слайдерну

касету. Конструкція касети забезпечувала повне видалення розплаву з поверхні підкладки. Підкладки і компоненти розплаву (Bi-99,9999, In-99,9999) зважували на аналітичній вазі ВЛР-200. Температуру підтримували з точністю $\pm 0,5$ °C. У всіх експериментах величина розчинності змінювалась в межах похибки експерименту (1,5–2,5 %).

Під час розрахунку лінії ліквідуса в системі In-As-Bi для обчислення хімічного потенціалу чистої сполуки $\mu_{\text{InAs}}^{\text{OS}}$ за температури T використовували підхід Віланда [4]. Згідно з цим підходом вираз, який описує криву ліквідуса в системі In-P-Bi, має вигляд

$$RT \ln(4\gamma_{\text{In}}^L \cdot \gamma_{\text{P}}^L / \gamma_{\text{In}}^{\text{S,L}} \gamma_{\text{P}}^{\text{S,L}}) \cdot (x_{\text{P}})^2 = \Delta S_{\text{InAs}}^{\text{F}} (T_{\text{InAs}}^{\text{F}} - T) \quad (1)$$

де R – універсальна газова стала; T – абсолютна температура; x_{P} – концентрації In та P у рідкій фазі; γ_{In}^L , γ_{P}^L – активності In та P у розчині-розплаві; $\gamma_{\text{In}}^{\text{S,L}}$, $\gamma_{\text{P}}^{\text{S,L}}$ – коефіцієнти активності In та As в розплаві стехіометричного складу; $T_{\text{InAs}}^{\text{F}}$ – температура плавлення InAs; $\Delta S_{\text{InAs}}^{\text{F}}$ – ентропія плавлення InAs.

Вираз (1) містить коефіцієнти активності γ_{In}^L , γ_{P}^L , які по суті відображають ступінь неідеальності розчину-розплаву. Для розрахунку коефіцієнтів активності в системі Bi-In-As було використано модель регулярно асоційованих розчинів, запропоновану в роботі [5] для розрахунку лінії ліквідуса в подібній системі Bi-Ga-P. Відповідно до цієї моделі рівняння для визначення коефіцієнтів активності In та As запишемо у вигляді

$$RT \ln \gamma_{\text{In}}^L = \alpha_{\text{In-As}} \cdot x_{\text{As}}^2 \quad (2)$$

$$RT \ln \gamma_{\text{As}}^L = \alpha_{\text{In-As}} \cdot (1 - x_{\text{In}} - x_{\text{Bi}})^2 \quad (3)$$

де $\alpha_{\text{In-As}}$ – параметр взаємодії In та As в розплаві індію.

Відповідно до цієї моделі, рідка фаза Bi-In-As містить крім одиничних атомів вісмуту, індію та арсену також і димери вісмуту Bi_2 . Розчин димерів та мономерів ми вважали ідеальним ($\alpha_{\text{Bi-Bi}_2} = 0$). Коефіцієнти взаємодії димерів та мономерів вісмуту із фосфором ($\alpha_{\text{Bi-P}} = \alpha_{\text{Bi}_2\text{-P}}$) прийняли також рівними між собою. Параметри, прийняті для розрахунку, були такі: $\alpha_{\text{In-Bi}} = 3500$ Дж/моль, $\alpha_{\text{InAs-Bi}} = 25658$ Дж/моль. $\Delta S_{\text{InAs}}^{\text{F}} = 52,7$ Дж/моль·К [5]. Решту параметрів взято із роботи [6]. Розрахункова крива розчинності арсену у вісмутівому розчині-розплаві за температур 500–800 °C показана на рис. 1 (суцільна крива 1).

Експериментальну залежність розчинності арсену в розчинах-розплавах вісмуту за різних температур показано на рис. 1 (крива 1-точки).

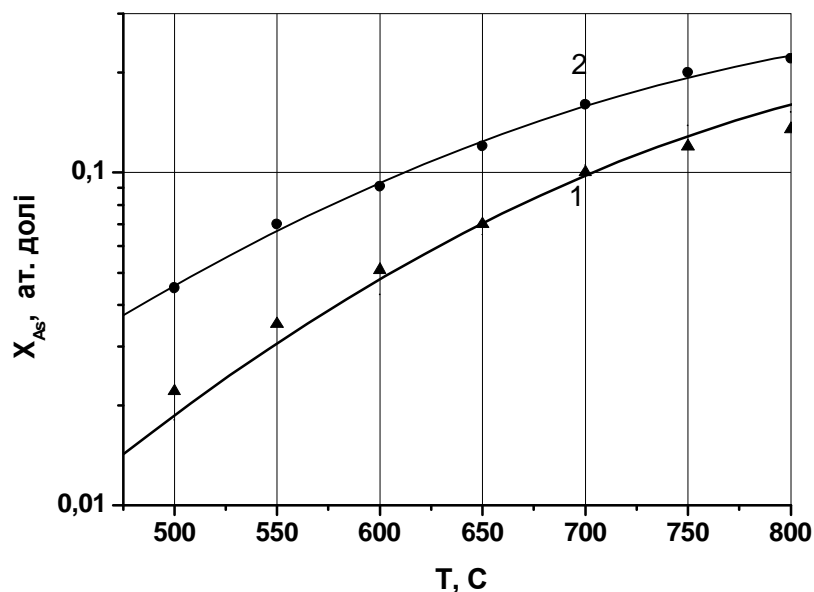


Рис. 1. Криві розчинності арсену в системі Bi-InAs та In-InAs:

1 – розчинність арсену в системі Bi-InAs (експериментальні дані – точки, розрахункові дані – суцільна крива); 2 – розчинність арсену в системі In-InAs (дані [7])

Кожна точка, що наведена на рисунку, є усередненим значенням декількох експериментальних даних. Для температурного діапазону 600–700 °С, що найчастіше використовується для нарощування приладних епітаксійних структур на основі шарів InAs, розчинність арсену у чистому вісмуті є меншою в 1,6–1,7 разів, ніж у чистому індії (рис. 1 крива 2). Це дає можливість з більшою відтворюваністю по товщині кристалізувати тонкі шари InAs.

Як видно із рис. 1, розрахункові результати непогано описують експериментальні дані. Незначна розбіжність між експериментальними та розрахунковими даними, яку спостерігаємо за температур 500–600 °С та 800 °С, може бути зумовлена прийнятими до розрахунку значеннями параметрів взаємодії $\alpha_{\text{Bi-Bi}_2}$, $\alpha_{\text{As-Bi}_2}$, $\alpha_{\text{As-Bi}}$ хімічних елементів у розчині-розплаві.

Для перевірки отриманих даних за розчинністю арсену у вісмутових розчинах-розплавах були проведені пробні процеси з кристалізації епітаксійних шарів InAs в температурному діапазоні 635–600 °С. Перед початком нарощування, для видалення порушеного шару, та забезпечення хорошої змочуваності, підкладка InAs підрозчинялась у вісмутівому розплаві ненасиченому арсеном. Шари кристалізувались із попередньо пересичених розплавів вісмуту ($\Delta T = 15$ °С) при швидкості зниження температури 0,5 °С/хв. Товщина шарів становила 12–15 мкм. Фотографія зразків наведена на рис. 2. Морфологія поверхні епітаксійних шарів InAs є гладкою, без розвиненого мікрорельєфу, що є типовим для шарів, вирощених із пересичених однофазних розплавів. Це свідчить про достовірність отриманих даних з розчинності арсену у вісмуті.

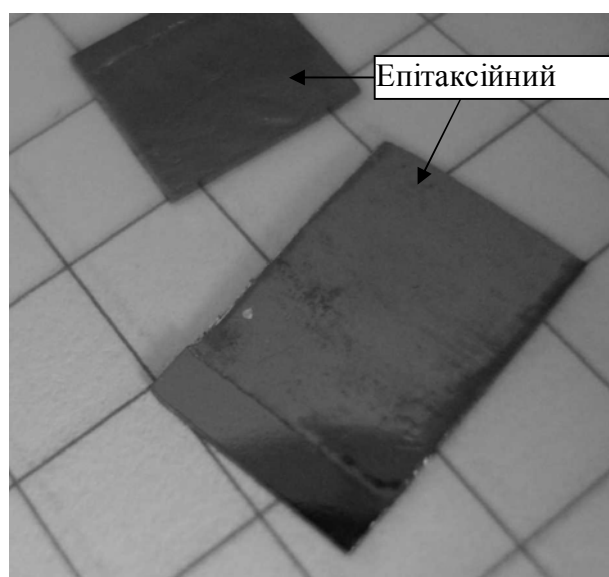


Рис. 2. Морфологія поверхні епітаксійних шарів InAs вирощених із пересиченого ($\Delta T = 15$ °С) вісмутівому розплав

Висновки

У роботі експериментально досліджено лінію ліквідуса в системі Bi-InAs в інтервалі температур 750–600 °С. зіставлення експериментальних даних із розрахунковими, отриманими згідно з моделлю регулярно асоційованих розчинів, показало добре узгодження між ними. Достовірність отриманих даних з розчинності арсену у вісмутових розчинах-розплавах, підтверджена кристалізацією епітаксійних шарів InAs з морфологією, придатною для фотолітографічних процесів.

1. Зотова Н.В., Ильинская Н.Д., Карандашев Н.А., Матвеев Б.А., Ременный М.А., Стусь Н.М. Источники спонтанного излучения на основе арсенида индия // ФТП – 2008. – Т. 42, В. 6. – С. 641–657.
2. Weeks J.R. Liquidus curves of nineteen dilute binary alloys of bismuth // Transaction of the ASM. – 1965. – Vol. 58. – P. 302–322.
3. Nakajima K., Yamazaki S., Takanohashi T. and Akita K. Liquid Phase

Epitaxial Growth of High Purity $In_{1-x}Ga_xAs$ and InP on (100) and (111)B Faces // Journal of Crystal Growth. – 1982. – Vol. 59. – P. 572–582. 4. *Viland L. J. Phase equilibria of III-V compounds // Acta Metal. – 1963. – Vol. 11. – P. 137.* 5. *Jordan A.S. Calculation of phase equilibria in the Ga – Bi and Ga – P – Bi systems based on a theory of regular associated solutions // Metal Trans. B. – 1976. – Vol. 7, № 6. – P. 191–202.* 6. *Vurgaftman I., Meyer J. R. and Ram-Mohan L.R. Band parameters for III-V compound semiconductors and their alloys // Journal of Applied Physics. – 2001. – Vol. 89, № 11. – P. 5815–5875.* 7. *Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. – М.: Мир, 1981.*

УДК 532.783

З.Ю. Готра, А.В. Фечан, В.В. Левенець, В.І. Коцун, А.В. Вараниця
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електронних приладів

АНАЛОГОВІ СЕНСОРИ НАПРУГИ НА ОСНОВІ ЕФЕКТУ ХОЛЕСТЕРИКО-НЕМАТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ

© Готра З.Ю., Фечан А.В., Левенець В.В., Коцун В.І., Вараниця А.В., 2010

Z.Yu. Hotra, A.V. Fechan, V.V. Levenets, V.I. Kotsun, A.V. Varanytsia

VOLTAGE ANALOG SENSORS BASED ON EFFECT OF CHOLESTERIC-NEMATIC TRANSITION

© Hotra Z.Yu., Fechan A.V., Levenets V.V., Kotsun V.I., Varanytsia A.V., 2010

На основі досліджених електрооптичних характеристик холестерико-нематичного переходу запропоновано використовувати як аналогового сенсора напруги рідкокристалічну комірку зі змінною товщиною. Проведено математичне моделювання поширення світла в шарі рідкого кристала та скляній пластині. Експериментально отримано розподіл інтенсивності випромінювання та діаграму напрямленості запропонованого сенсора.

Ключові слова: рідкий кристал, аналоговий сенсор, холестерико-нематичний перехід.

The liquid crystal cell with changed thickness proposed to use as voltage analog sensor. The cholesteric-nematic transition as the electrooptical effect in liquid crystal material is investigated. The mathematical modelling of light propagation in liquid crystal layer and in glass plate is proposed. The angle distribution of light radiation of such sensor is experimentally investigated.

Keywords: liquid crystal, analog sensor, cholesteric-nematic transition.

Вступ

Рідкокристалічні (РК) матеріали широко застосовують як оптично активні середовища індикаторів та сенсорів фізичних величин. Це пов'язано з високою чутливістю цих матеріалів до різноманітних зовнішніх впливів та можливістю керування їхніми оптичними властивостями за допомогою зовнішніх електричних і магнітних полів. Найчастіше в пристроях реєстрації величини електричного поля використовують твіст- та супертвіст-ефекти [1–3]. Ці ефекти характеризуються низькими пороговими напругами, які дорівнюють одиниці вольт. Однак у таких пристроях, як