

05.1;06

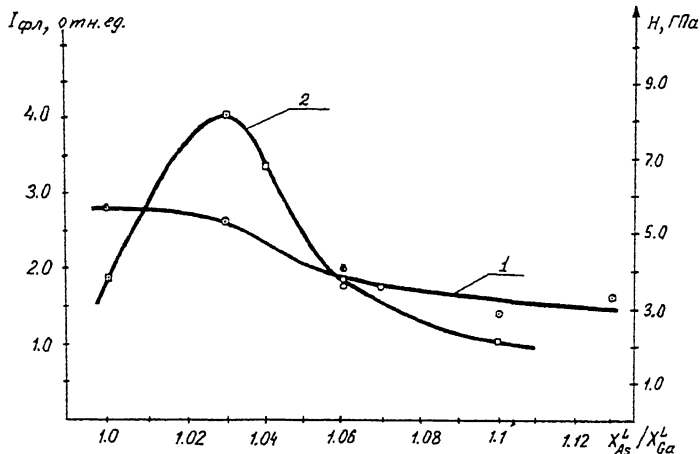
СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНОГО АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ РАСТВОРОВ-РАСПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ВИСМУТА

© М.Д.Лубяная, С.Р.Сороколет, С.В.Шутов

Важнейшим условием получения совершенных эпитаксиальных слоев из жидкой фазы является обеспечение морфологической стабильности фронта кристаллизации. При выращивании арсенида галлия из раствора в расплаве висмута, обладающего при типичных температурах эпитаксии существенно меньшим коэффициентом теплопроводности ($\lambda_{ж, \text{Bi}} = 0.08 \text{ Дж/см} \cdot \text{с} \cdot \text{К}$) по сравнению с галлием ($\lambda_{ж, \text{Ga}} = 0.5 \text{ Дж/см} \cdot \text{с} \cdot \text{К}$), обеспечивается при прочих равных условиях эпитаксии более высокое значение морфологической стабильности [1]. Кроме того, при использовании висмута в качестве металла-растворителя возможно получение эпитаксиальных слоев GaAs как из раствора стехиометрического состава, так из растворов-расплавов, обогащенных одним из кристаллизующихся компонентов, что особенно важно при легировании амфотерными примесями.

В данной работе исследовались эпитаксиальные слои GaAs, полученные из растворов-расплавов с избыточным (по отношению к содержанию галлия) содержанием мышьяка. Эпитаксия осуществлялась на полуизолирующих подложках GaAs ($\rho \approx 10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$) ориентации (100) принудительным охлаждением ограниченного объема раствора-расплава. Насыщение раствора-расплава по мышьяку производилось по данным растворимости As в висмуте [2] путем введения в расплав шихты InAs и GaAs. Содержание избыточного мышьяка в жидкой фазе в относительных единицах изменялось в пределах ($1.00 \leq X_{\text{As}}^4 / X_{\text{Ga}}^I \leq 1.14$). Температуры начала и окончания эпитаксии во всех экспериментах составляли 850 и 650°C соответственно, скорость охлаждения — 0.8°C/мин, толщина раствора-расплава 1.2–1.4 мкм. Насыщенный раствор-расплав перед проведением процессов эпитаксии отжигался в потоке очищенного диффузией через палладий водорода при $T = 870^\circ\text{C}$ в течение 5 ч, время гомогенизации раствора-расплава при температуре начала эпитаксии составляло 1.5 ч.

Фотолюминесцентные свойства эпитаксиальных слоев изучались при 77 К на установке, созданной аналогично [3].



Зависимости интегральной фотолюминесценции (1) и микротвердости (2) эпитаксиальных слоев GaAs от состава раствора-расплава.

Плотность дислокаций подсчитывалась по методу [4] в травителе состава $\text{HNO}_3 : \text{HF} = 3 : 1$, толщина эпитаксиальных слоев измерялась под микроскопом МИИ-4 после травления скола структуры в растворе $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O} : \text{KCr}_2\text{O}_7 = 1.6 \text{ мл} : 100 \text{ мл} : 0.3 \text{ г}$. Микротвердость определяли на установке ПМТ-3 при нагрузке на индентор 50 г. В качестве индентора использовалась пирамида Виккерса.

Полученные эпитаксиальные слои арсенида галлия имели толщины от 9.9 до 16.5 мкм в зависимости от толщины и состава раствора-расплава. Все слои обладали n -типом проводимости, концентрация электронов, определенная при послойном травливании, была примерно постоянной ($4-6 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$) по толщине слоев и не зависела от стехиометрии раствора-расплава.

Проведенные исследования спектров фотолюминесценции показали, что интегральная интенсивность фотолюминесценции уменьшается с увеличением содержания избыточного по отношению к галлию мышьяка в растворе-расплаве (см. рисунок, кривая 1). Учитывая, что концентрация основных носителей при этом остается неизменной, можно предположить, что уменьшение интегральной интенсивности фотолюминесценции обусловлено увеличением концентрации вакансий галлия, являющихся эффективными центрами безызлучательной рекомбинации в GaAs. Вторым возможным механизмом, ответственным за снижение интегральной интенсивности фотолюминесценции, может быть встраивание индия в кристаллическую решетку GaAs, при-

водящее к ухудшению ее кристаллографического совершенства. Подтверждением этого служит также наблюдаемое смещение положения краевой полосы фотолюминесценции в длинноволновую область в спектрах образцов, полученных из растворов-расплавов с отношением $X_{As}^L/X_{Ga}^L \geq 1.12$ и возрастание плотности дислокаций от $5 \cdot 10^3$ до $3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ при увеличении отношения X_{As}^L/X_{Ga}^L от 1.04 до 1.14.

Интересно отметить, что при небольших концентрациях в растворе-расплаве ($X_{InAs}^L/X_{GaAs}^L \leq 0.03$) наблюдается резкое упрочнение эпитаксиального материала (см. рисунок, кривая 2). При этом плотность дислокаций в эпитаксиальных слоях не превышала $1 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}$ при плотности дислокаций в подложке GaAs порядка $1-3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$. С увеличением содержания InAs в растворе-расплаве микротвердость уменьшалась и уже при соотношении $X_{InAs}^L/X_{GaAs}^L \geq 0.07$ микротвердость эпитаксиального материала была меньше, чем у образцов, полученных из раствора-расплава стехиометрического состава.

Сходное поведение индия при изовалентном легировании арсенида галлия наблюдали, в частности, и авторы [5], в которой отмечается увеличение барьера Пайерса и понижение плотности дислокаций в монокристаллах GaAs, легированных индием.

Список литературы

- [1] Марончук И.Е., Шутков С.В., Кулюткина Т.Ф. // Неорганические материалы. 1995. Т. 31. № 12. С. 1520-1522.
- [2] Якушева Н.А., Чикичев С.Н. // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1987. Т. 23. № 10. С. 1607-1609.
- [3] Коваленко В.Ф., Пека Г.П. и др. Варизонные полупроводники. Киев. 1989.
- [4] Nishizawa J., Oyama Y., Tanado H. // J. Cryst Growth. 1979. V. 47. N 3. P. 434-436.
- [5] Djemel, Castaing J., Burle-Durbec N., Pichaud. // Revue Phys. Appl. 1989. V. 24. N 8. P. 779-793.

Поступило в Редакцию
8 июля 1996 г.