

06;12

Получение многослойных гетероструктур на основе арсенида-антимонида-висмутида индия методом "капиллярной" жидкофазной эпитаксии

© Р.Х. Акчурин, В.А. Жегалин, Т.В. Сахарова, С.В. Серегин

Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова, Москва
Институт химических проблем микроэлектроники, Москва

Поступило в Редакцию 10 ноября 1996 г.

В работе методом низкотемпературной "капиллярной" жидкофазной эпитаксии на подложках InSb(111)A выращены многослойные эпитаксиальные гетероструктуры $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y/\text{InSb}_{1-y}\text{Bi}_y$. Гетероструктуры содержали до 60 эпитаксиальных слоев толщиной от 0.05 до 0.15 мкм, регулируемой условиями эпитаксиального роста. Приведены результаты исследования гетероструктур методами сканирующей электронной микроскопии и масс-спектрометрии вторичных ионов.

Твердые растворы арсенида-антимонида-висмутида индия ($\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y$) привлекательны в качестве материала чувствительных элементов фотоприемных устройств для дальней инфракрасной области спектра ($\lambda = 8-14$ мкм), работающих на эффекте собственной фотопроводимости. Однако возможности эпитаксиального осаждения материала со значениями $E_g(77\text{K}) < 0.15$ эВ ограничиваются возрастанием технологических трудностей получения твердых растворов необходимого состава ($x \approx 0.6-0.7$), ограниченной растворимостью висмута в твердых растворах ($y \leq 0.005$), а также дефектностью эпитаксиальных слоев вследствие отсутствия приемлемых подложечных материалов для создания изопериодных гетероструктур [1,2].

В [3] на основе расчетных оценок показана принципиальная возможность создания материала с краем собственного оптического поглощения $\lambda \geq 12$ мкм при 77 К на основе многослойных упругонапряженных сверхрешеточных гетероструктур типа $\text{InAs}_{0.39}\text{Sb}_{0.61}/\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$

($x > 0.73$), формируемых на подложках InSb. Недавние успехи в создании таких гетероструктур методами молекулярно-лучевой эпитаксии и газофазной эпитаксии с использованием металлоорганических соединений и в изготовлении эффективных фотоприемников на их основе повышают интерес к рассматриваемым твердым растворам [4–6]. Согласно расчетным оценкам [7], использование для указанных целей упругонапряженных гетероструктур типа $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y/\text{InSb}$ более целесообразно. При этом для обеспечения значений $E_g(77\text{ K}) = 0.12\text{--}0.14\text{ эВ}$ с учетом предельной растворимости висмута в зависимости от температуры ожидаемый состав твердых растворов $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y$ лежит в области $x \approx 0.86\text{--}0.92$, а значения критических толщин эпитаксиальных слоев для сохранения упругих напряжений находятся в пределах $0.05\text{--}0.1\text{ мкм}$.

Возможность использования метода "капиллярной" жидкофазной эпитаксии для формирования многослойных упругонапряженных гетероструктур на основе $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y$ проанализирована в [8]. В соответствии с расчетными данными для обеспечения однородности составов эпитаксиальных слоев и резкости гетерограниц целесообразно формировать гетероструктуры с чередующимися эпитаксиальными слоями $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y$ (активные слои) и $\text{InSb}_{1-y}\text{Bi}_y$ (вспомогательные растягивающие слои), наращиваемыми на подложки InSb из растворов-расплавов на основе сплавов индия и висмута.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований по созданию таких структур указанным методом. Согласно оценкам [8], успешный рост эпитаксиальных слоев докритической толщины возможен при температурах эпитаксии не выше 300°C в изотермических условиях из предварительно переохлажденных растворов, при этом время контакта раствора с подложкой не должно превышать $1\text{--}3\text{ с}$. Повышению однородности толщины и состава эпитаксиальных слоев по длине подложки способствует увеличение скорости потока жидкости в зазоре и использование "релаксационных" вариантов эпитаксии (с кратковременной остановкой потока после смены растворов в рабочем пространстве между подложками). Процессы эпитаксиального наращивания проводили в установке жидкофазной эпитаксии типа С-3348 в атмосфере высокочистого водорода с использованием графитового контейнера прокачного типа с толщиной растового канала 250 мкм . Подложки $\text{InSb}(111)\text{A}$ подвергали стандартной химической обработке. Непосредственно перед эпитаксиальным наращиванием для устранения

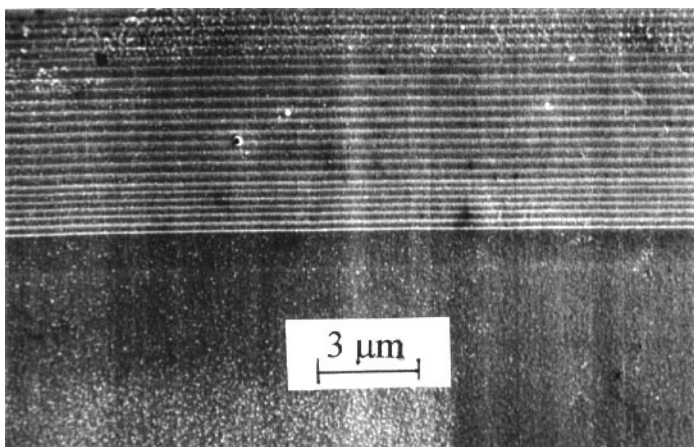


Рис. 1. Электронномикроскопическая фотография скола многослойной гетероструктуры $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y/\text{InSb}_{1-y}\text{Bi}_y$, выращенной на подложке (111)A InSb.

дефектов предэпитаксиальной обработки и удаления оксидной пленки с поверхности подложек производили их дополнительную обработку в реакторе установки жидкофазной эпитаксии. Она заключалась в подрастворении поверхностного слоя толщиной 5–7 мкм за счет контакта подложки с ненасыщенным раствором-расплавом In-Sb-Bi при 270–280°C. Последующее охлаждение в интервале 10–20°C со скоростью 0.4°C/мин обеспечивало наращивание буферного слоя $\text{InSb}_{1-y}\text{Bi}_y$ толщиной 3–5 мкм. Формирование гетероструктур осуществляли в релаксационном варианте жидкофазной эпитаксии при следующих режимах: температура эпитаксии 230–260°C, величина исходного переохлаждения растворов 5–20°C, продолжительность прокатки 1 с, продолжительность паузы 1.4 с.

Регулируя число циклов прокатки, получали гетероструктуры с количеством слоев от 8 до 60. Состав эпитаксиальных слоев $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y$ исследовали методом масс-спектрометрии вторичных ионов в режиме послонного ионного травления на установке IMS-3F. Использовался Cs^+ -источник первичных ионов: энергия первичного пучка 6.5 кэВ, интенсивность пучка 100 нА, зона отбора вторичных ионов 60 мкм. В качестве эталонных образцов использовали эпитаксиальные слои

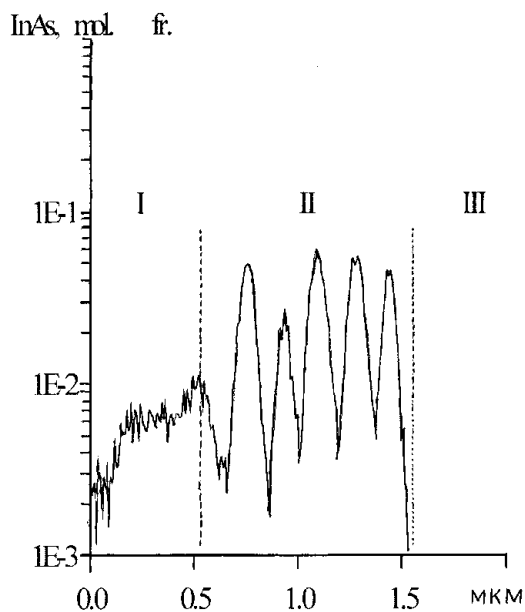


Рис. 2. Концентрационный профиль многослойной гетероструктуры $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y/\text{InSb}_{1-y}\text{Bi}_y$, полученный методом масс-спектрометрии вторичных ионов (*I* — покрывающий слой, *II* — основные слои, *III* — буферный слой).

известного состава ($x = 0.96-0.92$), определенного методом рентгено-спектрального микроанализа. Исследовали распределение концентраций основных компонентов — мышьяка, сурьмы и висмута — по толщине эпитаксиальных слоев. Поверхность и сколы гетероструктур изучали с помощью автоэмиссионного растрового электронного микроскопа "Hitachi-800" при энергиях падающего пучка электронов $E = 1-20$ кэВ.

Толщины эпитаксиальных слоев в зависимости от режимов эпитаксиального роста составляли от 0.05 до 0.15 мкм, при этом не наблюдалось их заметного разброса по площади гетероструктур (рис. 1). Профили распределения основных компонентов по толщине эпитаксиальных слоев, полученные методом масс-спектрометрии вторичных ионов, подтверждают наличие достаточно резких гетерограниц (рис. 2). Концентрация InAs в активных слоях составляла 6–7 мол.%.

Таким образом, результаты предварительных экспериментов показывают возможность формирования методом "капиллярной" жидкофазной эпитаксии многослойных гетероструктур на основе твердых растворов $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y$ с толщиной эпитаксиальных слоев на уровне сотых долей мкм. Это создает предпосылки сохранения в них упругих напряжений как средства воздействия на E_g . Оптимизация составов и толщин эпитаксиальных слоев открывает перспективы практического использования упругонапряженных гетероструктур $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{Bi}_y/\text{InSb}_{1-y}\text{Bi}_y$, получаемых методом жидкофазной эпитаксии, в инфракрасной технике.

Авторы благодарят Т.И. Громова и П.Б. Орлова за помощь в исследовании образцов гетероструктур.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Государственного комитета по высшему образованию (грант № Е 460-6, 1994 г.).

Список литературы

- [1] Акчурип Р.Х., Сахарова Т.В. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 10. С. 16–20.
- [2] Акчурип Р.Х., Жегалин В.А., Сахарова Т.В. // Неорган. материалы. 1995. Т. 31. № 11. С. 1431–1436.
- [3] Osbourn G.C. // J. Vac. Sci. Technol. B. 1984. V. 2. N 2. P. 176–178.
- [4] Kurtz S.R., Biefeld R.M., Dawson L.R. et al. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 20. P. 1961–1963.
- [5] Kurtz S.R., Dawson L.R., Zipperian Th.E. et al. // IEEE Electron Dev. Lett. 1990. V. 11. N 1. P. 54–56.
- [6] Fang Z.M., Ma K.Y., Cohen R.M., Stringfellow G.B. // J. Appl. Phys. 1990. V. 67. N 8. P. 1187–1190.
- [7] Акчурип Р.Х., Акимов О.В. // ФТП. 1995. Т. 229. В. 2. С. 362–369.
- [8] Акчурип Р.Х., Комаров Д.В. ЖТФ. 1997 (в печати).