

К. т. н. Е. В. АНДРОНОВА, к. т. н. В. В. КУРАК

Украина, Херсонский национальный технический университет
E-mail: vk_74@mail.ruДата поступления в редакцию
03.06 2008 г.Оппонент д. х. н. В. Н. ТОМАШИК
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

ПРЕДЭПИТАКСИАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОДЛОЖЕК GaSb ДЛЯ ЖИДКОФАЗНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ГОМОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ

Представлены результаты исследований по оптимизации режимов предэпитаксиальной обработки подложек GaSb химическим травлением в смеси на основе неорганических кислот.

Известно, что одной из ключевых стадий, оказывающих существенное влияние на совершенство эпитаксиальных слоев, является предэпитаксиальная обработка подложек. В случае использования для эпитаксиального наращивания слоев методов жидкофазной эпитаксии, помимо структурного и морфологического совершенства подложек, существенным также является обеспечение равномерной смачиваемости поверхности подложки раствором-расплавом.

Стандартная технология подготовки пластин GaSb к эпитаксиальному наращиванию слоев включает ряд этапов, таких как механические шлифовка и полировка, а также химико-механическая полировка. Однако относительно низкая твердость антимонида галлия (микротвердость по Моосу 448 кг/мм² [1, с. 434]) обуславливает большую глубину нарушенного слоя (60—80 мкм) после разрезания слитка на пластины, а также после механических обработок и химико-механической полировки пластин (≥ 5 мкм) [2, с. 107]. Кроме того, согласно [3, с. 58], при механической шлифовке и полировке в пластине возникают неконтролируемые механические напряжения, релаксация которых сопровождается перестройкой структурных дефектов и приводит к появлению нарушенного слоя, скрытого в объеме пластины на расстоянии 15—50 мкм от поверхности и негативно влияющего на параметры эпитаксиальных структур, в частности на время жизни неосновных носителей заряда.

Целью данной работы являлась разработка методики предэпитаксиальной обработки пластин GaSb, исключающей стадии механической шлифовки и полировки, но обеспечивающей требуемое для жидкофазной эпитаксии качество поверхности подложек.

Методика эксперимента

Для получения подложек без скрытого нарушенного слоя многостадийная предэпитаксиальная обработка пластин GaSb, включающая механическую шлифовку и полировку, была заменена одним видом обработки — химической полировкой в растворах, обладающих разной скоростью реакции: для предвари-

тельного сглаживания больших неровностей применялся травитель с повышенной скоростью, а для финишной полировки — травитель с меньшей скоростью травления. Такие растворы использовались ранее для обработки подложек арсенида галлия [3, с. 59], а также теллурида кадмия и твердых растворов на его основе [4].

Анализ литературных источников показал отсутствие информации о применении такой двухстадийной химической полировки для пластин антимонида галлия сразу же после операции разрезания слитка. Тем не менее, удалось установить, что для GaSb наиболее часто используются полирующие травители на основе неорганических кислот, в частности азотной и плавиковой [2, с. 121; 5, с. 72; 6, с. 380; 7, с. 150; 8], хотя детальное описание режимов предэпитаксиальной обработки подложек GaSb в литературе отсутствует. Поэтому возникла необходимость проведения исследований по выбору полирующих травителей и разработке оптимальных режимов химической полировки подложек GaSb.

Двухстадийной химической полировке подвергались пластины GaSb марки ГСЭ(Т)2-2 с ориентацией (111), а также ГСДГ(Ц)-1 с ориентацией (100). Использовались травители двух составов, отличающиеся скоростью травления: $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=4:1:15$ и $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=3:1:2$ [5, с. 72; 7, с. 150]. Полировка осуществлялась во вращающемся реакционном сосуде из фторопласта при частоте вращения ν до 30 об/мин в диапазоне температуры от 10 до 40°C. Частота вращения реакционного сосуда контролировалась с точностью $\pm 0,5$ об/мин.

Морфология поверхности подложек изучалась с помощью металлографического микроскопа ММУ-3 и интерференционного микроскопа МИИ-4. Измерение параметров шероховатости поверхности осуществлялось с помощью микроскопа МИИ-4, снабженного винтовым окулярным микрометром, по изгибу интерференционных полос в местах, где имеют место неровности.

Средняя скорость травления определялась по изменению толщины пластин в результате химической полировки и времени химической обработки.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Вне зависимости от кристаллографической ориентации поверхности при обработке пластин GaSb в полирующем травителе $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=4:1:15$ в иссле-

Оптимальные режимы предэпитаксиальной обработки пластин GaSb

Состав травителя	Технологическое использование	Механизм растворения	V , мкм/мин	T , °C	ν , об/мин	t , мин	Rz , мкм
$\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=3:1:2$	Предварительная обработка	Кинетический	43	15	20	2	0,08
$\text{H}_2\text{O}_2:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=4:1:15$	Финишная полировка	Диффузионный	9	15	20	5	0,05

дуемом диапазоне температуры получали шероховатую поверхность при $\nu=8-11$ об/мин. С увеличением частоты вращения до 20 об/мин поверхность пластин становилась зеркально гладкой (минимальное значение шероховатости Rz составляло 0,05 мкм), что объясняется интенсификацией процесса отвода продуктов реакции от поверхности подложки в объем травителя. В то же время, при полировке в травителе $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=3:1:2$ получали зеркальную поверхность пластин (минимальное значение $Rz=0,08$ мкм) в диапазоне частоты вращения от 18 до 21 об/мин.

Представленные результаты дают возможность утверждать, что оптимальная частота вращения реакционного сосуда при полировке пластин GaSb в указанных композициях составляет порядка 20 об/мин.

Исследование зависимости качества полировки поверхности подложек от температуры травителя показало, что минимальное значение шероховатости достигалось при температуре порядка 15°C: для травителя $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=3:1:2$ удалось достичь значения $Rz=0,08$ мкм, а для состава $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=4:1:15$ — $Rz=0,05$ мкм.

Температурные зависимости скорости травления V (рис. 1), а также использование уравнения Аррениуса, дали возможность определить энергию активации процессов полировки, которая для травителя $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ составила 79,4 кДж/моль, что отвечает кинетическому лимитированию процесса травления, а для раствора $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ — 28 кДж/моль, что характерно для диффузионного ограничения процессов полировки подложки [9, 10].

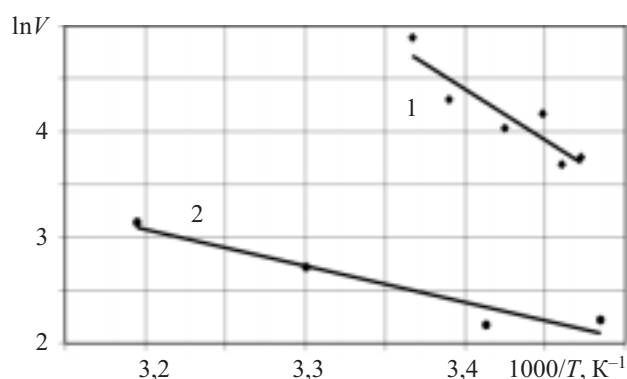


Рис. 1. Зависимость скорости полировки подложек GaSb от температуры травителя:

1 — $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=3:1:2$; 2 — $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=4:1:15$

Зависимости, представленные на рис. 1, позволяют сделать вывод о том, что травитель $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=4:1:15$, обладающий меньшей скоростью травления и обеспечивающий меньшее значение Rz по сравнению с составом $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$, должен использоваться для финишной полировки пластин, в

то время как травитель $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=3:1:2$ — для предварительного удаления нарушенного слоя.

Анализ полученных результатов дает возможность установить оптимальные режимы предэпитаксиальной обработки пластин GaSb, а именно: минимальное время травления t , достаточное для гарантированного удаления нарушенного слоя, температуру травителя T и частоту вращения реакционного сосуда ν , обеспечивающие минимальное значение шероховатости поверхности (см. таблицу).

На подложках GaSb, прошедших предэпитаксиальную обработку в указанных оптимальных режимах, выращены гомоэпитаксиальные слои антимида галлия методами принудительного охлаждения насыщенного раствора-расплава [11] и импульсного охлаждения насыщенного раствора-расплава [12]. Морфология поверхностей полученных эпитаксиальных слоев представлена на рис. 2.

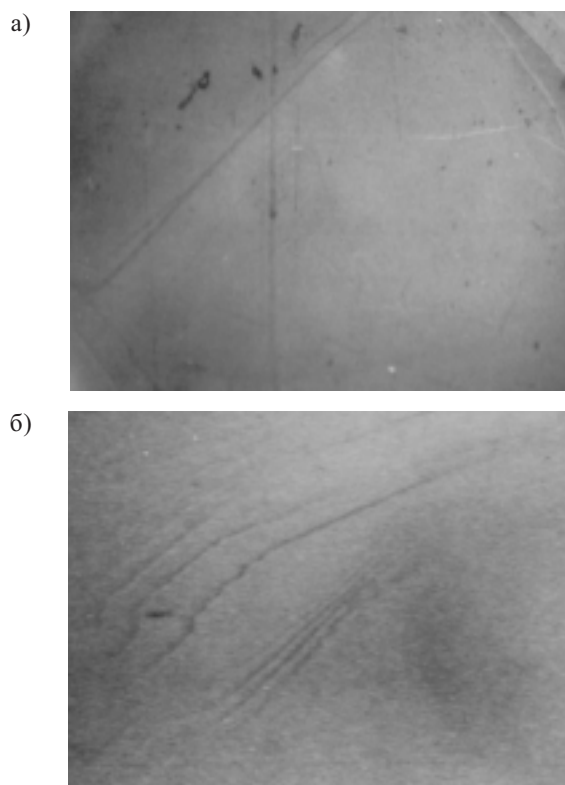


Рис. 2. Морфология поверхности гомоэпитаксиальных слоев антимида галлия толщиной 1 мкм (а) и 5 мкм (б), полученных жидкофазной эпитаксией на подложках GaSb с ориентацией (111)А

Эпитаксиальные слои были сплошными с планарной границей «слой—подложка», что свидетельствует об отсутствии на поверхности подложек стабильных окисных слоев, препятствующих смачиванию раство-

ром-расплавом. Высота микронеровностей поверхности эпитаксиальных слоев в лучших образцах не превышала 0,03 мкм, плотность дислокаций составляла около 10^3 см^{-2} , что соответствует плотности дислокаций в подложке ($2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}$).

Таким образом, предложенная методика предэпитаксиальной обработки подложек, позволяет удовлетворять требования, предъявляемые к подложкам GaSb при жидкофазной эпитаксии.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Баранский П. И., Клочков В. П., Потыкевич И. В. Полупроводниковая электроника. Справочник.— К.: Наукова думка, 1975.
2. Готра З. Ю. Технология микроэлектронных устройств: Справочник.— М.: Радио и связь, 1991.
3. Круковский С. И. Тонкие и субмикронные слои на основе GaAs, полученные из растворов в расплаве висмута / Дис. ... канд. техн. наук.— Херсон, ХИИ.— 1993.
4. Білевич Є. О. Формування полірованої поверхні монокристалів телуриду кадмію та твердих розчинів на його основі в травильних композиціях HNO_3 - NH_4I -комплексоутворювачів для приладів електронної техніки / Автореф. дис. ...канд. техн. наук.— Київ, Ін-т фізики напівпровідників.— 2002.
5. Луфт Б. Д., Перевошиков В. А., Возмилова Л. Н. и др. Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников.— М.: Радио и связь, 1982.
6. Сангвал К. Травление кристаллов. Теория, эксперимент, применение.— М.: Мир, 1990.
7. Кузнецов В. В., Лунин Л. С., Ратушный В. И. Гетероструктуры на основе четверных и пятерных твердых растворов соединений $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$.— Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003.
8. Dutta P. S., Bhat H. L., Kumar V. The physics and technology of gallium antimonide: An emerging optoelectronic material // J. Appl. Phys.— 1997.— Vol. 81, N 9.— P. 5821—5870.
9. Даниленко С. Г. Розробка травильних композицій та технологічних процесів формування полірованих поверхонь підкладок арсеніду та антимоніду індію для приладів ІЧ-техніки / Автореф. дис. ...канд. техн. наук.— Київ, Ін-т фізики напівпровідників.— 2000.
10. Кусяк Н. В. Взаємодія InAs, InSb та GaAs з бромвідляючими травильними композиціями / Автореф. дис. ...канд. хім. наук.— Львівський нац. ун-т ім. І. Франка.— 2003.
11. Курак В. В., Андропова Е. В. Выращивание тонких гомоэпитаксиальных слоев GaSb принудительным охлаждением раствора-расплава // Тр. 8-й Междунар. науч.-практич. конф. "СИЭТ-2007".— Одесса.— 2007.— С. 372.
12. Maronchuk I. Ye., Kurak V. V., Andronova E. V., Baganov Ye. A. Obtaining GaSb/InAs heterostructures by liquid phase epitaxy // Semiconductor Science and Technology.— 2004.— Vol. 19.— P. 747—751.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Волоконно-оптические датчики / Под ред. Э. Удда.— М.: Техносфера, 2008.— 520 с.

Книга, написанная всемирно признанными специалистами, представляет собой вводный курс в быстроразвивающуюся и охватывающую новые сферы приложений область волоконно-оптических датчиков. В каждом из трех разделов — Основные компоненты; Технология; Приложения — приводятся отдельные примеры основных достижений в этой области. Вместе они предоставляют инженерам, научным работникам, студентам старших курсов и аспирантам возможность составить цельное впечатление о волоконно-оптических датчиках.

Книга может использоваться в качестве пособия при чтении учебных курсов, а также на промышленных семинарах по волоконно-оптическим датчикам.



НОВЫЕ КНИГИ

Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника-2008 / Под ред. П. П. Мальцева.— М.: Техносфера, 2008.— 432 с.

Данная работа является продолжением серии книг издательства «Техносфера» по мировым достижениям в области нанотехнологий. Книга охватывает материалы, опубликованные в 2006—2008 гг. в журнале «Нано- и микросистемная техника», которые сгруппированы по разделам, охватывающим наноматериалы, наноэлектронику, нанодатчики и наноустройства, диагностику наноструктур и наноматериалов, нанобиотехнологию и применение нанотехнологий в медицине. В издании представлены примеры реализации и применения в области технологии формирования наноструктур методов исследования наноматериалов, метрологическое обеспечение и основы технологии наносистемной техники.

Книга представляет интерес для ученых, инженеров и преподавателей высшей школы, аспирантов и студентов, специализирующихся в области нанотехнологий, наноматериалов, наноэлектроники, микро- и наносистемной техники.

