

Терлецкая Л.Л., Копыт Н.Х., Калиниченко Л.Ф., Голубцов В.В.

*Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова,
ул. Дворянская, 2, г. Одесса, 65082, Украина*

Неоднородность приповерхностных слоев гетерогенных систем после термической обработки

Установлена существенная слоистая неоднородность в приповерхностных областях полупроводящего арсенида галлия после термического отжига при температурах, близких процессу жидкофазной эпитаксии. Показаны возможности оптимизации параметров подложек для получения на их основе малонапряженных эпитаксиальных структур с улучшенными функциональными свойствами.

Поверхности и границы раздела играют важнейшую роль в формировании как самой структуры гетерогенной системы, так и её неоднородностей в приповерхностных областях и в объеме. Это относится прежде всего к эпитаксиальным структурам, состоящим из композиции одного или нескольких гомо- или гетерослоев, к которым предъявляются достаточно жесткие требования по содержанию и распределению неоднородностей для их применения в сенсорной и микроэлектронике. Качество эпитаксиальных слоев на основе сложных соединений A^3B^5 существенно зависит от термической стабильности электрофизических параметров и структуры поверхности исходных подложек [1]. В связи с этим изучение физических процессов, происходящих в приповерхностном слое гетерогенной дисперсной системы в процессе нагрева, представляет не только научный, но и практический интерес.

В данной работе представлены результаты исследований подложек арсенида галлия, легированных Cr и Cr_2O_3 , толщиной 350 мкм двух типов с удельным сопротивлением $10^8 \div 10^9$ Ом·см и различной подвижностью носителей: $\mu_1 \approx 2 \cdot 10^3$ см²/(В·с) (I тип) и $\mu_2 \approx 4.2 \cdot 10^3$ см²/(В·с) (II тип). Термическая обработка образцов проводилась при температуре 800 °С в течение 60 мин в потоке водорода, т.е. в условиях, максимально приближенных к процессу жидкофазной эпитаксии. Установлено, что после такой обработки удельное сопротивление приповерхностного слоя существенно уменьшалось: для образцов I-го типа $\rho_1 \approx 0.3$ Ом·см; II-го типа – $\rho_2 \approx 7 \cdot 10^{-3}$ Ом·см.

Использование метода послойного травления позволило исследовать распределение электрофизических параметров по направлению от поверхности вглубь подложки. На поверхности подложек GaAs, отожженных без защитного покрытия, наблюдалась конверсия типа проводимости (дырочная проводимость). Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 1-2.

В пластинах GaAs: Cr_2O_3 наблюдалась тенденция уменьшения концентрации дырок в слое толщиной до 1 мкм, которая коррелирует со снижением концентрации неконтролируемой примеси кремния, встроившегося в междоузлия

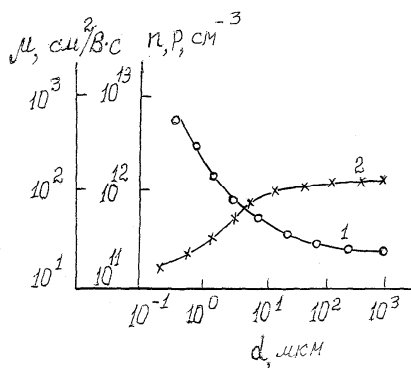


Рис. 1. Распределение концентрации носителей (1) и их подвижности (2) в образцах I-го типа.

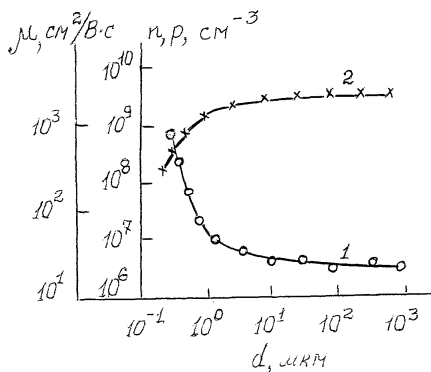


Рис. 2. Распределение концентрации носителей (1) и их подвижности (2) в образцах II-го типа.

гетерогенной системы в процессе термоотжига. В данном случае кремний является акцептором [2,3]. Однако установленная закономерность уменьшения подвижности дырок от поверхности в объем образцов свидетельствует о том, что преобладающими в рассеянии носителей в этой области приповерхностного слоя являются другие центры. Возможно, такими центрами являются термодфекты, концентрация которых уменьшается с толщины 0.3 – 0.4 мкм от поверхности и практически не обнаруживается после удаления слоев толщиной 1 – 1.1 мкм.

В пластинах GaAs: Сг до толщин 0.8 мкм от поверхности концентрация дырок и их подвижность не изменяются. В этом случае рассеяние носителей происходит, очевидно, на акцепторных центрах, что подтверждается численной корреляцией между указанными параметрами. Уменьшение концентрации и подвижности дырок в области толщин слоев 0.8 – 7 мкм позволяет сделать вывод о том, что рассеяние носителей в этих приповерхностных слоях происходит на термодфектах. Анализ экспериментальных результатов показал, что концентрация термодфектов в образцах этого типа была максимальной в приповерхностных слоях до толщин примерно 2 мкм.

Следует отметить, что арсенид галлия, используемый для изготовления подложек, содержит в большом количестве собственные точечные дефекты и микровключения второй фазы [4, 5]. К увеличению концентрации собственных дефектов в подложках приводит также частичное поверхностное разложение соединения A^3V^5 в процессе даже кратковременного пребывания подложек при высоких температурах в реакторе.

Естественно, что в реальных условиях существует опасность попадания диффундирующих из подложки дефектов и примесей в активную область приборной структуры. При этом внутренние механические напряжения, зависящие от кристаллографической ориентации подложек, оказывают ускоряющее влияние на процессы диффузии из подложки в её приповерхностный слой. Термические напряжения, обусловленные градиентами температуры на поверхности пластины при термоотжиге играют существенную роль в генерации дислока-

ций, выходящих на поверхность. Одной из основных трудностей является устранение термической деградации поверхности подложек. Экспериментально установлено, что снизить её влияние можно одним из способов проведения предварительного (предэпитаксиального) подрастворения подложек при оптимальных режимных параметрах.

Исследовано влияние различных видов обработки поверхности подложек GaAs (1 – после шлифовки, 2 – после химической полировки) на формирование напряжений, дислокаций в их приповерхностных слоях в процессе термоотжига. Установлено, что максимальные величины внутренних механических напряжений наблюдались в приповерхностных слоях подложек после химической полировки, а минимальные значения напряжений выявлены в слоях образцов после предварительной шлифовки их поверхности. Этот факт свидетельствует о возможной пластической деформации, происходящей в приповерхностном слое и на поверхности подложки в процессе термообработки.

Металлографические исследования с использованием селективного травления поверхности подложек не показали существенных отклонений от полученных до термоотжига результатов, т.е. величины плотности дислокаций, сформированных на различных подложках, существенно не отличались ($N_D \approx 4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$). Морфология поверхности, естественно, была лучшей на полированных подложках. При послойном травлении отожженных пластин GaAs максимальные напряжения уменьшались, а при достижении определенной толщины они становились примерно равными их исходному значению.

Полученные результаты позволяют предположить, что в исследованных образцах формирование остаточных напряжений в приповерхностных слоях связано с отклонением от стехиометрии. Причиной появления такой неоднородности является частичное поверхностное разложение по причине испарения мышьяка с нагретой поверхности, что приводит к образованию приповерхностного слоя, обогащенного галлием [6]. Кроме того, перераспределяются собственные точечные дефекты между областями с различной плотностью дислокаций, являющимися эффективными рекомбинационными стоками для таких неоднородностей. В этом случае происходит перераспределение, способствующее обогащению мышьяком областей пластины с более высокой плотностью дислокаций, т.е. ближе к её краям.

Таким образом, установлена существенная слоистая неоднородность в приповерхностных областях термообработанного подложечного GaAs. Если в подложках GaAs: Cr_2O_3 такая неоднородность наблюдалась в слоях до толщин $d = 3 \div 4$ мкм от поверхности, то при $d > 4$ мкм параметры подложек соответствовали исходным до отжига. Термический же отжиг образцов GaAs:Cr способствовал изменению их параметров не только в приповерхностном слое, но и по всему объему.

На основании анализа экспериментальных данных проведены соответствующие расчеты для определения оптимальной толщины приповерхностного слоя в разных видах подложек GaAs, который необходимо удалять для получения на их основе малонапряженных эпитаксиальных структур с улучшенными функциональными свойствами.

Литература:

1. Полуизолирующие соединения A^3B^5 / Под. ред. Дж. У. Риса. – М.: Металлургия, 1994. – 257 с.
2. Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. Структурные дефекты в монокристаллах полупроводников. – М.: Металлургия, 1984. – 256 с.
3. Мильвидский М.Г. Полупроводниковые материалы в современной электронике. – М.: Наука, 1986. – 143 с.
4. Бублик В.Т., Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. Природа и особенности поведения точечных дефектов в легированных монокристаллах соединений A^3B^5 // Изв. вузов. Физика. – 1980. – 23, №1. – С. 7-23.
5. Измайлов Н.В., Литвин А.А., Глушков Е.А. О механизмах образования микровключений компонента A^3 в полупроводниках A^3B^5 // Изв. АН СССР. Неорганические материалы, сер. Материалы. – 1985. – 21, № 12. – С. 2003–2010.
6. Василенко Н.Д., Терлецкая Л.Л. Анализ качества эпитаксиальных слоев соединений A^3B^5 для СВЧ-техники (обзор) // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. – 1991. – Вып. 21. – С.28-40.

Терлецка Л.Л., Копит М.Х., Калініченко Л.Ф., Голубцов В.В.

Неоднорідність приповерхневих шарів гетерогенних систем після термічного відпалу

АНОТАЦІЯ

Визначено суттєву шарувату неоднорідність у приповерхневих областях пластин напівізолюючого арсеніду галію після відпалу при температурах, близьких до процесу рідкофазової епітаксії. Показано можливість оптимізації параметрів підкладінок для отримання на їх основі малонапружених епітаксійних структур з покращеними функціональними властивостями.

Terletska L.L., Kopyt N.Kh., Kalinichenko L.F., Golubtsov V.B.

Inhomogeneity in near-surface layers of heterogeneous systems after thermal processing

SUMMARY

Considerable layered inhomogeneity in the near-surface region of semi-insulating GaAs substrates after thermal processing at the temperature LPE is established. The possibility of substrates parameters optimization is shown to obtain nonstrained epitaxial structures with improved functional properties.