

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ВБЛИЗИ
ПОВЕРХНОСТИ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ Ar^+ -ИОНАМИН.А. Б е р т, С.Г. К о н н и к о в, А.В. К о р о л ь к о в,
К.Ю. П о г р е б и ц к и й

Ионно-лучевая обработка используется в качестве способа формирования рельефа и чистки поверхности при изготовлении интегральных схем и дискретных элементов микро-, оптоэлектроники и интегральной оптики. Процессы взаимодействия ионного пучка с твердым телом лежат в основе такого метода определения концентрационного профиля, как вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС). Распыление ионным пучком применяется в методе оже-электронной спектроскопии (ОЭС) для исследования профиля концентрации по глубине и в просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) для подготовки образцов.

Одной из проблем, связанных с использованием ионно-лучевой обработки, является образование дефектного поверхностного слоя вследствие разрушения монокристалла ускоренными ионами, а также вследствие изменения состава поверхности многокомпонентной мишени из-за эффекта преимущественного распыления [1]. На основании имеющихся к настоящему времени экспериментальных данных установлено, что при бомбардировке ионами Ar^+ с энергией $E \sim 1$ кэВ толщина дефектного слоя определяется глубиной разупорядочения монокристалла и для арсенида галлия составляет около 10 нм [2]; эффект же изменения состава в арсениде галлия затрагивает лишь поверхностную область глубиной 1-2 нм [3, 4].

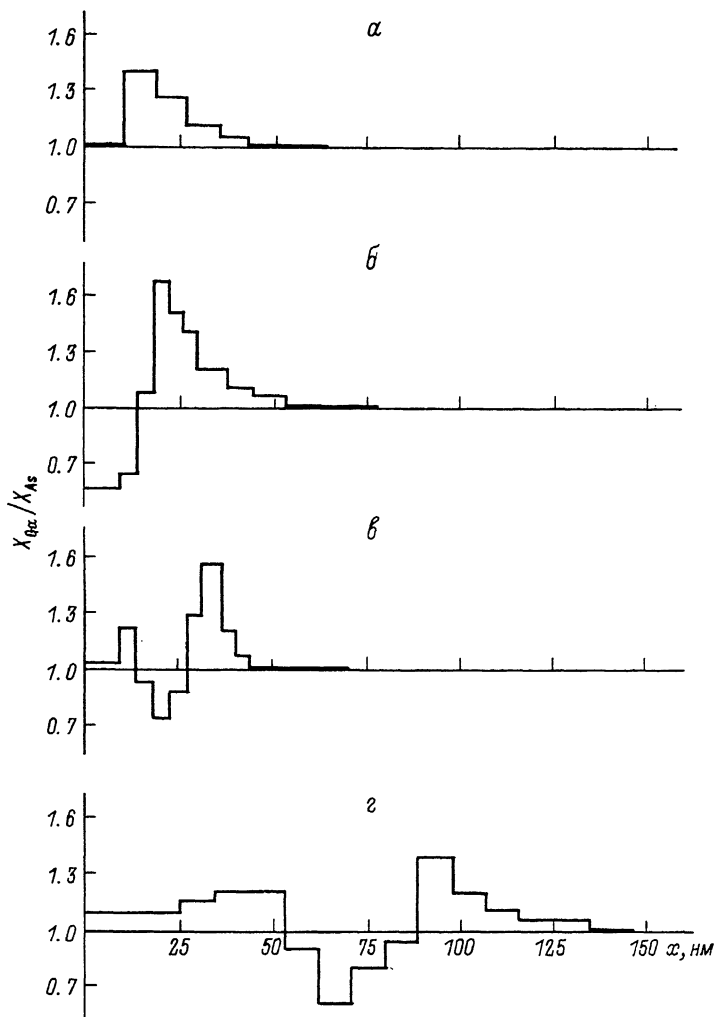
В наших экспериментах обнаружено, что изменения состава могут распространяться на глубину более 0.1 мкм, что существенно увеличивает возможность ухудшения рабочих параметров изготавливаемых с помощью ионно-лучевой обработки приборов и интеграль-

ных схем, а также может являться источником погрешностей и артефактов в методах ВИМС, ОЭС и ПЭМ.

Образцы арсенида галлия с ориентацией (001) подвергались бомбардировке ионами Ar^+ с энергией 5 кэВ при плотности тока 100 мкА/см^2 без принудительного охлаждения. Использовался арсенид галлия марок АГЧТ ($n = 9 \cdot 10^{17} - 3.5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) и АГЧО ($n = 2 \cdot 10^{17} - 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$). Предварительные эксперименты, показали, что полученные результаты не зависят от типа и концентрации легирующей примеси. Для исследования химического состава приповерхностной области использовался метод ОРФЭС [5, 6], основанный на измерении величины изменения фотоэмиссии электронов на скачках рентгеновского поглощения. Определялось отношение сигнала на К-скачке рентгеновского поглощения Ga к сигналу на К-скачке поглощения As , и строилась зависимость этого отношения от угла падения рентгеновского излучения на поверхность образца до воздействия ионным пучком. Полученная зависимость принималась за эталонную. Далее образец подвергался ионной бомбардировке, после чего эксперимент повторялся в тех же условиях. Распределение отношения концентраций X_{Ga}/X_{As} по глубине образца определялось путем сравнения полученной угловой зависимости с эталонной. Точность восстановления концентрационного профиля составляла 5-10% отн. по концентрации и 2-3 нм по координате за исключением прилегающих к поверхности 9 нм, по которым приводится среднее значение отношения X_{Ga}/X_{As} , что связано с особенностями используемого метода.

На рисунке представлены концентрационные профили X_{Ga}/X_{As} образцов $GaAs$, подвергнутых бомбардировке ионами Ar^+ при нормальном падении на поверхность с плотностью ионного тока 100 мкА/см^2 в течение различного времени (1-15 час), т. е. получивших флуэнс от $2 \cdot 10^{18}$ до $3.5 \cdot 10^{19}$ ион/см². Можно видеть, что результатом ионной бомбардировки арсенида галлия в указанных условиях является возникновение и постепенное распространение вглубь от поверхности характерной области, имеющей нестехиометрическое соотношение между галлием и мышьяком. Отношение X_{Ga}/X_{As} может достигать 1.6 в максимуме и 0.6 в минимуме, что соответствует составам $Ga_{0.62}As_{0.38}$ в области, обогащенной галлием, и $Ga_{0.38}As_{0.62}$ в области, обогащенной мышьяком. При $\Phi = 3.5 \cdot 10^{19}$ ион/см² толщина слоя с нарушенной стехиометрией достигает 0.135 мкм, значительно превышая не только значения, полученные с помощью ОЭС в [3, 4], но и толщину аморфизованного слоя [2]. Дополнительные исследования зависимости скорости распыления от плотности ионного тока и от угла падения ионов на поверхность образца показали, что во взаимодействии ионов Ar^+ с атомами мишени ни отклонений от режима линейных каскадов, ни эффектов каналирования не наблюдается.

Предположительный механизм обнаруженного явления может заключаться в последовательном преимущественном распылении различных компонентов мишени в процессе достижения стационарных условий процесса. На такую возможность указывает то обстоятель-



Профили распределения отношения концентраций X_{Ga}/X_{As} по координате x в образцах $GaAs$, подвергнутых бомбардировке 5-кэВ Ar^+ -ионами с плотностью тока 100 мкА/см^2 при флуенсе: а - $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$, б - $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$, в - $8.5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$, г - $3.5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$.

ство, что при бомбардировке арсенида галлия ионами Ar^+ обнаруживается обогащение поверхности образца не только галлием [3, 4], но и мышьяком [7]. Так как арсенид галлия обладает весьма узкой областью стехиометрии, следует предположить, что избыточный компонент образует включения второй фазы, размеры кото-

рых, исходя из толщины соответствующих слоев (см. рисунок), могут быть оценены величиной ≤ 10 нм. В дальнейшем эти включения в условиях существования приповерхностного деформационного поля и радиационно-ускоренной диффузии продвигаются вглубь от бомбардируемой поверхности.

Таким образом, в процессе длительного ($\Phi \geq 10^{18}$ ион/см²) распыления GaAs (001) ионами Ar⁺ с энергией 5 кэВ в приповерхностном слое обнаруживаются изменения химического состава, которые заключаются в образовании соседствующих друг с другом областей с отношением $X_{Ga}/X_{As} > 1$ и $X_{Ga}/X_{As} < 1$ и в дальнейшем продвижении их вглубь образца. При $\Phi = 3.5 \cdot 10^{19}$ ион/см² область измененного состава простирается на более чем 0.1 мкм от поверхности. Столь глубокое проникновение нарушений может иметь важные последствия при использовании ионно-лучевой обработки в различных технологических и диагностических методах.

В заключение авторы выражают благодарность В.П. Улину за полезные обсуждения и В.М. Амусье за техническую помощь.

Л и т е р а т у р а

- [1] L i a n Z.L., M a y e r J.W., P o a t e J.M. - J. Appl. Phys., 1978, v. 49, N 10, p. 5295-5305.
- [2] W i l l i a m s R. - Stanley. Solid State Commun., 1982, v. 41, N 2, p. 153-158.
- [3] V a n O o s t r o m A. - J. Vac. Sci. Technol., 1976, v. 13, N 1, p. 224-227.
- [4] S i n g e r I.L., M u r d e y J.S., C o o p e r L.R. - J. Vac. Sci. Technol., 1978, v. 15, N 2, p. 725.
- [5] А м у с ь я В.М., К о н н и к о в С.Г., П о г р е б и ц к и й К.Ю., Ф а л е е в Н.Н., Ф л а к с Л.И., Х у ц а и д з е К.А. В сб.: Полупроводники и гетеропереходы, с. 5. Таллин. Валгус, 1987.
- [6] Б а к а л е й н и к о в Л.А., К о н н и к о в С.Г., П о г р е б и ц к и й К.Ю., Ф а л е е в Н.Н. В кн.: Тез. докл. Всесоюзн. конф. по физическим методам исследования поверхности и диагностики материалов и элементов вычислительной техники, с. 26. Кишинев, 1986.
- [7] M c G u i r e G.E. - Surf. Sci., 1978, v. 76, N 1, p. 130-147.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
11 февраля 1988 г.