

06;12;10

Особенности проявления эффекта дальнего действия в арсенидгаллиевых транзисторных структурах при комбинированном облучении ионами различных масс

© С.В. Оболенский, В.Д. Скупов

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
E-mail: obolensk@rf.unn.runnet.ru

Поступило в Редакцию 15 июля 2002 г.

Обнаружены аномальные различия в измерениях профилей распределения концентрации носителей заряда по глубине активных областей арсенидгаллиевых (GaAs) структур после облучения со стороны подложки ионами молекулярного водорода и аргона отдельно и в комбинированной последовательности. Наибольший эффект от облучения наблюдался на структурах с повышенным содержанием дефектов в буферном слое. Экспериментальные результаты объясняются перестройкой примесно-дефектных комплексов вблизи интерфейсов под действием упругих волн, возникающих не только при релаксации пиков смещений в зоне торможения ионов, но и вследствие обратного пьезоэффекта.

Ранее в [1,2] было показано, что облучение эпитаксиальных GaAs структур со стороны подложки ионами средних энергий (т.е. в условиях проявления эффекта дальнего действия) улучшает параметры изготавливаемых на них полевых транзисторов с барьером Шоттки. Вместе с тем оставалось не ясным, как влияет на результаты облучения исходная степень дефектности структур, а также тип ионов. Кроме того, в свете данных [3] представляло интерес комбинированное облучение ионами различных масс, при котором возможно усиление геттерирующей способности имплантации. Исследование этих аспектов эффекта дальнего действия и составляло цель настоящей работы.

Были отобраны три типа n^+nn^- -GaAs-структур: качественная с небольшим сроком хранения (структура 1), качественная с 10-летним сроком хранения в нормальных условиях (структура 2) и структура с дефектами на границе раздела эпитаксиальный слой — подложка

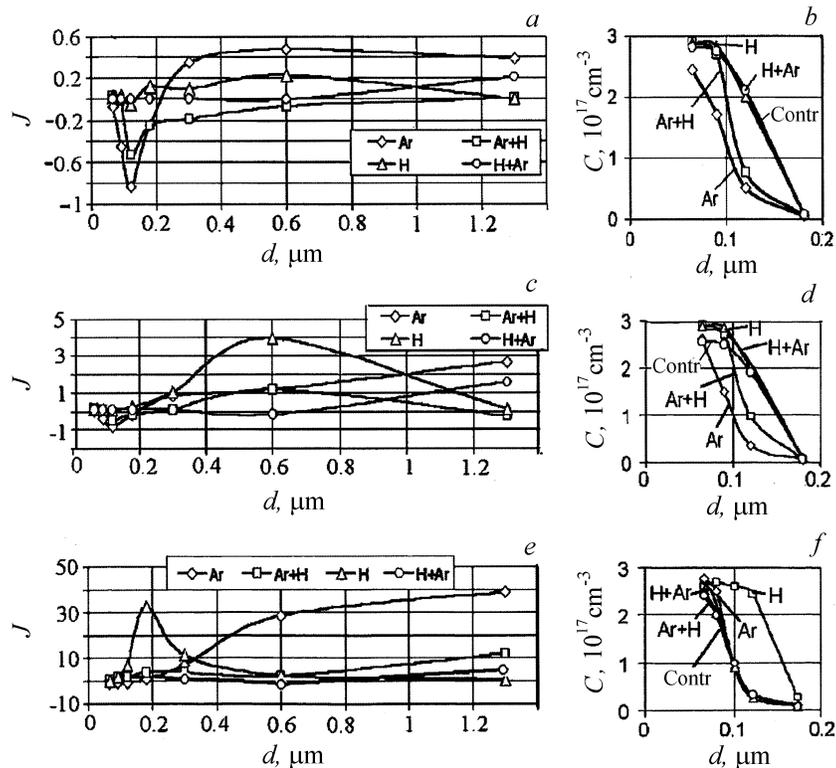
(структура 3). На структурах изготавливались полевые транзисторы с затвором Шоттки (длина затвора $0.5\ \mu\text{m}$), конструкция и технология формирования которых описаны в [1]. Суммарная толщина образцов составляла $200\ \mu\text{m}$.

Структуры с транзисторами облучались со стороны подложки ионами H_2^+ и Ag^+ с энергией $90\ \text{eV}$, дозой $10^{14}\ \text{cm}^{-2}$. Использовалось как раздельное облучение ионами одного типа, так и последовательное в комбинациях $\text{H}_2^+ + \text{Ag}^+$ и $\text{H}_2^+ + \text{Ag}^+$. В каждом случае облучение проводилось по выделенному сектору поверхности пластины, т.е. из каждой структуры было изготовлено по пять образцов, включая контрольные. До и после облучения по стандартным методикам снимались вольт-амперные, вольт-фарадные и высокочастотные характеристики транзисторов, а также с помощью токовой спектроскопии фиксировались параметры технологических дефектов в эпитаксиальном слое.

На рисунке представлены значения относительного изменения концентрации носителей заряда $\delta n = (n - n_0)/n_0$ (n_0 , n — концентрация носителей до и после облучения) от глубины. Наибольшие изменения после облучения претерпели профили распределения носителей заряда по глубине активной области в структуре 3, а наименьшие — в структуре 1. Экстремумы на профилях объясняются влиянием границы активный слой (n -GaAs) — буфер (n^- -GaAs) на глубине $0.1\text{--}0.2\ \mu\text{m}$ и эпитаксиальный слой — подложка на глубине $0.6\ \mu\text{m}$.

Характерно, что облучение водородом сопровождается локальным возрастанием концентрации носителей заряда вблизи границы раздела активный слой-буфер. Напротив, облучение аргоном и последовательное воздействие $\text{Ag}^+ + \text{H}_2^+$ снижают концентрацию носителей в этой части структуры. Интересно, что во всех случаях после облучения Ag^+ и $\text{H}_2^+ + \text{Ag}^+$ наблюдается увеличение концентрации носителей с глубиной. Различным оказалось и влияние использовавшихся видов облучения на концентрацию дефектов в эпитаксиальном слое. В таблице приведены относительные концентрации центров с энергиями уровней $\approx 0.4\ \text{eV}$ (предположительно E3) и $\approx 0.8\ \text{eV}$ (предположительно EL2), зафиксированные методом I-DLTS в структуре 3.

Как видно из таблицы, действие аргона и водорода на концентрацию дефектных центров, дающих мелкие ловушки E3, противоположно, что в совокупности с данными по изменению профилей концентрации носителей заряда позволяет предположить различную природу эффекта дальнего действия при облучении этими ионами эпитаксиальных GaAs-структур.



Относительные (*a, c, e*) и абсолютные (*b, d, f*) изменения концентрации электронов по глубине структуры после геттерирования ионами различных масс. *a, b* — структура 1; *c, d* — структура 2; *e, f* — структура 3.

На сегодня дальное действие объясняется перестройкой компонентов примесно-дефектного состава материалов под действием неравновесных точечных дефектов и упругих волн, возникающих в зоне торможения ионов. Оценки амплитуд давления упругих волн, достигающих активных областей исследовавшихся структур, сделанные на основании результатов работы [4], дали для ионов водорода и аргона соответственно значения $2 \cdot 10^3$ и $1 \cdot 10^5$ Па, т. е. эффективными могут быть лишь объемные волны, генерируемые в пиках смещений, создаваемых аргоном. Действие

Изменение концентрации дефектов в структуре 3 после геттерирования (I-DLTS)

Энергия уровня, eV	Концентрация дефектов				
	до геттерирования, а.у.	после обработки Ar ⁺ , а.у.	после обработки H ₂ ⁺ , а.у.	после обработки H ₂ ⁺ +Ar ⁺ , а.у.	после обработки Ar ⁺ +H ₂ ⁺ , а.у.
≈ 0.4	1	0.7 ± 0.25	1.86 ± 0.5	0.3 ± 0.12	0.95 ± 0.3
≈ 0.8	1	В пределах погрешности не изменилась			

водорода, по нашему мнению, связано с возбуждением упругих волн вблизи поверхности структуры с транзисторами вследствие обратного пьезоэффекта, возникающего из-за образования ионизационных пиков вдоль треков торможения ионов водорода. В первом приближении амплитуду таких волн можно оценить из соотношения:

$$P = \frac{EQ}{fRh},$$

где E — модуль упругости материала; Q — заряд, возникающий вдоль трека частицы; f — пьезоэлектрическая константа (примем $f_{\text{GaAs}} = 0.154 \text{ С} \cdot \text{м}^{-2}$); h — толщина структуры или длина Дебая (меньшее значение); R — пробег ионов.

По различным данным для подложки марки АГЧП-10 концентрация носителей имеет величину менее $10^{13} - 10^{14} \text{ см}^{-3}$. После подстановки численных значений в формулу имеем $P \sim 10^7 \text{ Па}$ для $h = 200 \mu\text{м}$ и $P \sim 10^8 \text{ Па}$ для $h = 20 \mu\text{м}$. В первом случае будет возбуждаться поверхностная волна (на стороне структуры с транзисторами), а во втором случае — объемная волна (которая также достигает поверхности структуры с транзисторами).

Волны с такой амплитудой способны интенсифицировать перестройку примесно-дефектных комплексов, особенно вблизи поверхности — мощного источника и стока точечных дефектов [4]. Как отмечалось в [5,6], возможно усиление упругих волн при их прохождении через кристалл с технологическими или иными дефектами, поэтому в GaAs, имеющем существенно большую концентрацию дефектов, чем, напри-

мер, в кремнии, это вызовет дополнительное увеличение эффекта. В ходе дальнейших исследований планируется конкретизировать процессы, с которыми связано различие в реакции GaAs-структур на облучение ионами различных масс.

Авторы выражают благодарность А.Г. Фефелову за помощь в проведении эксперимента.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта SFP-973797.

Список литературы

- [1] Оболенский С.В., Скупов В.Д., Фефелов А.Г. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 16. С. 50–53.
- [2] Оболенский С.В., Скупов В.Д. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 15. С. 1–5.
- [3] Демидов Е.С., Карзанов В.В., Марков К.А. и др. // ЖЭТФ. 2001. Т. 120. В. 3 (9). С. 637–648.
- [4] Павлов П.В., Семин Ю.А., Скупов В.Д. и др. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 5. С. 503–509.
- [5] Павлов П.В., Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И. // ПЖТФ. 1988. Т. 14. В. 3. С. 273–276.
- [6] Павлов П.В., Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И. // ПЖТФ. 1989. Т. 15. В. 22. С. 44–46.