

06;12

## **Влияние ионно-лучевого геттерирования на параметры GaAs-транзисторных структур при нейтронном облучении**

© С.В. Оболенский, В.Д. Скупов

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Поступило в Редакцию 28 февраля 2000 г.

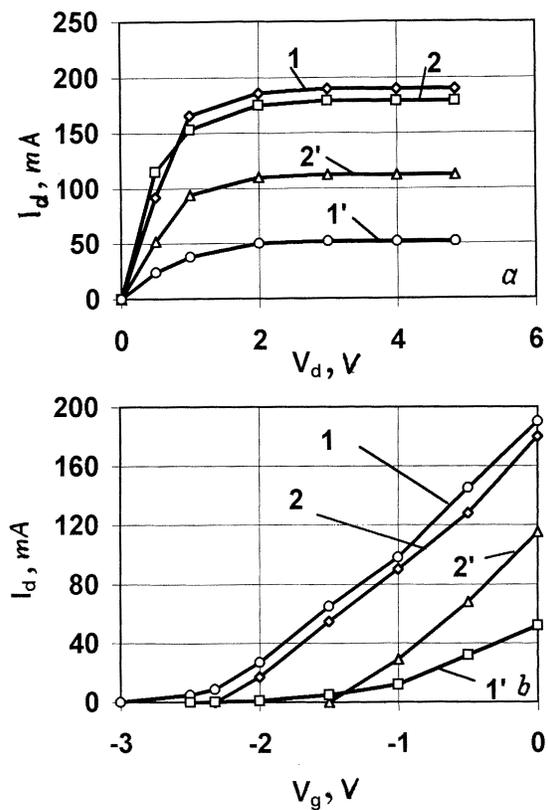
Обнаружено, что негативное влияние нейтронного облучения на параметры полевых транзисторов с затвором Шоттки на основе эпитаксиального арсенида галлия существенно ослабляется, если предварительно в структуры со стороны подложки имплантировались ионы аргона. Эффект объясняется дальнедействующим геттерированием при ионном облучении примесей и дефектов в активных областях транзисторов, с которыми связано возникновение глубоких уровней под действием нейтронов.

Как известно [1], теоретически электрофизические и функциональные характеристики дискретных приборов и интегральных схем на основе GaAs должны обладать большей стойкостью к воздействию высокоэнергетических корпускулярных и фотонных излучений по сравнению со своими кремниевыми аналогами. Этому есть и экспериментальные подтверждения, однако зачастую вследствие более высокой дефектности монокристаллов и эпитаксиальных слоев арсенида галлия это преимущество практически исчезает. Вместе с тем в [2] показано, что облучение ионами средних энергий при комнатной температуре со стороны подложки эпитаксиальных GaAs-структур (т.е. в условиях проявления эффекта дальнего действия) улучшает параметры изготавливаемых на них полевых транзисторов с затвором Шоттки. Характер наблюдавшихся

изменений параметров позволил предположить, что в результате ионного облучения снижается концентрация кристаллографических дефектов, негативно влияющих на подвижность и концентрацию носителей заряда в приборных слоях транзисторных композиций. Правомерно допустить, что последствия такой обработки могут проявить себя и в изменении радиационной стойкости приборов. Поэтому цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния предварительного дальнодействующего ионно-лучевого геттерирования на электрические характеристики GaAs-транзисторных структур после нейтронного облучения.

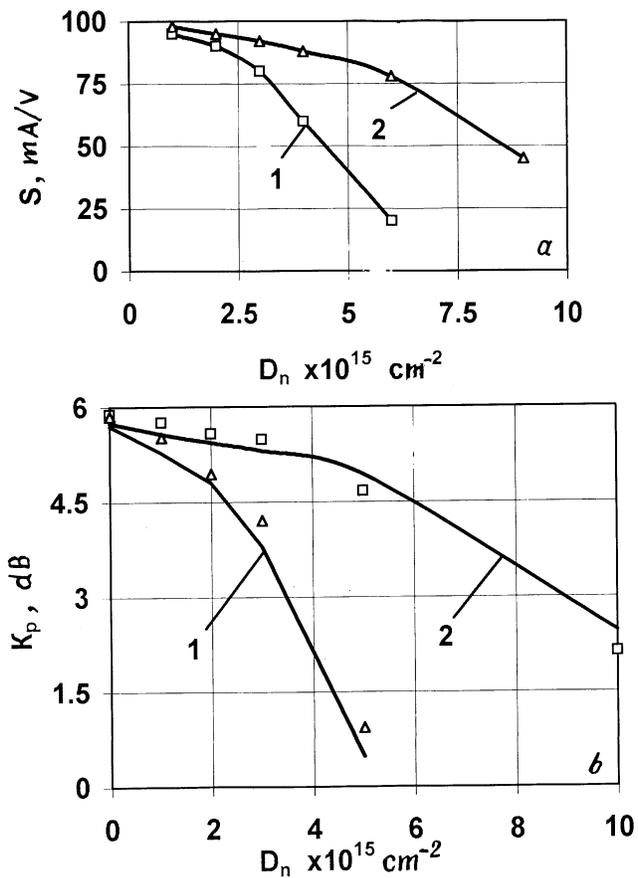
Исследования выполнялись на  $n^+pn^-$ -транзисторах с длиной затвора  $0.5 \mu\text{m}$ , конструкция и технология изготовления которых описаны в [2]. Предварительно после утонения до толщины  $100 \mu\text{m}$  и до разделения на отдельные приборы пластины с транзисторами со стороны подложки облучались ионами аргона с энергией  $90 \text{keV}$  дозой  $5 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-2}$  при плотности ионного тока не выше  $0.5 \mu\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$ . При этом облучалась половина поверхности пластин, а вторая экранировалась титановой маской. Готовые транзисторы без корпусов подвергались воздействию импульсного нейтронного излучения со средней энергией  $1 \text{MeV}$ , длительностью импульса менее  $1 \text{ms}$  и максимальным флюенсом за импульс до  $10^{15} \text{cm}^{-2}$ . Изменения параметров транзисторов после нейтронного облучения фиксировались по вольт-амперным характеристикам, снимавшимся на характериографе Л2-56. Кроме того, проводился теоретический расчет этих параметров на основании модели [3] с использованием численных значений характеристик электронного газа в активных слоях транзисторов, полученных в [2].

Измерения показали качественное совпадение характера деградации вольт-амперных зависимостей для нейтронно-облученных транзисторов, сформированных на контрольных (без имплантации аргона) и предварительно геттерированных структурах (рис. 1). Однако для последних скорость деградации при одном и том же флюенсе нейтронов почти в два раза ниже, чем для контрольных образцов (рис. 1, *a*). Как видно из рис. 1, *b*, облучение нейтронами приводит к возрастанию сопротивления канала для обеих групп транзисторов, но предварительное геттерирование заметно ослабляет этот эффект. Более того, в таких приборах не возникает остаточной проводимости в цепи исток-сток при больших отрицательных напряжениях на затворе (рис. 1, *b*), которая определяется сопротивлением буферного слоя и подложки вблизи их границы эпитаксиального сопряжения [4]. Отсутствие остаточной проводимости



**Рис. 1.** Зависимость тока стока ( $I_d$ ) от напряжения на стоке ( $V_d$ ) при потенциале затвора  $V_g = 0$  V (a) и от напряжения на затворе при  $V_d = 5$  V (b) для транзисторов до (1, 2) и после (1', 2') облучения импульсным флюенсом нейтронов  $D_n = 1 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>: 1, 1' — контрольные образцы; 2, 2' — предварительно геттерированные; сплошные линии — теоретический расчет.

подтверждает установленный в [2] факт увеличения градиента концентрации профиля распределения доноров на границе раздела  $nn^-$ -слоев после ионного облучения структур со стороны подложки, в результате чего зависимость тока стока от напряжения на затворе становится линейной в области напряжений отсечки. Эта линейность сохраняется и



**Рис. 2.** Зависимости от флюенса нейтронов крутизны ( $S$ ) вольт-амперных характеристик ( $a$ ) и коэффициента усиления по мощности ( $K_p$ ) ( $b$ ) транзисторов, изготовленных на контрольных (1) и предварительно геттерированных (2) структурах.

после нейтронного облучения геттерированных транзисторов, хотя для них, как и для контрольных образцов, напряжение отсечки несколько снижается. Предварительное геттерирование существенно уменьшает

скорости деградации в зависимости от флюенса нейтронов крутизны вольт-амперной характеристик и коэффициента усиления по мощности транзисторов (рис. 2). Обращает на себя внимание хорошее совпадение экспериментальных и рассчитанных по данным [2] характеристик транзисторов по модели [3] до и после нейтронного облучения. Это, с одной стороны, подтверждает правильность модельных представлений [3], а с другой — доказывает эффективность повышения радиационной стойкости GaAs-транзисторов путем ионно-лучевого геттерирования структур.

Полученные результаты, по нашему мнению, свидетельствуют о том, что предварительное облучение ионами ускоряет релаксационную перестройку компонентов примесно-дефектного состава каждого из образующих транзисторную структуру слоев и приграничных областей между ними. Одним из следствий этого является снижение концентрации ответственных за возникновение глубоких уровней при воздействии нейтронов фоновых примесей и антиструктурных дефектов [5], геттерируемых протяженными нарушениями дислокационного типа и свободной поверхностью. Процесс перестройки инициируется и поддерживается упругими волнами, генерируемыми в зоне торможения ионов и на внутренних границах раздела облучаемой с нерабочей стороны многослойной композиции [2,6]. В ходе дальнейших исследований с привлечением спектроскопии глубоких уровней планируется конкретизировать процессы, обуславливающие увеличение стойкости к нейтронному облучению полевых транзисторов на GaAs, подвергнутых предварительно бомбардировке ионами.

## Список литературы

- [1] Зулиг П. // Арсенид галлия в микроэлектронике. М.: Мир, 1988. С. 500–547.
- [2] Оболенский С.В., Скупов В.Д., Фефелов А.Г. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 16. С. 50–53.
- [3] Demarina N.V., Obolensky S.V. // Microelectronics Reliability. 1999. Т. 39. С. 1247–1263.
- [4] Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. М.: Мир, 1991. 632 с.
- [5] Новиков В.А., Пешев В.В. // ФТП. 1998. Т. 32. В. 4. С. 411–416.
- [6] Павлов П.В., Семин Ю.А., Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 5. С. 503–509.