

06;12

Проявление эффекта дальнего действия в ионно-облученных транзисторных структурах на основе GaAs

© С.В. Оболенский, В.Д. Скупов, А.Г. Фефелов

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Поступило в Редакцию 11 марта 1999 г.

Обнаружено изменение концентрации и подвижности носителей заряда в активных слоях полевых транзисторов с затвором Шоттки при облучении структур с нерабочей стороны GaAs-подложки ионами аргона.

Неослабевающий интерес к различным аспектам проявления "эффекта дальнего действия" при ионном облучении твердых тел обусловлен не только решением пока во многом дискуссионных вопросов о механизмах этого явления, но и поисками и реализацией конкретных путей его практического использования для модификации структурно-чувствительных свойств материалов или элементов функционально законченных изделий как непосредственно в имплантированных областях, так и на расстояниях от них, существенно превышающих пробеги внедряемых ионов. Оба эти направления в изучении эффекта важны для микроэлектроники, где ионная имплантация стала неотъемлемой частью технологии создания современных приборов, однако влияние на их характеристики дальнего действия остается до сих пор не ясным. Цель настоящей работы состояла в исследовании влияния ионного облучения со стороны подложки на параметры активных слоев полевых транзисторов с барьером Шоттки, изготовленных на эпитаксиальном арсениде галлия.

Транзисторы с длиной затвора $0.5 \mu\text{m}$ формировались на полученных хлоридным методом структурах, состоящих из полуизолирующей подложки АГЧПХ-8 (001) диаметром 60 mm и толщиной $400 \mu\text{m}$, легированного буферного слоя — $1 \mu\text{m}$, легированного Si активного слоя — $0.1 \mu\text{m}$ с концентрацией электронов $3 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$ и контактного слоя n^+ -GaAs — $0.15 \mu\text{m}$ с концентрацией носителей 10^{19}cm^{-3} . Затвор и омические контакты представляли собой вакуумно-осажденные слои:

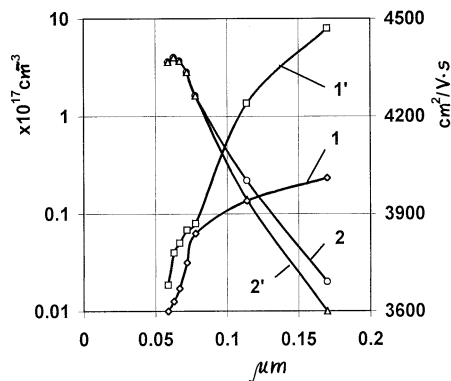


Рис. 1. Профили распределения по глубине подвижности (I, I') и концентрации ($2, 2'$) электронов до ($I, 2$) и после ($I', 2'$) облучения ионами Ar с дозой $\Phi = 10^{16} \text{ cm}^{-2}$.

соответственно Au с подслоем Ti и эвтектики Au-Ge [1]. Расстояние между ближайшими контактными площадками двух соседних транзисторов составляло $300 \mu\text{m}$. Изоляция областей структуры между транзисторами осуществлялась имплантацией протонов, энергия которых изменялась в последовательности 90, 60, 30 eV, а доза при всех энергиях оставалась равной $3.8 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$. После изготовления транзисторов структуры со стороны подложки химико-динамически сполировывались до толщины $100 \mu\text{m}$. Далее половина поверхности пластин со стороны подложки экранировалась металлической маской, а другая облучалась ионами аргона с энергией 90 eV различными дозами и плотностями тока. Температура структур во время облучения не превышала $310 \pm 5 \text{ K}$. Изменения параметров транзисторов после облучения фиксировались по вольт-амперным и вольт-фарадным характеристикам в нормальных условиях и с дополнительной подсветкой видимым светом (лампа накаливания, $W = 25 \text{ W}$), а также при управлении потенциалом затвора измеряемого транзистора с контактных площадок соседнего.

Дальнедействующее влияние облучения на параметры становится заметным при плотностях тока ионов аргона более $0.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ и дозах $\Phi > 5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$. Это проявляется в увеличении подвижности электронов и формировании более резкого профиля распределения их концентрации по толщине активного слоя вблизи границы раздела с

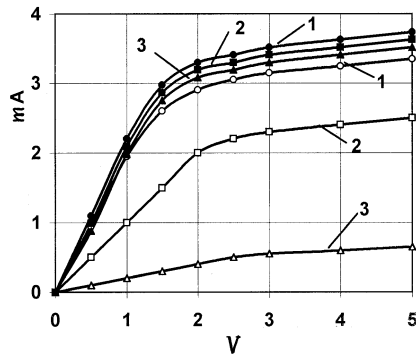


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики транзисторов при освещении и управлении со стороннего электрода ($I - V_c = 0\text{ V}$, $2 - V_c = -0.4\text{ V}$, $3 - V_c = -0.8\text{ V}$) до (черные значки) и после (светлые значки) облучения ионами Ag дозой $\Phi = 10^{16}\text{ cm}^{-2}$.

буфером (рис. 1). При дополнительном освещении вольт-амперные характеристики таких транзисторов не зависят от того, своим или сторонним затвором управляется ток в канале (рис. 2). Контролируемые параметры остаются стабильными при выдержке облученных структур в нормальных условиях в течение 1 месяца или отжиге на воздухе при 400 K в течение 1 h.

Полученные результаты свидетельствуют о необратимой трансформации примесно-дефектного состава активных слоев и сформированных протонированием изолирующих областей при облучении структур ионами со стороны подложки. Характер изменений параметров транзисторов позволяет предположить, что эта трансформация связана преимущественно с уменьшением концентрации в активном слое центров рассеяния электронов, которыми являются, например, образовавшиеся при эпитаксии комплексы точечных дефектов [2], а также с частичным отжигом радиационных нарушений, ответственных за изолирующие свойства протонированных областей, под действием поля упругих волн [3,4]. Основной источник упругих волн — термические пики в зоне торможения ионов. Однако при прохождении через всю толщину структуры их амплитуда существенно снижается и, как показывают сделанные по результатам работы [3] оценки, для нашего случая давление от $P_{\text{max}} = 1.44\text{ GPa}$ (область термического пика)

уменьшается до 0.34 МПа в активном слое транзисторов. Энергия таких волн $E = 10^{-4}$ eV/at недостаточна для непосредственной активации диссоциации примесно-дефектных комплексов. Поэтому их основная роль сводится к возбуждению метастабильных скоплений точечных дефектов, которое сопровождается аннигиляцией компонентов френкелевских пар, уходом их на протяженные стоки и генерацией вторичных упругих волн [4,5]. Наиболее интенсивно эти процессы протекают вблизи внешней поверхности и внутренних границ раздела между эпитаксиальными слоями, где максимален градиент механических напряжений и вследствие этого повышена концентрация пространственно разделенных границей вакансий и междоузельных атомов. Падение упругих волн на такую границу стимулирует аннигиляцию разноименных точечных дефектов и, как следствие, возникновение вторичных волн с амплитудой, равной гидростатической компоненте собственного поля упругих напряжений дефектов, которая на один-два порядка превышает P_{\max} [6]. Численные оценки амплитуды и энергии упругих волн, распространяющихся через активный слой от внутренней границы раздела, дают на свободной поверхности структуры значения соответственно 46 МПа и $1.3 \cdot 10^{-2}$ eV/at. Такие волны уже способны инициировать работу поверхностных источников точечных дефектов [3,7], активизирующих трансформацию примесно-дефектного состава слоев и отжиг нарушений в протонированных областях.

Список литературы

- [1] Оболенский С.В., Павлов Г.П. // ФТП. 1995. Т. 29. В. 3. С. 413–420.
- [2] Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. Структурные дефекты в эпитаксиальных слоях полупроводников. М.: Металлургия, 1985. 160 с.
- [3] Павлов П.В., Семин Ю.А., Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 3. С. 503–507.
- [4] Павлов П.В., Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И. // Физ. и хим. обработки материалов. 1987. № 6. С. 19–24.
- [5] Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И., Шенгуров В.Г. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 22. С. 44–47.
- [6] Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 8. С. 1495–1497.
- [7] Павлов П.В., Пашков В.И., Скупов В.Д. // Электронная техника. Сер. 7. ТОПО. 1980. В. 6 (103). С. 24–26.