

Идентичность процессов дальнего действующего геттерирования при ионном и лазерном облучении транзисторных структур

С.В.Оболенский¹

*Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского
проспект Гагарина 23, Нижний Новгород 603950, Россия*

Исследовалось влияние ионно-лучевого и лазерного облучения в условиях проявления т.н. “эффекта дальнего действия” на электрические характеристики GaAs n^+np^- структур, на которых были изготовлены полевые транзисторы с затвором Шоттки. Показано, что сходство процессов геттерирования при воздействии ионно-лучевого и лазерного излучений объясняется аналогичными механизмами генерации упругих волн в полупроводниковой структуре, приводящих к модификации границ раздела эпитаксиальный слой - подложка и металл-полупроводник в исследуемых структурах.

Технология геттерирования широко применяется в современной микроэлектронике для улучшения электро-физических характеристик тех или иных приборных слоев. На сегодняшний день выявлено достаточно много физических механизмов геттерирования, но остается спорным вопрос о природе так называемого “эффекта дальнего действия”, возникающего при ионно-лучевом геттерировании, когда реакция облученных структур обнаруживается на расстояниях на 1–2 порядка превышающих глубину пробега внедряемых ионов. Существует несколько теорий, объясняющих подобный эффект с помощью радиационно-стимулированной диффузии, влиянием водородных комплексов, распространением упругих волн [1,2]. Работа посвящена сопоставлению влияния ионно-лучевого и лазерного излучения, генерирующего упругие волны, на характеристики GaAs полевых транзисторов с затвором Шоттки (ПТШ).

Экспериментальная методика состояла в следующем. Предварительно, после утонения до толщины 100 мкм, и до разделения на отдельные приборы, пластины с ПТШ облучались ионами аргона с энергией 90 кэВ, дозой $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ при плотности ионного тока не выше $0,5 \text{ мкА см}^{-2}$, т.е. температура образцов была близка к комнатной. Другая пластина после предварительного нанесения Au металлизации на обратную (подложечную) сторону, и разделения на образцы размером $1 \times 1 \text{ мм}$, облучалась импульсным неодимовым лазером, с длиной волны 1,06 мкм (энергия квантов меньше ширины запрещенной зоны GaAs), длительностью импульса 10 нс, энергией за импульс 30 мДж, и диаметром пятна излучения около 2 мм. Толщина Au металлизации выбиралась так, чтобы все излучение поглощалось на подложечной стороне пластины. Дополнительно лазером облучались пластины без металлизации с подложечной стороны.

Изменение параметров транзисторов после ионного и лазерного облучения фиксировалось по вольт-амперным характеристикам (ВАХ), снимавшимся на ха-

¹ Тел.: +7-8312-656032; Fax: +7-8312-656416; E-mail: obolensk@rf.unn.ru

рактиографе Л2-56 и вольт-фарадным характеристикам (ВФХ), измерявшимся на измерителе емкости Е7-12. Характер изменения ВАХ для ионно- и лазерно-облученных ПТШ, качественно совпадает (рис.1 и рис.2). Анализ ВАХ и ВФХ выявил укрупнение профиля распределения примеси и повышение подвижности в канале транзистора. Отмечено уменьшение напряжений пробоя затвор-сток на 10–20%, а исток-сток на 10–30% (и до 60% в случае лазерного облучения большим числом импульсов). Путем изменения мощности импульсов лазерного облучения выявлен порог проявления эффекта, ниже которого какие-либо изменения отсутствовали при облучении 15 лазерными импульсами.

Результаты эксперимента показывают, что облучение ионами и импульсным лазерным излучением структур ПТШ со стороны подложки ускоряет релаксационную перестройку компонентов примесно-дефектного состава каждого из образующих транзисторную композицию слоев и приграничных областей между ними. Процесс геттерирования инициируют и поддерживают упругие волны, генерируемые в зоне торможения ионов или поглощения лазерного излучения.

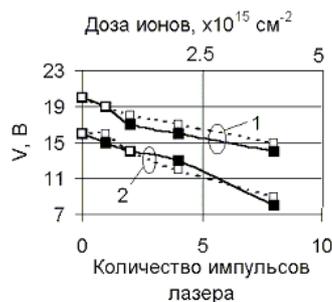


Рис.1

Зависимость напряжения пробоя стока (1) и затвора (2) от количества импульсов лазерного излучения (—) и дозы ионов (---).

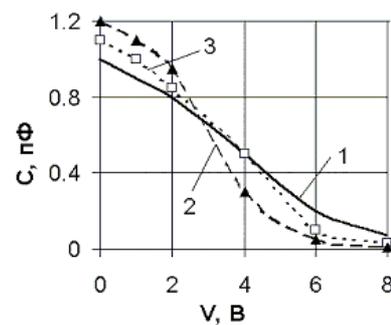


Рис.2

Изменение вольт-фарадной характеристики при лазерном (3) или ионном геттерировании (2). До геттерирования – 1.

Сопоставление скоростей изменения напряжений пробоя в партии ПТШ при лазерной обработке показало следующее. Если изначально прибор имел скрытые дефекты, не проявляющиеся на его характеристиках, то при облучении эти дефекты разрастались или являлись центрами генерации новых дефектов, что в итоге приводило к ускоренному старению прибора. Поэтому эффект может быть применен для отбраковки исходных приборов, в том числе и по параметрам радиационная стойкости и надежности.

Сопоставление образцов с нанесенной на обратную сторону металлизацией и без нее показало, что при лазерном облучении принципиальное значение имеет

глубина проникновения излучения. Если оно проходит на всю глубину структуры, то происходит разогрев приборного слоя и связанные с ним эффекты модификации канала транзистора, описанные в [3]. Если излучение целиком задерживается на подложечной стороне, то генерируются лишь упругие волны, а разогрев подложечной стороны не влияет на характеристики ПТШ.

Для доказательства последнего проводился эксперимент. Исследовалось изменение характеристик образцов, имеющих хороший (массивный металлический предметный столик) и плохой (диэлектрическая прокладка) теплоотвод с обратной стороны при их облучении с лицевой стороны. Было показано, что скорость деградации теплоизолированных образцов на 10–15% больше, чем у образцов с теплоотводом.

Влияние теплоотвода от лицевой стороны на изменение характеристик прибора при облучении с обратной стороны исследовалось в другом эксперименте. Изменялось изменение характеристик ПТШ при его облучении с обратной стороны, когда лицевая сторона была опущена в глицерин или оставалась свободной (на воздухе). Глицерин достаточно хорошо отводит тепло, не вызывая изменения характеристик транзистора. Изменение характеристик образцов, имеющих хороший теплоотвод с лицевой стороны, и *не имеющих* металлизации с обратной стороны, при облучении их с обратной стороны деградируют со скоростью в 3–5 раз меньше, чем теплоизолированные образцы. Изменение характеристик образцов, имеющих хороший теплоотвод с лицевой стороны и металлизацию с обратной стороны, при облучении их с обратной стороны деградируют в пределах точности измерений со скоростью, равной скорости теплоизолированных образцов.

Для непосредственного измерения температуры канала при лазерном облучении проводилось измерение тока затвора и стока транзистора. Было показано, что температура канала транзистора в пределах точности эксперимента (15–25%) остается комнатной, если излучение не попадает на лицевую сторону образца. При облучении лицевой стороны, отмечено кратковременное увеличение температуры канала до значений 250–450 С, как это описано в [3]. Отличие в величине разогрева канала транзистора, при облучении лицевой металлизации через подложку (прозрачную для лазерного излучения), и с лицевой стороны в пределах погрешности не обнаружено.

Таким образом, геттерирующее воздействие на GaAs структуру, при лазерном облучении металлизированной подложечной стороны, связано с генерацией упругих волн, а не с термическим разогревом полупроводниковой структуры. Поскольку геттерирующее воздействие лазерного и ионного облучения на GaAs структуры проявляются аналогично, то для трактовки “эффекта дальнего действия”, при ионном облучении структур, наиболее адекватным объяснением переноса энергии на большие расстояния будет также генерация упругих волн.

Автор выражает благодарность Китаеву М.А., Скупову В.Д., Киселеву В.К., Качемцеву А.Н, Козлову В.А за обсуждение полученных результатов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Отделения НАТО “Наука для Мира” SfP-973799 Semiconductors и гранта МНТП “Физика твердотельных наноструктур” (№99-1142).

Литература

- [1] Оболенский С.В., Скупов В.Д., Фефелов А.Г. Проявление эффекта дальнего действия в ионно-облученных транзисторных структурах на основе GaAs // Письма в ЖТФ. 1999. Т.25, №16. С.50–53.
- [2] Оболенский С.В., Скупов В.Д. Влияние ионно-лучевого геттерирования на параметры GaAs-транзисторных структур при нейтронном облучении // Письма в ЖТФ. 2000. Т.26, №15. С.1–5.
- [3] Козлов В.А., Оболенский С.В., Китаев М.А. Нанометровая модификация материала методом электродинамической локализации оптического излучения // Письма в ЖТФ. 2001. Т.27, №19. С.32–38.

Identity of processes of long-length gettering under ion and laser irradiation of transistor structures⁺⁾

S.V.Obolensky¹⁾

Nizhni Novgorod State University, Gagarin Avenue 23, Nizhni Novgorod 603950, Russia

Influence of ion and laser radiation on electric characteristics of GaAs n^+-n-n^- structures when so called “long-length action” effect occurs was considered. For convenience of investigations field-effect transistor with Schottky gate was formed on the basis of the structure. It was shown similarity of gettering processes under ion-beam and laser radiation. This was explained by similar nature of elastic waves generated in semiconductor structure. These waves give rise to modification of boundaries either between epitaxial layer and substrate or between metal and semiconductor in the studied structures. Effect of elastic waves propagation leads to steepening of profile doping impurity concentration on the boundary between conduction layer and substrate, increase of electron mobility, transistor transconductance and amplification coefficient. Decrease of technological defects concentration gives rise to improvement of radiation hardness of the device.

This work was supported by NATO Science Division, Program “Science for Peace”, Project SfP-973799 Semiconductors.

⁺⁾ Proc. NATO Project SfP-973799 Semiconductors 2nd Workshop. Nizhni Novgorod, 2002

¹⁾ Phone: +7-8312-656032; Fax: +7-8312-656416; E-mail: obolensk@rf.unn.ru