

06;08;12

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАРЬЕРОВ ШОТТКИ ГЕТЕРОСИСТЕМ $M-n-n^+GaAs$ ($M = Pt, Cr, W$)

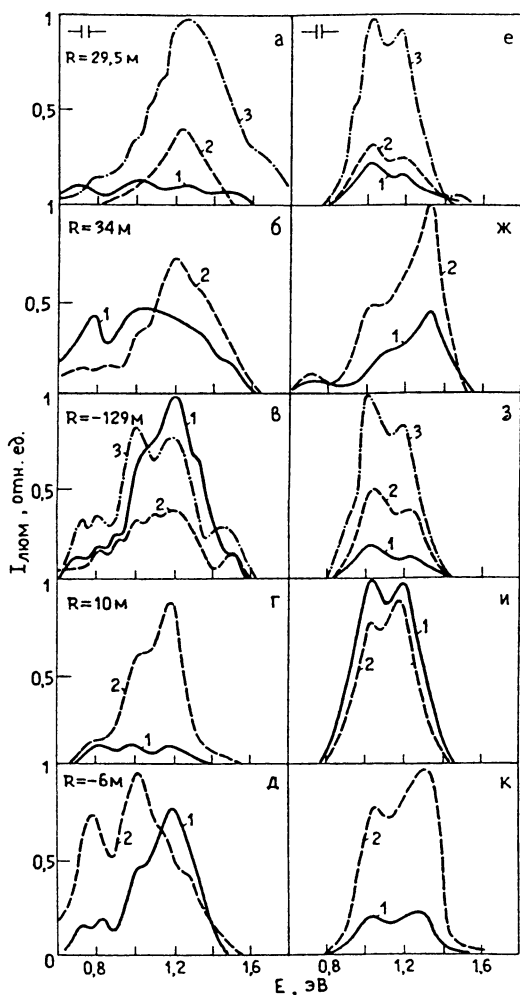
© *И.Б.Ермолович, В.В.Миленин, Р.В.Конакова,
И.В.Прокопенко, В.Л.Громашевский*

Микроскопические связи между атомами на границе раздела металл-полупроводник (МП) определяют электронные свойства макроскопического контакта, его эксплуатационные характеристики, надежность и долговечность. Контролируемые воздействия на дефектную структуру полупроводника позволяют изменять, т. е. целенаправленно формировать границу раздела. В настоящей работе изучено влияние ультразвуковой обработки (УЗО) на физико-химические свойства гетероструктур $M-n-n^+-GaAs$, формируемых металлами с разной химической активностью: Pt, Cr и W.

Структуры МП изготавливались электронно-лучевым испарением M в вакууме 10^{-4} Па на нагретую подложку $n-n^+-GaAs$ с ориентацией поверхности (100). Толщины слоев металлизации не превышали 800 \AA . Анализ физико-химического состояния гетероструктур осуществлялся методом Оже-спектроскопии. Деформационные эффекты — рентгено-дифракционным методом. Измерялись величины радиусов кривизны систем R . Полагали, что для вогнутой поверхности $R > 0$, для выпуклой $R < 0$. Спектр локальных состояний в запрещенной зоне подложки и вблизи гетерограницы структур, обусловленных точечными дефектами структуры и неконтролируемыми примесями, определялся по спектрам фотолюминесценции (ФЛ), измеренным со стороны подложки и металла соответственно в области $0.54-2.0 \text{ эВ}$ при 77 К . Возбуждение велось светом лампы накаливания ПЖ-100 с $h\nu > 2.0 \text{ эВ}$ ($k > 10^5 \text{ см}^{-1}$).

Изготовленные структуры подвергались УЗО, в продольном импульсном режиме с частотой $0.2-14 \text{ МГц}$ и мощностью на передающем преобразователе 6 Вт/см . Длительность обработки 1 ч.

По данным Оже-спектроскопии получено, что основным процессом, происходящим на границе раздела при выбранных условиях приготовления гетероструктур, является взаимная диффузия компонентов гетероконтакта, приводящая



Спектры фотолюминесценции, измеренные при $T = 77$ К структур $M-n-n^+-GaAs$, $M=Pt$ (а, б, в, е, ж, з); $M=Cr$ (г, и); $M=W$ (д, к) со стороны металла — а-д; подложки — е-к. Кривые 1 — исходные; 2 и 3 после УЗО — 1 и УЗО — 2 соответственно.

к нарушению стехиометрического состава в приповерхностном слое полупроводника. Эффекты, связанные с химическими взаимодействиями между металлами и GaAs, не проявляются даже при напылении наиболее химически активной Pt. Степень размытия границы раздела определяется химической активностью металла и исходными условиями приготовления гетероструктуры: наибольшая для Pt и меньшая для Cr и W. Для двух последних ярко выражена не-

стехиометричность диффузии компонентов полупроводника, связанная с большей глубиной проникновения Ga в слой металла.

Анализ деформационных эффектов в гетероструктурах показал, что в случае W образцы имеют знак деформации $R < 0$, для Si $R > 0$. Для Pt даже для одной и той же толщины пленки механические напряжения либо отсутствуют $R = 0$, либо являются напряжениями сжатия $R < 0$, либо напряжениями растяжения $R > 0$. УЗО не оказывает заметного влияния на деформационные параметры структур, т. е. возникновение и распространение упругих волн не приводит к таким изменениям в плотности структурных дефектов кристалла, которые можно было зафиксировать по уровню остаточных деформаций. Однако ее влияние существенно в перестройке локальных точечных дефектов структуры, что было установлено по спектрам ФЛ гетероструктур.

На рисунке представлены типичные спектры ФЛ структур до (кривые 1) и после УЗО (кривые 2, 3), измеренные со стороны М-слоя (см. рисунок, а-д) и подложек (см. рисунок, е-к). В спектрах подложек наблюдаются полосы с $h\nu = 1.02, 1.20$ и 1.33 эВ, соотношение которых в разных областях разное. В спектрах, измеренных со стороны М-слоев, содержится большое число полос, что свидетельствует о большей дефектности приконтактных областей. Металлизация приводит к трансформации спектров ФЛ, однако установить корреляцию изменений с природой напыляемого М не удается. В результате УЗО происходит усиление интенсивности ФЛ в целом как подложек, так и приконтактных областей, сужение и перераспределение интенсивностей полос. Это означает, что УЗ волна существенно ослабляет канал безызлучательной рекомбинации, гомогенизирует структуру за счет большего упорядочения пространственной локализации в решетке дефектов и примесей, а также изменяет дефектную структуру полупроводника, наиболее эффективно — в приконтактной области. Установлено, что при сжимающих напряжениях (см. рисунок, д) после УЗО преимущественной становится полоса 1.02 эВ, а при растягивающих — полоса 1.20 эВ (см. рисунок, а, б, г). К настоящему времени выяснено, что центры свечения в соединениях III-V являются комплексными с участием вакансий. Наличие упругих напряжений приводит к изменению химического потенциала вакансий, следствием чего является возникновение их направленных диффузионных потоков. УЗ волна стимулирует диффузию вакансий, поскольку энергия активации диффузии понижается: $E = E_0 - \sigma_{уз}V$, где E_0 — равновесная энергия активации диффузии, $\sigma_{уз}$ — напряжение, V — активационный объем. При сжимающих

напряжениях реализуется состояние пересыщения по вакансиям. Под действием УЗ волны пересыщение релаксирует к новому равновесию системы за счет образования комплексов и кластеров точечных дефектов. Картина изменяется на противоположную при растяжении кристалла: комплексы или кластеры дефектов распадаются на точечные составляющие. Степень пересыщения (недонасыщения) вакансиями зависит от концентрации легирующих и фоновых примесей, которые могут принимать участие в формировании примесно-вакансионных комплексов — центров излучательной и безызлучательной рекомбинации. Действительно, получено, что сжимающие напряжения способствуют возникновению комплексных центров свечения полосы 1.02 эВ — донорно-акцепторных пар ($V_{Ga}D$) или ($Cu_{Ga}D$) [1,2]. В то же время преимущественными центрами свечения при растягивающих напряжениях являются изолированные акцепторы Cu_{Ga} — центры полосы 1.02 эВ [3]. В пользу такого механизма воздействия УЗО свидетельствует также увеличение интенсивности ФЛ в целом, а также сужение полос, которые связаны с повышением подвижности точечных дефектов и примесей, приводящей к их большей пространственной и химической упорядоченности.

Особенности перестройки примесно-дефектной структуры на гетерограницах систем проявляются также в уменьшении обратных токов диодов Шоттки (на два порядка после УЗО), что является следствием уменьшения концентрации центров генерации-рекомбинации.

Список литературы

- [1] *Williams E.W.* // Phys. Rev. 1968. V. 168. N 3. P. 922–928.
- [2] *Chiang S.Y., Peasfor Y.L.* // J. Luminescence. 1975. V. 10. N 5. P. 313–322.
- [3] *Popov A.S., Jakimova A.* // Phys. Stat. Sol. (a). 1979. V. 51. N 1. P. K17–K21.

Институт физики
полупроводников
НАН Украины
Киев

Поступило в Редакцию
4 ноября 1995 г.