

УДК 621.315.592

А.В. ВОЙЦЕХОВСКИЙ\*, Д.В. ГРИГОРЬЕВ\*, А.Г. КОРОТАЕВ\*, А.П. КОХАНЕНКО\*, А.С. ПЕТЕРС\*,  
В.Ф. ТАРАСЕНКО\*\*, М.А. ШУЛЕПОВ\*\*

### ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ПИКОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ И ОБЪЕМНОГО РАЗРЯДА В ВОЗДУХЕ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА CdHgTe<sup>1</sup>

Представлены экспериментальные результаты исследований магнитопольных зависимостей электрофизических параметров эпитаксиального материала КРТ после комплексного воздействия электронного пучка пикосекундной длительности и объемного разряда в воздухе атмосферного давления. Проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных результатов и теоретического моделирования.

**Ключевые слова:** теллурид кадмия ртуть, объемный разряд атмосферного давления.

Тройные полупроводниковые соединения CdHgTe (КРТ) на сегодняшний день являются одним из основных материалов для создания собственных фотоприемников ИК-диапазона длин волн 3–5 и 8–14 мкм. Основные тенденции развития современной технологии направлены на разработку высокоэффективных многоэлементных фотоприемных устройств на основе эпитаксиального материала КРТ, выращенного методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Наряду с исследованием исходных свойств эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом МЛЭ, актуальной является задача контролируемого изменения параметров материала с целью получения заданных полупроводниковых структур.

В настоящее время разряды различных типов и электронные пучки широко используются для модификации приповерхностных слоев различных материалов [1]. Особенностью подобных разрядов является комплексное воздействие плазмы плотного наносекундного разряда с удельной мощностью энерговыклада в сотни мегаватт на кубический сантиметр, сверхкороткого электронного пучка с широким энергетическим спектром и оптического излучения различных спектральных диапазонов из плазмы разряда [2].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния объемного наносекундного разряда в воздухе при атмосферном давлении на электрофизические свойства эпитаксиального материала Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te, выращенного методом МЛЭ. Для проведения исследований была подготовлена серия образцов эпитаксиальной пленки КРТ *p*-типа проводимости ( $p = (1,1-2,5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ,  $\mu_p = 300-500 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ ), выращенных методом МЛЭ в ИФП СО РАН г. Новосибирска. Состав рабочего слоя эпитаксиальных пленок составлял  $x = 0,22$ . Подготовленные образцы размещались в газовой диоде на медном аноде. В качестве источника импульсного напряжения использовался генератор РАДАН-220, формировавший импульсы напряжения с амплитудой  $\sim 230 \text{ кВ}$  (напряжение холостого хода), длительностью импульса на полувысоте  $\sim 2 \text{ нс}$  (на согласованной нагрузке) и временем нарастания  $\sim 0,5 \text{ нс}$ . Облучение образцов проводилось в импульсно-периодическом режиме с частотой следования импульсов 1 Гц. Воздействие проводилось в диапазоне  $100 \div 1200$  импульсов для серии образцов, облученных в атмосфере воздуха.

Электрофизические параметры образцов КРТ до и после воздействия разряда определялись из измерений эффекта Холла методом Ван дер Пау. Измерения проводились при постоянном токе, протекающем через образец ( $I = 1 \text{ мА}$ ), для двух направлений тока и двух направлений постоянного магнитного поля.

Анализ результатов измерения электрофизических параметров образцов эпитаксиальных пленок КРТ, подвергнутых воздействию в атмосфере воздуха, показал, что после облучения в диапазоне  $100 \div 1200$  импульсов для всех образцов наблюдается увеличение проводимости. Причем для образцов, облученных в диапазоне импульсов от 100 до 400, наблюдается уменьшение значения коэффициента Холла (рис. 1). При этом на полевой зависимости коэффициента Холла наблюдается сдвиг точки инверсии знака коэффициента Холла в область более высоких магнитных полей от 0,17 до 0,28 Тл. Увеличение числа импульсов воздействия объемного разряда до 600 им-

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0074.

пульсов приводит к инверсии знака коэффициента Холла. Дальнейшее увеличение числа импульсов воздействия приводит к уменьшению коэффициента Холла.

При травлении 0,1 мкм в 0,2 %-м растворе брома в демитил-формамиде электрофизические параметры образцов, подвергнутых облучению, возвращались к исходным значениям (рис. 2). Помимо этого была проведена обработка облученного образца в HCl. При этом также наблюдалось возвращение электрофизических параметров пленок к исходным значениям, хотя соляная кислота не растворяет КРТ.

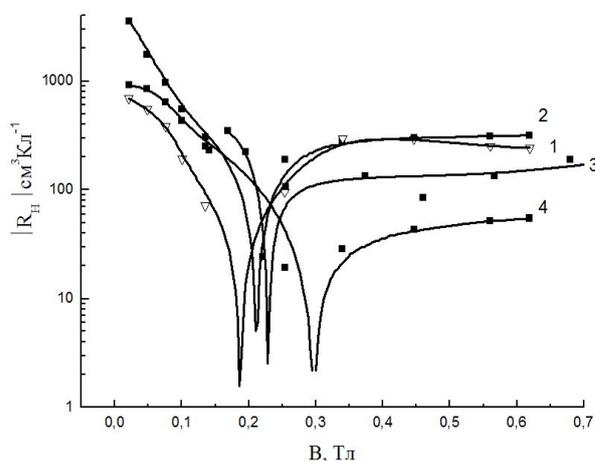


Рис. 1. Полевая зависимость коэффициента Холла для образцов эпитаксиальной пленки  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  до (кр. 1), после облучения при 100 (кр. 2), 200 (кр. 3) и 400 (кр. 4) импульсах разряда

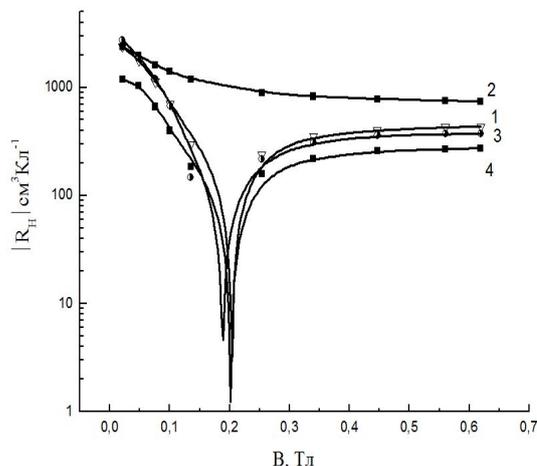


Рис. 2. Полевая зависимость коэффициента Холла для образцов эпитаксиальной пленки  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  до (кр. 1), после травления (кр. 3, 4) и после воздействия 600 импульсов объемного разряда в воздухе (кр. 2)

Также был проведен дополнительный эксперимент по облучению образца эпитаксиальной пленки, у которого часть поверхности была закрыта диэлектрической пластинкой. После облучения было проведено исследование морфологии поверхности пленки с помощью профилометра MicroXAM-100, которое показало, что на поверхности образца отсутствует инородная пленка.

Анализ экспериментальных данных позволил сделать предположение о том, что в приповерхностной области образца образуется оксид КРТ. Из литературы известно, что оксидная пленка обладает встроенным положительным зарядом, наличие которого для материала  $p$ -типа проводимости приводит к образованию инверсионного слоя на границе раздела оксид/КРТ [3].

Для подтверждения выдвинутого предположения в приповерхностной области КРТ был выращен оксид путем анодного окисления. Для этого образец пленки КРТ был помещен в электрохимическую ячейку. В роли анода выступал образец пленки КРТ, а катода – пластина платины. В качестве электролита использовался 40 %-й раствор этиленгликоля в КОН. Выращивание анодного окисла на поверхности пленки КРТ проводилось до напряжения 4 В. После выращивания анодного окисла было проведено измерение электрофизических параметров полученной многослойной структуры. Результаты экспериментальных измерений показали, что наблюдаемые изменения полевой зависимости коэффициента Холла до и после нанесения анодного окисла аналогичны наблюдаемым результатам при облучении образцов КРТ объемным наносекундным разрядом в атмосфере воздуха.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что воздействие импульсов объемного наносекундного разряда в воздухе при атмосферном давлении на эпитаксиальные пленки КРТ приводит к формированию оксидной пленки в приповерхностной области материала, обладающей встроенным положительным зарядом в приповерхностной области. Наличие встроенного положительного заряда в оксидной пленке приводит к образованию инверсионного слоя на границе раздела оксид/КРТ, который «шунтирует» остальную часть образца таким образом, что измеряемая полевая зависимость коэффициента Холла соответствует материалу  $n$ -типа проводимости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диденко А.Н., Шаркеев Ю.П., Козлов Э.В., Рябчиков А.И. Эффекты дальнего действия в ионно-имплантированных металлических материалах. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – 326 с.
2. Войцеховский А.В., Григорьев Д.В., Коханенко А.П. и др. // Изв. вузов. Физика. – 2011. – Т. 54. – № 10. – С. 88–90.
3. Берченко Н.Н., Елизаров А.И. // Прикладная физика. – 2011. – № 4 – С. 79–85.

\*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия Поступила в редакцию 15.07.13.

\*\*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

E-mail: vav@elefot.tsu.ru

Войцеховский Александр Васильевич, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой;

Григорьев Денис Валерьевич, к.ф.-м.н., доцент;

Коротаев Александр Григорьевич, к.ф.-м.н., доцент;

Коханенко Андрей Павлович, д.ф.-м.н., профессор;

Петерс Александр Сергеевич, студент;

Тарасенко Виктор Федотович, д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией;

Шулепов Михаил Александрович, к.ф.-м.н., мл. науч. сотр.

*A.V. VOITSEKHOVSII, D.V. GRIGORYEV, A.G. KOROTAEV, A.S. PETERS, A.P. KOKHANENKO,  
V.F. TARASENKO, M.A. SHULEPOV*

**THE INFLUENCE OF COMPLEX IMPACT OF PICOSECOND ELECTRON BEAM AND  
VOLUME DISCHARGE IN AIR AT ATMOSPHERIC PRESSURE ON THE ELECTRO  
PHYSICAL PROPERTIES OF CdHgTe EPITAXIAL MATERIAL**

In this work the experimental results of the research of dependences of CdHgTe epitaxial material electro physical parameters after picosecond electron beam complex impact in air at atmospheric pressure on magnetic field. The comparing analysis of the obtained experimental results and theoretical modeling is conducted.

**Keywords:** mercury cadmium telluride, volume discharge in air.