

УДК 621.315.592

*Д.В. ГРИГОРЬЕВ\**, *А.В. ВОЙЦЕХОВСКИЙ\**, *А.Г. КОРОТАЕВ\**, *В.Ф. ТАРАСЕНКО\*\**, *М.А. ШУЛЕПОВ\*\****ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО НАНОСЕКУНДНОГО ОБЪЕМНОГО РАЗРЯДА В ВОЗДУХЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА МАГНИТОПОЛЕВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК КРТ<sup>1</sup>**

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния объемного наносекундного разряда в воздухе атмосферного давления на электрофизические характеристики эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Анализ измеренных магнитополевых зависимостей коэффициента Холла образцов эпитаксиальных пленок подвергнутых воздействию объемного разряда показал, что в результате облучения в приповерхностной области материала образуется высокопроводящий слой *p*-типа проводимости. Показано, что одним из механизмов формирования данного высокопроводящего слоя может быть формирование в приповерхностной области облученного материала химических соединений КРТ с атомами кислорода и азота.

*Ключевые слова:* CdHgTe, объемный разряд, электрофизические параметры.

Гетероэпитаксиальные пленки  $Cd_xHg_{1-x}Te$  (КРТ), выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на подложках GaAs и Si, в настоящее время являются одним из основных материалов для создания матричных фотоприемных устройств, работающих в инфракрасной области спектра в диапазонах 3-5 и 8-14 мкм [1]. При этом наряду с исследованием исходных свойств эпитаксиальных пленок КРТ, актуальной является задача поиска новых методов контролируемого изменения параметров исходного материала с целью получения полупроводниковых структур с заданными параметрами.

Разряды различных типов широко используются для модификации приповерхностных слоев различных материалов [2]. В воздухе атмосферного давления и неоднородном электрическом поле объемный разряд формируется при обеих полярностях импульса напряжения на электроде с малым радиусом кривизны. При облучении подобным разрядом исследуемого образца происходит 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 [3, 4].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния объемного наносекундного разряда в воздухе атмосферного давления на электрофизические свойства гетероэпитаксиального материала КРТ, выращенного методом МЛЭ.

Для проведения исследований была подготовлена серия образцов эпитаксиальных пленок КРТ *p*-типа проводимости ( $p = 1 \div 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ,  $\mu_p = 300 \div 500 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ ), выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии в ИФП СО РАН г. Новосибирска. Состав рабочего слоя эпитаксиальных пленок составлял  $x = 0.22$ . Подготовленные образцы размещались в газовом 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 полувывоте  $\sim 2 \text{ нс}$  (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. 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 облученных образцов эпитаксиальных пленок КРТ, показал, что после облучения в диапазоне 100  $\div$  1200 импульсов для всех образцов наблюдается увеличение проводимости. Причем для образцов, облученных в диапазоне

<sup>1</sup> Статья написана в рамках научного проекта (№ 8.2.10.2015), выполненного при поддержке Программы «Научный фонд Томского государственного университета им. Д.И. Менделеева» в 2015 г.

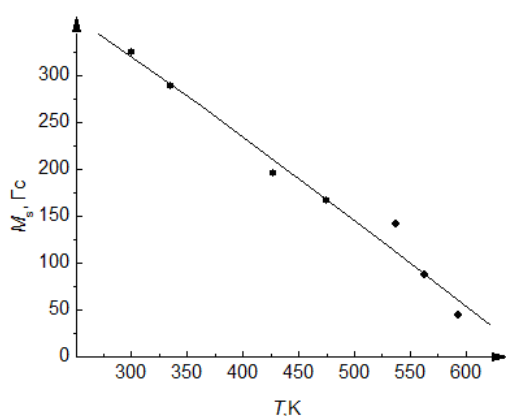


Рис. 1. Температурная зависимость намагниченности насыщения гексаферрита  $SrCo_{1,0}Ti_{1,0}Fe_{10}O_{19}$

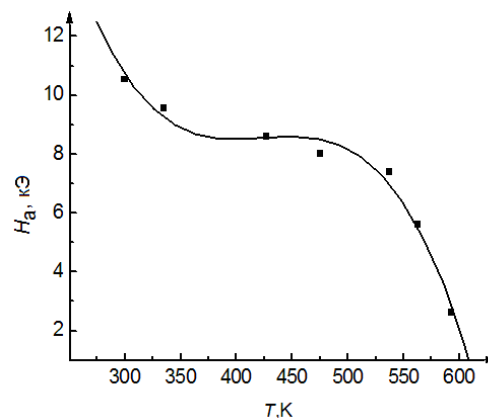


Рис. 2. Температурная зависимость поля анизотропии гексаферрита  $SrCo_{1,0}Ti_{1,0}Fe_{10}O_{19}$

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 со значения 0,17 Тл до значения 0,28 Тл. Увеличение числа импульсов воздействия объемного разряда до значения 600 импульсов приводит к инверсии знака коэффициента Холла (рис. 2, кривая 2). Дальнейшее увеличение числа импульсов воздействия приводит к уменьшению значения коэффициента Холла. Следует отметить, что при стравливании 0,1 мкм в 0,2 % растворе брома в демитилформамиде электрофизические параметры образцов, подвергнутых облучению, возвращались к исходным значениям (рис. 2, кривая 3). Исследование поверхности образца, часть поверхности которого при облучении была закрыта диэлектрической пластинкой, показало, что на поверхности образца отсутствует инородная пленка. Полученные результаты, позволили выдвинуть предположение, что в процессе воздействия на образцы эпитаксиальных пленок объемного разряда в приповерхностной области материала происходит образование слоя с высокой концентрацией электронов, проводимость которого такова, что он шунтирует основной объем эпитаксиальной пленки при проведении измерений эффекта Холла.

Кроме того, обнаружено, что после обработки облученных образцов в растворе концентрированной соляной кислоты происходит восстановление исходных значений электрофизических параметров материала (рис. 2, кривая 4). Данный факт позволяет сделать заключение, о том, что в приповерхностной области облученного материала происходит образование химических соединений КРТ с атомами кислорода и азота. Анализ литературных данных показывает, что подобные химические соединения содержат значительную концентрацию положительно заряженных центров, наличие которых приводит к образованию инверсионного слоя на границе раздела с эпитаксиальной пленкой КРТ  $p$  – типа проводимости.

Образование подобного инверсионного слоя показано при исследовании свойств границы раздела оксидная пленка - КРТ [5]. Моделирование данного предположения было проведено путем выращивания на поверхности эпитаксиальной пленки КРТ оксида методом анодного окисления. После выращивания анодного окисла было проведено измерение электрофизических параметров полученной многослойной структуры. Результаты измерений показали, что наблюдаемые изменения полевой зависимости коэффициента Холла до и после нанесения анодного окисла аналогичны наблюдаемым результатам при облучении образцов КРТ объемным разрядом.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что при воздействии импульсов объемного наносекундного разряда в воздухе атмосферного давления на эпитаксиальные пленки КРТ в приповерхностном слое материала происходит образование химических соединений КРТ с атомами кислорода и азота. Образовавшийся слой характеризуется наличием встроенного положительного заряда, который 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. Rogalski A. // Opto-electronics Review – 2012. – V. 20. – P. 279.
2. Shulepov M.A., Tarasenko V.F., Goncharenko I.M. et. al. // Tech. Phys. – 2008. – V. 8. – P. 51.
3. Тарасова Л.В., Худякова Л.Н. // Техническая Физика. – 1969. – Т. 14. – С. 1148.
4. Kostyrya I D, Orlovskii V M, Tarasenko V F et al // Technical Physics Letters – 2005. – v. 31. – P. 457.
5. Brogowski P and Piotrowski J // Semicond. Sci. Technol. – 1990. – V. 5. – P. 530.

\*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

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

E-mail: denn.grig@mail.tsu.ru

---

Григорьев Денис Валерьевич, к.ф.-м.н., доцент;  
 Войцеховский Александр Васильевич, д.ф.-м.н., профессор, зав. каф.;  
 Коротаев Александр Григорьевич, к.ф.-м.н., доцент;  
 Тарасенко Виктор Федотович, д.ф.-м.н., профессор, зав. лаб.;  
 Шулепов Михаил Александрович, к.ф.-м.н., млад. науч. сотр.

*D.V. GRIGORYEV\*, A.V. VOITSEKHOVSKII\*, A.G. KOROTAEV\*, V.F. TARASENKO\*\*, M.A. SHULEPOV\*\**

### **THE EFFECT OF A PULSED NANOSECOND VOLUME DISCHARGE IN THE AIR AT ATMOSPHERIC PRESSURE ON THE MAGNETIC-FIELD DEPENDENCE OF THE ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF MCT EPITAXIAL FILMS**

In the paper the results of experimental study of the influence of a volume discharge of a nanosecond duration formed in a non-uniform electric field at atmospheric pressure on the samples of epitaxial films CdHgTe (MCT) of p-type conductivity are presented. Measurements of electro-physical parameters of MCT samples after irradiation have shown that a layer of epitaxial films exhibiting n-type conductivity is formed in a near-surface region. The experimental data have shown that the impact of a pulsed volume nanosecond discharge in the air at atmospheric pressure on MCT epitaxial films leads to a formation of the chemical compounds of MCT with oxygen and nitrogen atoms in a surface layer of a material.

**Keywords:** *CdHgTe, volume discharge, electrophysical parameters.*

## REFERENCES

6. Rogalski A. // Opto-electronics Review – 2012. – V. 20. – P. 279.
7. Shulepov M.A., Tarasenko V.F., Goncharenko I.M. et. al. // Tech. Phys. – 2008. – V. 8. – P. 51.
8. Tarasova L.V., Khudyakova L.N. // Sov. Phys. Tech. Phys. – 1969. – V. 14. – P. 1148.
9. Kostyrya I D, Orlovskii V M, Tarasenko V F et al // Technical Physics Letters – 2005. – v. 31. – P. 457.
10. Brogowski P and Piotrowski J // Semicond. Sci. Technol. – 1990. – V. 5. – P. 530.

\*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia,

\*\* Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia,

E-mail: den.grig@mail.tsu.ru

---

Grigoryev Denis Valerievich, Ass. Prof., PhD;  
 Voitsekhovskii Alexander Vasilievitch, Prof., Dr. Sc.;  
 Korotaev Alexandr Grigorievich, Ass. Prof., PhD;  
 Tarasenko Viktor Fedotovitch, Prof., Dr. Sc.;  
 Shulepov Mikhail Alexandrovich, Researcher, PhD.