

УДК 621.315.592

Д.В. ГРИГОРЬЕВ, В.А. НОВИКОВ*, В.Ф. ТАРАСЕНКО**, М.А. ШУЛЕПОВ*****ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО НАНОСЕКУНДНОГО ОБЪЕМНОГО РАЗРЯДА В ВОЗДУХЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК КРТ¹**

Представлены результаты исследований влияния объемного наносекундного разряда на электронные свойства приповерхностной области эпитаксиальных пленок КРТ. Обнаружено, что распределение поверхностного потенциала и, как следствие, состава отдельных кристаллитов, образующих V-дефекты, имеют сложный характер и содержат области с повышенным содержанием, как ртути, так и кадмия. Обработка поверхности объемным разрядом приводит к уменьшению содержания ртути в отдельных кристаллитах по отношению к эпитаксиальной пленке КРТ.

Ключевые слова: *CdHgTe, объемный разряд, метод зонда Кельвина, поверхностный потенциал.*

Одним из основных материалов для создания матричных фотоприемных устройств, работающих в инфракрасной области спектра, являются твердые растворы $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ), выращенного методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Исследования процесса роста эпитаксиального КРТ показали, что не зависимо от типа подложки происходит формирование макроскопических V-дефектов, которые представляют собой включение поликристаллической фазы с измененным относительно эпитаксиальной пленки составом [1]. Так как спектральный диапазон и чувствительность конечного фотоэлемента существенно зависит от состава материала, то одной из важных задач является не только изучение, но и управление составом отдельных кристаллитов и V-дефекта в целом.

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.

Целью настоящей работы являлось влияния объемного наносекундного разряда в воздухе атмосферного давления на электронные свойства поверхности эпитаксиальных пленок $HgCdTe$, выращенных методом МЛЭ.

В работе было проведено исследование распределения поверхностного потенциала (контактной разности потенциалов между острием иглы кантилевера и поверхностью - КРП) методом зонда Кельвина, реализованного в атомно-силовой микроскопии (АСМ) [3]. Исследования проводились на эпитаксиальных пленках $HgCdTe$ n-типа проводимости, выращенных на подложках GaAs. Для проведения облучения подготовленные образцы размещались в газовом диоде на медном аноде и подвергались воздействию импульсов объемного наносекундного разряда в воздухе атмосферного давления. Облучение образцов проводилось в импульсно-периодическом режиме с частотой следования импульсов 1 Гц. Образцы были облучены 1200 импульсами.

Для исходной поверхности и поверхности подвергнутой воздействию разряда методом зонда Кельвина исследовалось распределение поверхностного потенциала не менее чем для 10 случайно выбранных V-дефектов. Типичное изображение распределения КРП приведено на рисунке 1. Из рисунка видно, что наблюдаются участки со значением КРП как меньшем, так и большим, чем таковое для эпитаксиальной пленки. По периферии каждого отдельного кристаллита наблюдается резкое изменение КРП, что может свидетельствовать о наличии измененного потенциала. Из распределения поверхностного потенциала определялась разница между значением КРП отдельных кристаллитов V-дефектов и средним значением КРП эпитаксиальной пленки (ΔСПД).

¹ 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.

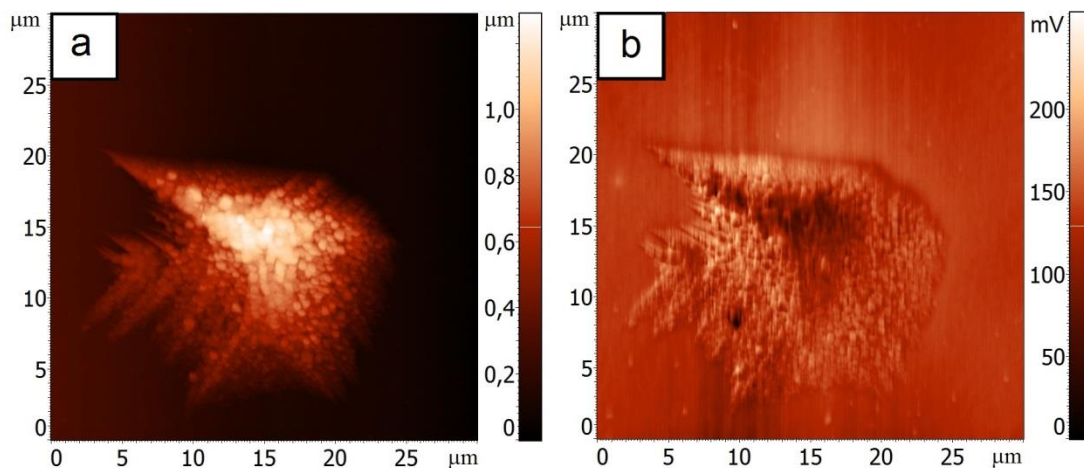


Рис. 1. АСМ изображение морфологии поверхности V-дефекта (а) и распределения поверхностного потенциала или КРП (b)

Распределения ΔCPD для исходной поверхности и поверхности после облучения приведены на рисунке 2. Из распределения ΔCPD видно, что оно имеет сложный характер и может быть описано семейством гауссовых распределений. Так как работы выхода иглы кантилевера в процессе измерения не меняется, что наблюдаемые изменения связаны с локальным изменением работы выхода КРТ, т.е. наблюдается изменение работы выхода отдельных кристаллитов V-дефекта. Используя выражение для зависимости электронного сродства твердого раствора КРТ от состава, приведенное в работе [4], можно записать выражение для ΔCPD в следующем виде:

$$\Delta CPD = [1.29 - 7.13 \cdot 10^{-4} T] (x_1 - x_2) - 0.54 (x_1^2 - x_2^2) + 0.56 (x_1^3 - x_2^3), \quad (1)$$

где x_1 – содержание кадмия в эпитаксиальной пленке, а x_2 – содержание кадмия в выбранном кристаллите V-дефекта. Можно считать, что величина x_1 не изменяется, тогда из значений ΔCPD можно определить величину Δx , которая характеризует изменение содержание кадмия в выбранном кристаллите по отношению к эпитаксиальной пленке.

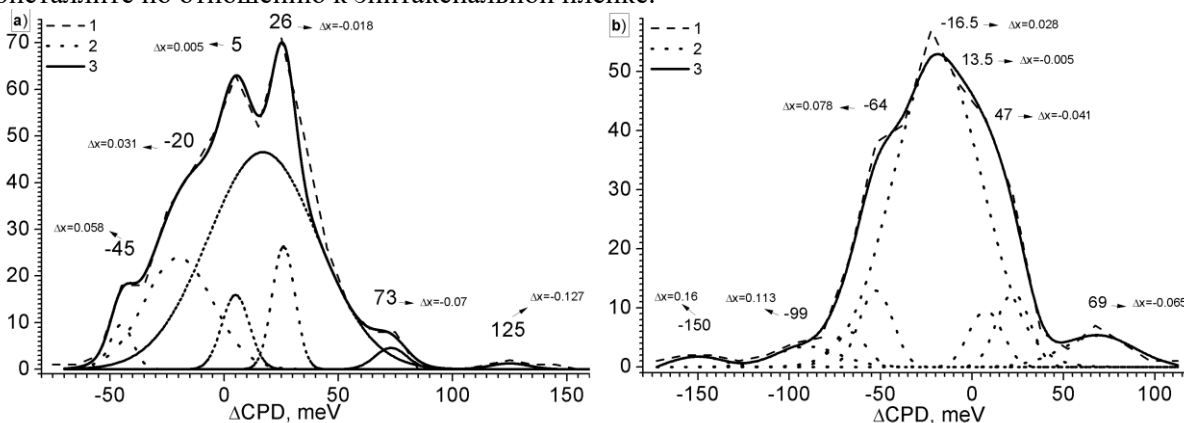


Рис. 1. Распределение отклонения величины КРП отдельных зерен V-дефекта от КРП эпитаксиальной пленки: а) исходная, б) после облучения, 1 – распределение ΔCPD , 2 – набор гауссовых распределений, 3 – суммарное распределение; стрелками указано изменение содержания CdTe Δx для данного значения ΔCPD

С учетом выражения (1) и данных приведенных на рисунке 2 можно показать, что до и после облучения отдельные кристаллиты V-дефекта могут быть как с увеличенным содержанием ртути ($\Delta x < 0$), так и с увеличенным содержанием кадмия ($\Delta x > 0$). Для исходного образца в основном преобладают кристаллиты с повышенным содержанием ртути, а после облучения с повышенным содержанием кадмия.

В связи со сложным характером распределения ΔCPD рассмотрим средние значения данного параметра для исходной (27 мВ) и облученной (-28 мВ) поверхности КРТ. Среднее значение ΔCPD для исходной и облученной поверхности отличаются на 55 эВ. При этом среднее значение ΔCPD меняет знак на противоположный. С учетом выражения (1) можно показать, что исходная поверхность эпитаксиальной пленки КРТ содержала кристаллиты преимущественно с повышенным со-

держанием ртути, а после облучения с повышенным содержанием кадмия. Следовательно, в процессе облучения происходит уменьшение содержания ртути в приповерхностной области полупроводника и, как следствие, изменение электрофизических параметров приповерхностной области пленки.

Таким образом, с помощью метода зонда Кельвина показано, что облучение объемным разрядом наносекундной длительности приводит к изменению состава твердого раствора отдельных кристаллитов, образующих V-дефект. Так как уменьшение содержания ртути должно наблюдаться не только для кристаллитов, но и для эпитаксиальной пленки в целом, то можно говорить о том, что скорость десорбции ртути из кристаллитов больше, чем из эпитаксиальной пленки.

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. Novikov V.A., Grigoryev D.V., Bezrodnyy D.A. and Dvoretzky S.A. // Appl. Phys. Lett. – 2014. – T. 105. – P. 102107.
4. А.В. Войцеховский, Д.И. Горн, И.И. Ижнин и др. // Известия ВУЗов Физика – 2012. – в. 55. – P. 50.

*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;
Новиков Вадим Александрович, 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, V.A. NOVIKOV*, V.F. TARASENKO**, M.A. SHULEPOV***

THE EFFECT OF A PULSED NANOSECOND VOLUME DISCHARGE IN THE AIR UNDER ATMOSPHERIC PRESSURE ON THE ELECTRONIC PROPERTIES OF A SURFACE OF MCT EPITAXIAL FILMS

In the paper 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 is described. 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, Kelvin probe method, the surface potential.

REFERENCES

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. Novikov V.A., Grigoryev D.V., Bezrodnyy D.A. and Dvoretzky S.A. // Appl. Phys. Lett. – 2014. – T. 105. – P. 102107.
4. Voitsekhovskii A.V., Gorn D.I., Izhnin I.I. et al // Russian Physic Journal – 2013. – v. 55. – P. 910.

*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;
Novikov Vadim Alexandrovich, Ass. Prof., PhD;
Tarasenko Viktor Fedotovitch, Prof., Dr. Sc.;
Shulepov Mikhail Alexandrovich, Researcher, PhD.