

8. Патент 63394А Україна. Анізотропний термоелектричний приймач випромінювання/Ащеулов А. А., Охрем В. Г. 15.01.2004; Бюл. № 1, 2004.
9. Патент 65332А. Україна Анізотропний термоелектричний приймач випромінювання/Ащеулов А. А. 15.03.2004; Бюл. 3, 2004.
10. Ащеулов А. А., Беспалько В. В., Раренко А. И. Координатно-чувствительный анизотропный термоэлектрический приемник излучения//Оптический журнал. 1994. № 2. С. 51—53.
11. Патент 2484. Україна. Анізотропний термоелектричний приймач випромінювання/Ащеулов А. А. 17.05.2004; Бюл. 5, 2004.
12. Снарский А. А., Аджигай А. Г., Ащеулов А. А. Координатно-чувствительный анизотропный приемник излучения. Аналитическое описание и численное моделирование// Термоэлектричество. 2005. № 1. С. 84—90.
13. Королюк С. Л., Пилат И. М., Самойлович А. Г. и др. Анизотропные термоэлементы//ФТП. 1973. Т. 7. № 4. С. 725—734.
14. Ащеулов А. А., Воронка Н. К., Маренкин С. Ф., Раренко И. М. Получение и использование оптимизированных материалов из антимонида кадмия//Неорганические материалы. 1996. Т. 12. № 9. С. 1049—1060.
15. Ащеулов А. А. Анизотропный радиационный термоэлемент в режиме оптического пропускания//Оптико-механическая промышленность. 1979. № 12. С. 49—50.
16. Самойлович А. Г., Слипченко В. Н. ЭДС анизотропного термоэлемента//ФТП. 1975. Т. 9. № 3. С. 126—131.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 года.

## Coordinate-sensitive devices based on transverse thermoEMF

A. A. Ascheulov

Institute of Thermoelectricity of the National Academy of Sciences and Ministry of Education of Ukraine, Chernivtsi, Ukraine

*Constructions of a series of devices based on anisotropic opticothermoelements used for radiation recording are represented. A bright outlook for their use as modulation-free nonselective coordinate-sensitive rulers and detectors intended for determination of coordinates of radiant flows over wide spectral and dynamic ranges is demonstrated.*

УДК 621.383

## Влияние отжига на свойства эпитаксиальных слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$ с анодным окислением

Э. К. Гусейнов, Ш. О. Эминов, А. А. Раджабли, Н. Дж. Исмаилов, Т. И. Ибрагимов  
Институт физики НАН Азербайджана, г. Баку, Республика Азербайджан

*Исследовано влияние термического отжига на свойства поверхности эпитаксиальных слоев  $Cd_xHg_{1-x}Te$ .*

### Введение

Твердый раствор  $HgCdTe$  (КРТ) является очень важным материалом для ИК-техники с точки зрения его фундаментальных свойств, поэтому он привлекает значительное внимание исследователей в течение последних 40 с лишним лет. В начале 90-х годов выращивание объемного КРТ достигло уровня, достаточного для производства фотоприемников первого поколения. Однако выращивание объемных монокристаллов КРТ с однородным составом оказалось очень трудной задачей. Это предопределило существенные измене-

ния в технологии КРТ за последнее десятилетие, что вызвало прежде всего переход от использования объемного материала к эпитаксиальным технологиям (ЖФЭ-, МЛЭ-, ПФЭ-слоям).

В основном полученные варизонные эпитаксиальные слои имели  $p$ -тип (при 77 К), концентрация дырок  $p = 0,6 \cdot 10^{16} \div 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Для состава  $x = 0,2$  концентрацию носителей меньше чем  $10^{16} \text{ см}^{-3}$  получить очень трудно. Однако в производстве фоторезисторов и фотодиодов нужны высококачественные кристаллы  $n$ -типа с концентрацией электронов ниже  $10^{15} \text{ см}^{-3}$ , подвижностью выше  $10^5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  и временем жизни неосновных дырок

$\tau > 1$  мкс. В связи с этим возникает необходимость конверсии материала из *p*-типа в *n*-тип.

Обычно используют метод длительного отжига кристаллов в парах ртути при разных температурах, в частности при 200—300 °С [1, 2], однако на некоторых кристаллах не удалось вообще провести инверсию из *p*-типа в *n*-тип вследствие высокой плотности преципитатов Те [3]. Авторы работы [4] использовали метод ионно-лучевого травления (ИЛТ) поверхности *p*-КРТ ионами аргона, а авторами статьи изучен альтернативный метод конверсии типа проводимости из *p*-типа в *n*-тип — термообработка под анодный окисел (АО).

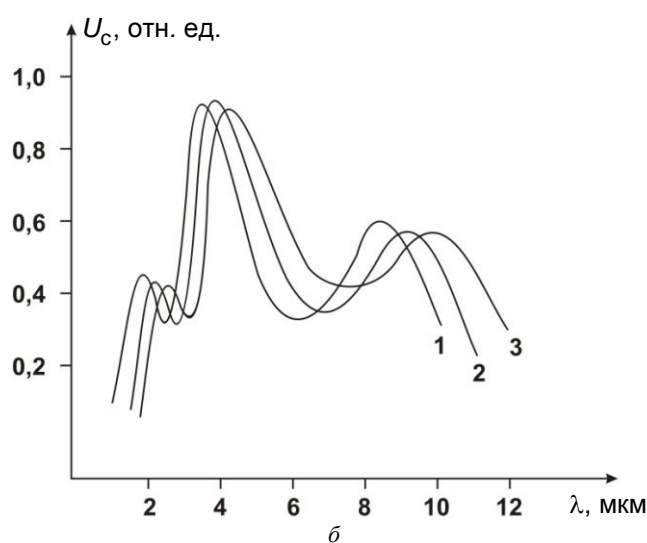
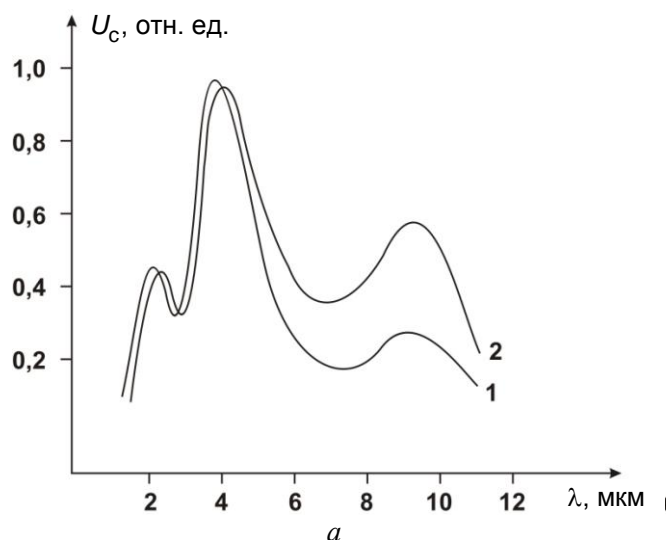
### Экспериментальные исследования

Цель данной работы — изучение влияния термического отжига на свойства поверхности эпитаксиальных слоев  $Cd_xHg_{1-x}Te$ , полученных методом испарение—диффузия (в изотермических условиях роста в эвакуированной кварцевой ампуле).

Исходная концентрация дырок в выращенных эпитаксиальных слоях составляла  $p \sim 2 \cdot 10^{16} \div 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  (при 77 К). Слои имели варизонную структуру, т. е. состав *x* изменялся по толщине слоя монотонно, причем на поверхности  $x = 0,2$ . Эпитаксиальные слои сразу после извлечения из кварцевой ампулы по окончании роста подвергались анодному окислению в электролите на основе КОН в смеси этиленгликоля и воды в гальваностатическом режиме, который позволяет сохранять стехиометрию эпитаксиального слоя. После этого проводили термический отжиг в атмосфере ртути при температурах 200—250 °С в течение 20—30 мин.

Исследование изменения состава эпитаксиальных слоев КРТ проводили методом изучения спектров фоточувствительности слоев. Спектры фоточувствительности измеряли при температуре 77 К и длинах волн 2—14 мкм при нулевом смещении. Омические (In) контакты наносили на эпитаксиальную часть структуры  $CdTe-Cd_xHg_{1-x}Te$ . Структуру освещали со стороны CdTe, причем узкая полоса света направлялась в область, близкую к одному из контактов. При этом создавался градиент концентрации неравновесных носителей и наблюдалась фотоЭДС.

На рисунке, *a* представлены спектральные зависимости фотоотклика варизонных структур при нулевом смещении (при 77 К) до отжига под анодным окислом. На спектре фотоотклика при нулевом смещении имеются три пика в области  $\lambda_1 = 2,3-2,5$  мкм,  $\lambda_2 = 4-4,5$  мкм и  $\lambda_3 = 7-11$  мкм. Происхождение каждого из этих пиков, на наш взгляд, связано с наличием в запрещенной зоне варизонной структуры градиентов  $\Delta E_g$ .



**Спектральные зависимости фотоотклика варизонных структур (при 77 К):**

*a* — при нулевом смещении до отжига под АО;

*b* — после отжига под АО:

1 — при 200 °С; 2 — при 220 °С; 3 — при 250 °С

Спектральные зависимости, представленные на рисунке, *b*, измерялись после отжига  $CdTe-Cd_xHg_{1-x}Te$  под АО. при температурах 200, 220 и 250 °С; длительность отжига составляла 30 мин. Видно, что с ростом температуры отжига пики смещаются от начального положения, что соответствует изменению (увеличению) содержания ртути и уменьшению содержания кадмия в анализируемом слое варизонной структуры.

Анализ спектров показал, что с ростом температуры отжига концентрация ртути в приповерхностной области растет. Ртуть накапливается в "межузлиях" решетки приповерхностной области эпитаксиального слоя  $Cd_xHg_{1-x}Te$  *n*-типа и в процессе отжига легирует в объем эпитаксиальной пленки, что приводит к конверсии типа проводимости.

мости  $n \rightarrow p$ . С ростом температуры отжига в приповерхностной области  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  уменьшается значение  $x$ , т. е. уменьшается содержание кадмия. В то же время при отжигах при температуре ниже  $220^\circ\text{C}$  изменение концентрации не наблюдалось.

Конверсию  $p$ - $n$ -перехода при отжигах можно объяснить химической диффузией межузельной ртути и заполнением ее вакансий. После заполнения вакансий доноры, присутствующие в материале, становятся основными дефектами, и материал меняет тип проводимости на  $n$ .

В образцах  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$   $n$ -типа после отжига были проведены измерения коэффициента Холла и подвижности электронов. Концентрация электронов оказалась равной  $n = 4 \cdot 10^{14} \div 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , а подвижность  $\mu_e = 2 \cdot 10^5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  при  $77 \text{ К}$ .

Относительно малый уровень концентрации электронов связан с химической реакцией, происходящей между АО и  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  на границе раздела. Слои  $n$ -типа, образовавшиеся при термообработке эпитаксиальных слоев  $p$ - $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  под анодным окислом и электрофизические параметры  $n$ - $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , получаемые отжигом  $p$ -КРТ в насыщенных парах ртути [4], имеют хорошее соответствие между собой. Это свидетельствует об одинаковой природе конверсии типа проводимости с  $p$ -типа на  $n$ -тип в том и другом случае, а именно за счет диффузии ртути в объем кристалла.

## Заключение

Проведенные исследования показали, что применение анодного окисления поверхности эпитаксиального слоя перед термическим отжигом позволяет значительно понизить концентрацию электронов по сравнению с концентрациями, достигаемыми при обычном отжиге, и расширить возможности применения эпитаксиальных слоев для создания фоторезисторов.

## Литература

1. Tregilgas T., Beck T., Gnade B. Type Conversion of (HgCd)Te Induced by the Redistribution of Residual Acceptor Impurities//J. Vac. Sci. Technol. A. 1985. V. 3. № 1. P. 150—152.
2. Belas E., Hoschl P., Mozavec P., Franc J. Influence of Annealing Methods on Electrical Properties of  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ //Proc. Of Sympos. "A<sup>3</sup>B<sup>5</sup> on Non-Stoichiometry in Semiconductors" of the International Conference on Advanced materials ICAM 91/Eds. Bachman K. J. et al. Strasbourg. 1991. P. 81—86.
3. Белас Э., Франц Я., Грил П., Том А., Хешл П., Сумтер Х., Моравец П., Лишка К. Диффузионные длины неосновных носителей тока на  $p$ - $n$ -переходе, полученным ионно-лучевым травлением в  $p$ - $\text{Cd}_{0,8}\text{Hg}_{0,2}\text{Te}$ //Неорганические материалы. 1996. Т. 32. № 8. С. 949—952.
4. Jones G. L., Quelch M. J. T., Capper P., Gosney J. J.// J. Appl. Phys. 1982. V. 53. № 12. P. 9080—9092.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2006 г.

## Influence of annealing on properties of the epitaxial $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ layers with anode oxidation

*E. K. Guseinov, Sh. O. Eminov, A. A. Radzhabli, N. J. Ismailov, T. I. Ibragimov*  
Institute of Physics, Baku, Azerbaijan

*Influence of thermal annealing on properties of a surface of the epitaxial  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  layers is investigated in the work.*

\* \* \*