

## ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ ФОТООТКЛИКА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ .

Ш.О. ЭМИНОВ, Э. К. ГУСЕЙНОВ, А.А. АЛИЕВ, А.А. РАДЖАБЛИ

*Институт Фотозлектроники АН Азербайджана,*

*370141, Баку, ул. Ф. Агаева, 555 квартал*

В работе рассмотрены вопросы методики выращивания варизонных эпитаксиальных слоев  $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) и особенности спектров их фотоответа. Представлено описание оригинального устройства для жидкостной эпитаксии, позволившего получить эпитаксиальные слои с зеркально гладкой поверхностью.

Показано, что в спектрах фотоответа наблюдаются три области максимумов, соответствующих областям варизонной структуры с градиентами ширины запрещенной зоны 640 эВ/см, 80 эВ/см и 2,2 мэВ/см. Поведение спектров фотоответа сильно зависит от величины и направления приложенного электрического поля, что может быть использовано для регулирования спектральной чувствительности ИК-фотоприемников.

Твердые растворы  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , ширина запрещенной зоны которых изменяется с изменением "x", являются базовым материалом для создания фотодетекторов ИК-излучения среднего и дальнего диапазонов спектра.

В последнее время при создании приборов на основе монокристаллов  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  широко применяется планарная технология. При этой технологии монокристаллы подвергаются прецизионной механической обработке, а это неизбежно усложняет технологический процесс и ухудшает физические свойства материала. Эти недостатки устраняются применением эпитаксиальной технологии. Жидкофазная эпитаксия (ЖФЭ) широко используется в технологии соединений  $\text{A}^3\text{B}^5$ , а в последние годы ее применяют и к  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  [1, 5].

В настоящей работе рассмотрены некоторые вопросы методики выращивания варизонных эпитаксиальных слоев (ЭС)  $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) и особенности спектров фотоэффекта этих слоев.

Эпитаксия проводилась в вакуумированной кварцевой ампуле из раствора, содержащего ртуть и теллур с малой добавкой кадмия. Подложками служили пластины монокристаллического  $\text{CdTe}$ , ориентированного в плоскости (111). Подложки механически полировали и травили в растворе 8 %  $\text{Br}$  + 92 %  $\text{HBr}$  для удаления нарушенного слоя.

Общий вид устройства для ЖФЭ [6], использованного в работе, представлен на рис.1. Подложку устанавливали в держателе, состоящем из воронки, размещенной на емкости для расплава, и прижима в форме перевернутого стакана, покрывающего воронку. Между пробкой ампулы и стаканом устанавливали кварцевый столбик, подпирающий пробку ампулы.

После гомогенизации раствора и снижения температуры до заданной печь с ампулой, расположенной в ней вертикально, поворачивали на 180 градусов. При этом раствор-расплав из емкости переливался в стакан и покрывал поверхность подложки. Эпитаксию проводили при температурах 490-520°C при скорости охлаждения 0,01-5 К/мин.

По окончании выращивания печь поворачивали в обратном направлении, при этом остатки раствора сливались с поверхности выращенного эпитаксиального слоя обратно в емкость и после охлаждения ампулы, до ком-

натной температуры пластина с эпитаксиальным слоем извлекалась из ампулы.

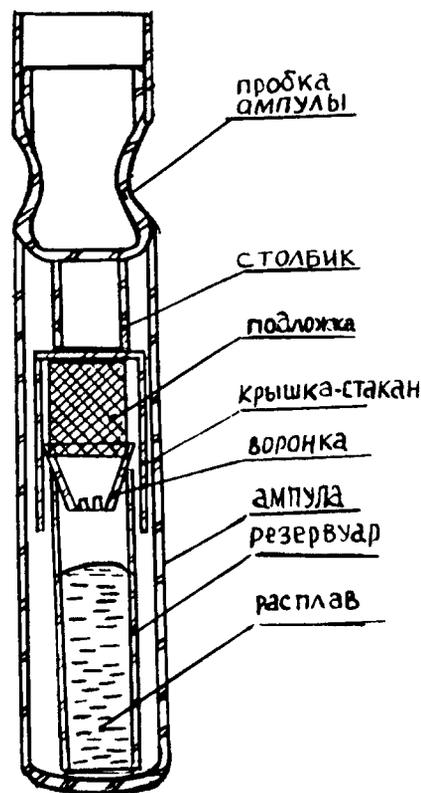


Рис. 1. Общий вид устройства для ЖФЭ.

Выращенные слои имели толщины 20-60 мкм и зеркально гладкую поверхность. Рентгеноструктурный анализ структур, выполненный на установке "DRON-2" показал, что эпитаксиальные слои имели монокристаллическую структуру.

Методом снятия спектра оптического пропускания при послойном стравливании при 300 К [2] был изучен характер распределения кадмия по толщине (z) слоев. На рис.2 представлен типичный профиль распределения кадмия в структурах. Как видно из рисунка, при использованных режимах выращивания на поверхности эпитаксиального слоя  $x \sim 0,15 \pm 0,16$  ( $E_g \sim 0,06$  эВ) и растет по мере приближения к границе раздела  $\text{CdTe-CdHg}_{1-x}\text{Te}$ . Анало-

гичные результаты были получены ранее в работах [1,2]. Кривую зависимости  $x(z)$  можно разбить на три участка с характерными наклонами. Эти участки соответствуют трем участкам варизонной структуры со следующими градиентами  $E_g$ :  $\Delta E_{g_1}$  - 640 эВ/см,  $\Delta E_{g_2}$  - 80 эВ/см,  $\Delta E_{g_3}$  -  $2,2 \cdot 10^{-3}$  эВ/см.

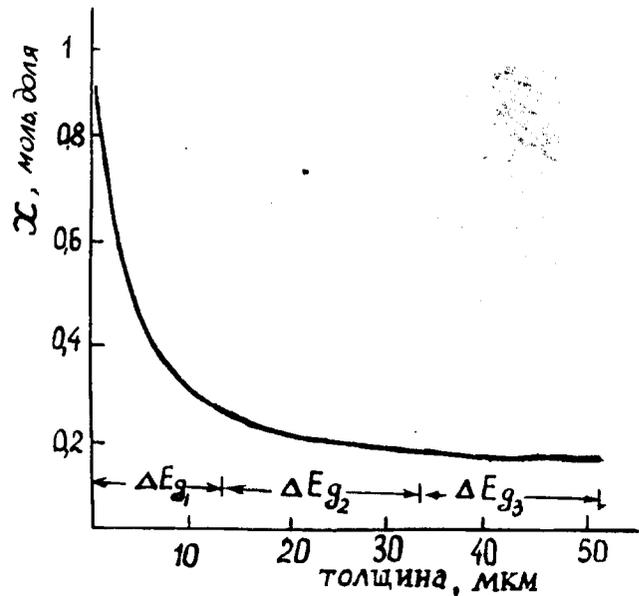


Рис. 2. Типичный профиль распределения кадмия по толщине эпитаксиальных слоев.  $\Delta E_{g_1}$ ,  $\Delta E_{g_2}$ ,  $\Delta E_{g_3}$  - градиенты ширины запрещенной зоны на соответствующих участках варизонной структуры.

Измерения спектров фоточувствительности проводили в диапазоне температур 77-775К и длин волн 2-14 мкм при электрических полях 0-1,5 В/см.

Омические ( $In$ ) контакты наносили на эпитаксиальную часть структуры CdTe-CdHgTe. 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.

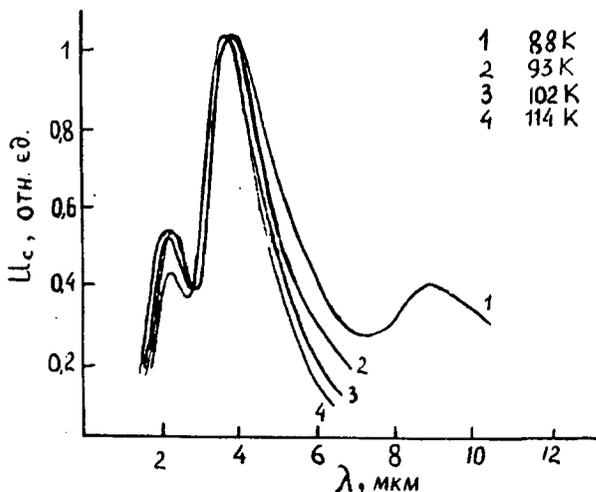


Рис. 3. Спектральная зависимость фототока варизонной структуры при разных температурах и нулевом смещении.

На рис.3 представлены спектральные зависимости фототока варизонных структур при нулевом смещении и при разных температурах, а на рис.4 представлен спектр фоточувствительности при разных электрических полях (при 90 К).

Как видно из рис.3 на спектре фототока при нулевом смещении имеются три пика в области  $\lambda=2,3-2,5$  мкм,  $\lambda=4-4,5$  мкм и  $\lambda=7-10$  мкм. Происхождение каждого из этих пиков на наш взгляд, связано с наличием в запрещенной зоне варизонной структуры указанных выше градиентов  $\Delta E_g$ . Наименьший из этих градиентов вырождается уже при 93 К, поэтому третий пик, наблюдаемый при 88 К, с ростом температуры исчезает.

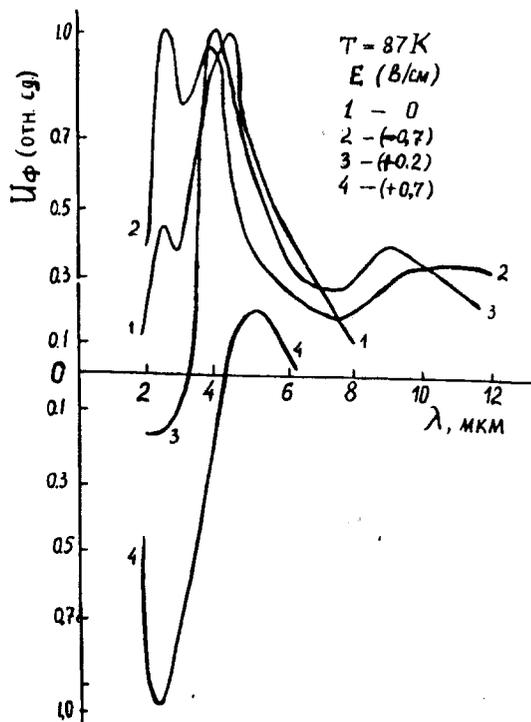


Рис. 4. Спектральная зависимость фототока варизонной структуры при разных электрических полях ( $T=87$  К).

Как видно из рис.4, приложенное электрическое поле заметно влияет на спектральную зависимость. Так, при полях 100-750 мВ/см пик в области  $\lambda=2,3-2,5$  мкм с ростом поля постепенно уменьшается, величина фототока достигает нулевого значения, а затем его знак меняется на противоположный. Второй и третий пики с ростом поля также уменьшаются и постепенно исчезают ( $E \sim 0,7-2,1$  В/см). Объяснить полученные результаты можно следующим образом. Спектральную зависимость фототока можно рассчитать по формуле

$$J_{\phi} = \int_0^z g(z) \exp(-z/L) dz,$$

где  $g(z)$  - функция генерации в слое толщиной  $z$ ,  $L(z)$  - диффузионно-дрейфовая длина. В нашем случае весь диапазон измерений охватывается суммой функций генерации  $g(z)$  на трех участках структуры с соответствующими градиентами ширины запрещенной зоны. В тоже вре-

мя, существенное влияние на форму спектра оказывает и зависимость  $L(z)$ , которая также неравномерна, и, в свою очередь, зависит от приложенного электрического поля. Последним и определяется, на наш взгляд, существенная зависимость спектра фотоотклика от величины и направления электрического поля.

Полученные результаты показывают, что в структурах, аналогичных исследованным в работе, можно существенно управлять формой спектра фоточувствительности и, таким образом, создавать фотоприемники с регулируемой спектральной чувствительностью.

- [1] C. C. Wang, S. H. Shin, M. Chu, M. Lanir, and A. H. B. Vanderwyck. J.Elektrochem. Soc. Solid, State Science and Technology, 127 ph. 175-178, jan. 1980.
- [2] M.Chu, A.H.B. Vanderwyck and D.T.Cheung. Appl. Phys. Lett., 37(5) ph. 486-488 Sep. 1980.
- [3] J.G. Fleming and D.A. Stevenson. I. Electrochem. Soc. 1987, v. 134, № 5, ph. 1225-1227.
- [4] E. Sand, D. Levy and Y. Nemirovsky. Appl. Phys. Lett. 46(5) March, 1985, ph. 501-503.
- [5] Ш. А. Мирсагатов, Б. У. Айтбаев, В. М. Рубинов. ФТП, 1996, т. 30, с. 550-557.
- [6] Э.К. Гусейнов, Д. И. Гусейнов, А. А. Раджабли и Ш. О. Эминов. Автор. Свид. СССР № 1707090, 5, 12, 1989.

**Ş.О. Eminov, E.K. Hüseyinov, Ə.Ə. Əliyev, Ə.Ə. Rəcəbli**

## **EPITAKSIAL n-Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te TƏBƏQƏLƏRİNİN FOTOCAYAB SPEKTRLƏRİNİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ**

Məqələdə n-Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te ( $0 \leq x \leq 1$ ) varizon epitaksial təbəqələrinin yetişdirmə üsulları və təbəqələrin fotehəssəşliq spektrlərinin xüsusiyyətlərinə baxılmışdır. Güzgü hamar səthli epitaksial təbəqələrin alınmasına imkan yaradan maye faza epitaksiyası üçün yeni qurğunun təsviri verilmişdir.

Göstərilmişdir ki, fotehəssəşliq spektrində üç maksimum bölgəsi müşahidə olunur. Bu maksimumlar varizon strukturanın qadağan olunmuş zonasının 640 eV/sm, 80 eV/sm və 2,2 meV/sm qradientli bölgələrinə uyğundurlar. Fotehəssəşliq spektrlərinin xassələri təbiiq olunmuş elektrik sahəsinin qiymət və istiqamətindən güclü dərəcədə asılıdır və bu da fotoqəbuledicilərin spektral hisetməsinin nizamlanması üçün istifadə oluna bilər.

**Sh. O. Eminov, E.K. Guseynov, A.A. Aliev, A.A. Radjabli**

## **CHARACTERISTIC PROPERTIES OF EPITAXIAL PHOTOCALLING SPECTRUM n-Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te.**

Range of problems of methods of growth of varizone epitaxial layers of n-Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te ( $0 \leq x \leq 1$ ) and characteristic properties of their photocalling spectrum are presented. The original device for liquid phase epitaxy (LPE) make a possible to prepared of epitaxial layers with mirror smooth surface is described.

It is shown that wavelength regions, where maximums of photocalling spectrum is observed is in agreement with regions of varizone structure where gradient of energy band is 640 eV/ sm, 80 eV/ sm and 2,2 meV/ sm. The behavior of the photocalling spectrum strongly depends on magnitude and direction of applied electrical Held and this fact can use for regulating of spectral sensitivity of IR – photoreceivers.