

УДК 621.373

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗОТИПНОЙ СТРУКТУРЫ  $n\text{InSb}-n\text{PbTe}-n\text{CdTe}$ , ИЗГОТОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ЛАЗЕРНО-ИМПУЛЬСНОГО ОСАЖДЕНИЯ**

К.Э. АВДЖЯН<sup>1</sup>, Г.Г. ВАРДАНЯН<sup>1</sup>,  
Р.П. ГРИГОРЯН<sup>2</sup>, А.М. ХАЧАТРЯН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт радиофизики и электроники НАН Армении, Аштарак

<sup>2</sup>Ереванский государственный университет, Армения

(Поступила в редакцию 5 декабря 2007 г.)

Методом вакуумного лазерно-импульсного осаждения изготовлена изотипная структура  $n\text{InSb}-n\text{PbTe}-n\text{CdTe}$ . Исследована спектральная зависимость фотоотклика полученной структуры при температуре 120 К. На кривой спектральной зависимости наблюдается изменение знака фотоотклика как при нулевом смещении, так и при приложенных внешних напряжениях. Дано качественное объяснение этому явлению.

### 1. Введение

Одним из важных отличий полупроводниковых устройств на основе изотипных гетеропереходов (ГП) по сравнению с  $p-n$  ГП является то, что в них в токопередаче играют роль только основные носители. В них отсутствует эффект накопления заряда и, как следствие, повышается быстродействие. Однако, это справедливо и для технологически проще изготавливаемых переходов металл-полупроводник (диоды Шоттки). Поэтому примеры удачных применений изотипных ГП не так уж многочисленны. Следует отметить, что лишь на изотипных ГП, имеющих обедненные носителями области по обе стороны гетерограницы, в которых наблюдается смена знака фотоотклика, и были предложены по созданию полупроводникового прибора, который помимо фотоприемного устройства может работать и как нуль-частотомер [1,2]. Полупроводниковые же гетероструктуры на основе антимонида индия (InSb), теллуридов свинца (PbTe) и кадмия (CdTe) привлекают внимание в связи с созданием фотоприемников, перекрывающих как полосы поглощения большинства газов, имеющихся в атмосфере, так и включающих в себя основные атмосферные "окна" в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн. В связи с вышесказанным становится актуальным получение и исследование изотипных гетероструктур на основе указанных материалов. В данной работе приведены результаты исследований фотоэлектрических свойств изотипной структуры  $n\text{InSb}-n\text{PbTe}-n\text{CdTe}$ , изготовленной методом вакуумного лазерно-импульсного осаждения.

## 2. Эксперимент

Установка лазерно-импульсного осаждения состояла из лазера (стекло с  $\text{Nd}^{3+}$ ), работающего в режиме модулированной добротности (длительность импульса 30 нс, длина волны излучения 1,06 мкм, интенсивность в зоне облучения мишени  $\sim 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) и вакуумной камеры с остаточным давлением паров  $2(10^{-6}$  мм рт.ст. В качестве подложек для синтеза полупроводниковой гетероструктуры  $\text{lInSb-lPbTe-lCdTe}$  были использованы хорошо обработанные пластины из  $\text{lInSb}$  ( $n = 3.1 \times 10^{14}$  см<sup>-3</sup>) толщиной 300 мкм. Тонкие (200 нм) пленки соединений PbTe и CdTe были получены при температуре подложки 550 К поочередным нанесением слоев из элементов, входящих в состав этих соединений.

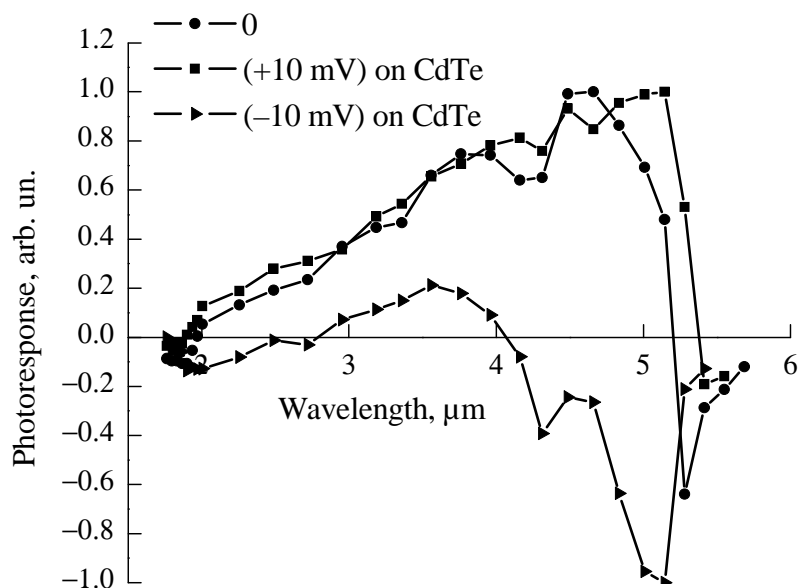


Рис.1. Спектральная зависимость фотоотклика изотипной структуры  $\text{lInSb-lPbTe-lCdTe}$ .

Известно [3], что при лазерном смешивании материалов, в зависимости от режимов осаждения, полная взаимная диффузия с образованием новой фазы может достигаться при толщинах в несколько нанометров. Исходя из этого и из того, что стехиометричные пленки получаются при равных количествах осаждаемых элементов, поочередное осаждение проведено в тех технологических режимах, где за один испаряющий импульс осаждаются примерно одинаковые ( $\sim 1,5\text{--}2$  нм) количества Pb, Cd и Te. Найдены соответствующие интенсивности испаряющих излучений:  $q_{\text{Pb}} \approx 1.1 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>,  $q_{\text{Te}} \approx 0.7 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>,  $q_{\text{Cd}} \approx 1 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>. Металлические контакты к структуре  $\text{lInSb-lPbTe-lCdTe}$  получены вакуумным термическим осаждением индия. Изготовленные фотодиодные структуры помещались в оптический криостат (модель VPF100) для спектральных измерений. Спектральная зависимость фотоотклика (структура освещалась перпендикулярно к переходу со стороны широкозонного CdTe) получена на спектрофотометре ИКС-21 при температуре

120 К и при разных внешних напряжениях, подаваемых на фотодиодные структуры (рис.1).

### 3. Результаты исследований и их обсуждение

Как видно из рис.1, полученные гетероструктуры фоточувствительны в диапазоне 1–6 мкм, и на кривых спектральной зависимости наблюдается смена знака фотоотклика при определенной длине волны, которая зависит от приложенного внешнего напряжения. Очевидно, что это является результатом генерации излучением в данной структуре фототоков противоположных направлений. Следует отметить, что подобное явление неоднократно наблюдалось на изотипных и рассогласованных по кристаллической решетке гетеропереходах, имеющих обедненные носителями области по обе стороны гетерограницы [1,2]. Рассмотренная в [2] изотипная структура  $n\text{InSb}-l\text{GaAs}$  является классическим примером «неидеального» ГП. Для этих полупроводников рассчитанное число поверхностных состояний на границе раздела, равное  $N_{ss} \approx 3 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$ , слишком велико, и физические свойства в основном определяются границей раздела. Из-за значительного заполнения набора состояний, которое придает поверхности гетерограницы металлический характер, ГП  $n\text{InSb}-l\text{GaAs}$  в [2] представляется как состоящий из трех отдельных переходов: барьер Шоттки между первым полупроводником InSb и его собственной металлоподобной поверхностью, барьер Шоттки между металлоподобной поверхностью второго полупроводника GaAs и им самим и металлический контакт между двумя плоскостями поверхностных состояний. Фотоэлектрические свойства такого ГП анализируются с помощью соотношений, связывающих ток и напряжение двух диодов Шоттки, включенных навстречу друг другу (подробности см. в [2]). Смена знака фотоотклика наблюдается и в барьерных фотодиодных структурах на основе  $l\text{Si}$  [4]. Объяснение этому явлению авторами дано без привлечения поверхностных состояний при рассмотрении модели двух диодов Шоттки, включенных противоположно.

В нашем случае изготовленная изотипная структура  $n\text{InSb}-n\text{PbTe}-l\text{CdTe}$  имеет две гетерограницы с малым несоответствием решеток  $\Delta a \sim 0,3\%$  ( $\Delta a = (a_1 - a_2) / a_1$ ), где  $a_1$  и  $a_2$  – параметры решеток контактирующих материалов. Рассчитанное же число поверхностных состояний на границах раздела составляет  $N_{ss} \approx 3 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ , что мало влияет на токоперенос в данной структуре. Объяснение смены знака фотоотклика может быть дано, если структуру  $n\text{InSb}-n\text{PbTe}-l\text{CdTe}$  рассмотреть как отдельные гетероструктуры  $n\text{InSb}-n\text{PbTe}$  и  $n\text{PbTe}-l\text{CdTe}$ , включенные последовательно. При этом, если имеется барьер со стороны  $n\text{InSb}$ , то в данной структуре возможно образование генерируемых излучением фототоков противоположных направлений. Так как электронные сродства InSb и PbTe мало отличаются, то образование барьера возможно при разнице работ выхода этих материалов. Выравнивание фототоков противоположных направлений происходит при определенных длинах волн, зависящих уже от свойств создающих структуру материалов (степень легирования, электронное сродство, ширина запрещенных зон). На рис.2 представлена возможная зонная энергетическая диаграмма, объясняющая полученные нами результаты по фотоэлектрическим измерениям. Детальные теоретические расчеты и предложения по применению изготовленной структуры будут сделаны в последующей работе.

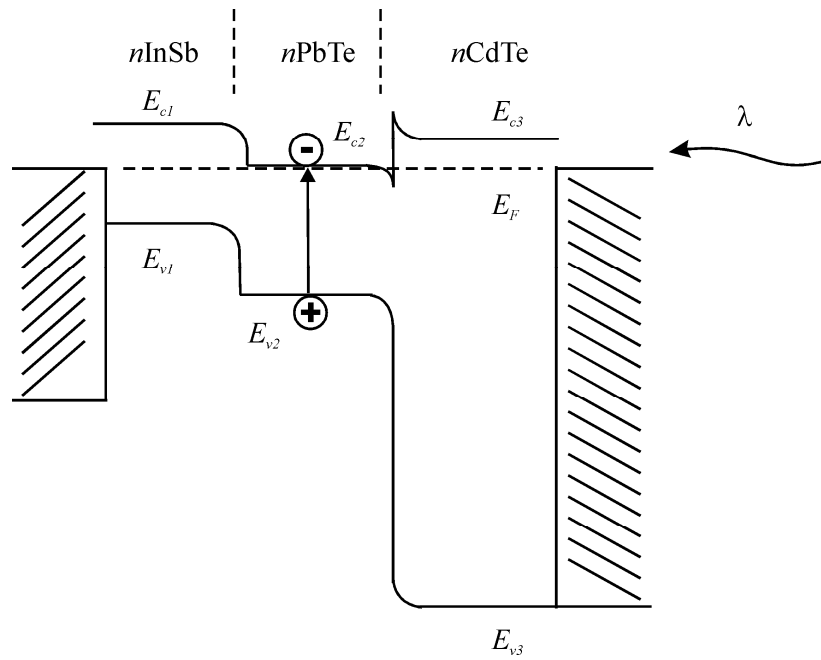


Рис.2. Возможная зонная энергетическая диаграмма структуры  $n\text{InSb}-n\text{PbTe}-n\text{CdTe}$ .

#### 4. Заключение

Методом вакуумного лазерно-импульсного осаждения синтезирована изотипная полупроводниковая структура  $n\text{InSb}-n\text{PbTe}-n\text{CdTe}$ . Установлено, что полученная структура фоточувствительна в диапазоне 1–6 мкм, и на кривой спектральной зависимости наблюдается изменение знака фотоотклика. Объяснение смены знака фотоотклика может быть дано посредством рассмотрения структуры  $n\text{InSb}-n\text{PbTe}-n\text{CdTe}$  как отдельных гетероструктур  $n\text{InSb}-n\text{PbTe}$  и  $n\text{PbTe}-n\text{CdTe}$ , включенных последовательно.

Работа выполнена в рамках государственной целевой программы Республики Армения “Полупроводниковая наноэлектроника”.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Б.Л.Шарма, Р.К.Пурохит.** Полупроводниковые гетеропереходы. М. Сов. радио, 1979.
2. **A.G.Alexanian, K.E.Avjian, R.K.Kazarian, L.A.Matevosian.** Inter. Journal of The IR and MM Waves, **18**, 139 (1997).
3. **К.Э.Авджян, А.Г.Алексян, Р.К.Казарян, Л.А.Матевосян, Г.Э.Мирзабекян.** Квантовая электроника, **15**, 181 (1988). **K.E.Avdzhyan, A.G.Aleksanyan, R.K.Kazaryan, L.A.Matevosyan, G.E.Mirzabekyan.** Soviet Journal of Quantum Electronics, **18**, 117 (1988).
4. **S.Kh.Khudaverdyan, J.G.Dokholyan, A.A.Kocharyan, A.M.Kechiyantz, D.S.Khudaverdyan.** Solid-State Electronics, **49**, 634 (2005).

### ՎԱԿՈՒՈՒՄԱՅԻՆ ԼԱԶԵՐԱԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ՓՈՇԵՆՍՏԵՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ ՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾ $n\text{InSb}-m\text{PbTe}-n\text{CdTe}$ ԻԶՈՏԻՊ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՖՈՏՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Կ.Է. ԱՎԶՅԱՆ, Գ.Հ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ռ.Պ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ա.Մ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

Վակուումային լազերաիմպուլսային փոշենստեցման մեթոդով պատրաստված է  $n\text{InSb}-m\text{PbTe}-n\text{CdTe}$  իզոտիպ անցում: Հետազոտված է ստացված կառուցվածքի ֆոտոարձագանքը 120 K ջերմաստիճանում: Սպեկտրալ կախվածության վրա դիտվել է ֆոտոարձագանքի նշանի փոփոխություն ինչպես զրոյական շեղման դեպքում, այնպես էլ կիրառված արտաքին լարման դեպքում: Տրված է այդ երևույթի որակական բացատրությունը:

### PHOTOELECTRICAL PROPERTIES OF $n\text{InSb}-m\text{PbTe}-n\text{CdTe}$ ISOTYPE STRUCTURE PREPARED BY VACUUM PULSED-LASER DEPOSITION TECHNIQUE

K.E. AVJYAN, G.H. VARDANYAN, R.P. GRIGORYAN, A.M. KHACHATRYAN

An  $n\text{InSb}-m\text{PbTe}-n\text{CdTe}$  isotype junction was prepared by vacuum pulsed-laser deposition technique. The spectral response of such structure was investigated at the temperature 120 K. Change of the sign of spectral response was observed in the spectral dependence both at zero bias and at outer applied voltages. A qualitative explanation of this phenomenon is given.