

## БИПОЛЯРНЫЕ КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ $\text{InSe} - \text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$

А.Г.КЯЗЫМ-ЗАДЕ, В.В.ДАДАШОВА

*Бакинский государственный университет  
AZ 1145 Баку, ул.З.Халилова 23*

В работе приводятся результаты исследования биполярных координатно-чувствительных фотоэлементов на основе гетеропереходов  $\text{InSe}-\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$ , изготовленных методом посадки на оптический контакт. Показано, что при локальном освещении гетероперехода световым зондом со стороны верхнего широкозонного слоя  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  вдоль этого же слоя возникает продольное фотонапряжение, величина которого зависит не только от интенсивности и частоты света, а также и от положения светового зонда. Исследованы зависимости продольного фотонапряжения от интенсивности, частоты и от положения светового зонда при различных температурах и при различных составах X твердого раствора  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$ .

Известно, что при освещении р-п перехода световым зондом с частотой, соответствующей области поглощения, вдоль базы возникает продольное фотонапряжение, величина и знак которого зависят от положения светового зонда. Это позволяет изготовить координатно-чувствительные фотоэлементы на основе полупроводниковых фотодиодов с р-п переходом. Принцип работы таких фотоэлементов описан в [1]. Возникновение продольного фотонапряжения связано с тем, что при освещении р-п перехода узким световым зондом возникает продольный фототок и, соответственно, падение напряжения вдоль высокоомной базы, суммарное значение и знак которого зависят от положения светового зонда. Поскольку величина фототока и соответственно продольное фотонапряжение зависят от тока насыщения перехода, то большая фоточувствительность наблюдается лишь в фотодиодах, изготовленных на основе узкозонных полупроводников. В диодах, изготовленных на основе относительно широкозонных полупроводников вследствие низкой плотности тока насыщения продольное фотонапряжение вдоль базы практически не возникает. Кроме этого, заметная фоточувствительность в указанных элементах наблюдается лишь в узком спектральном диапазоне вблизи края поглощения, т.к. при  $h\nu \gg E_g$  свет поглощается, в основном, в приповерхностной области верхнего слоя, и возникающие фотоносители не доходят до области перехода. Однако, как показано в [2], указанные трудности могут быть устранены при использовании полупроводниковых гетеропереходов (ГП) вместо р-п перехода. Дело в том, что в гетеропереходах генерация электронно-дырочных пар при освещении со стороны широкозонного полупроводника происходит непосредственно в области перехода. Если структура энергетических зон не противодействует переходу неосновных фотоносителей через границу раздела фаз, то при этом происходит полное разделение созданных светом электронно-дырочных пар. Поэтому возникает большой ток через запирающий слой и, соответственно, большое продольное фотонапряжение. Кроме этого, при использовании ГП становится возможным расширение спектральной области фоточувствительности элемента вследствие «эффекта окна».

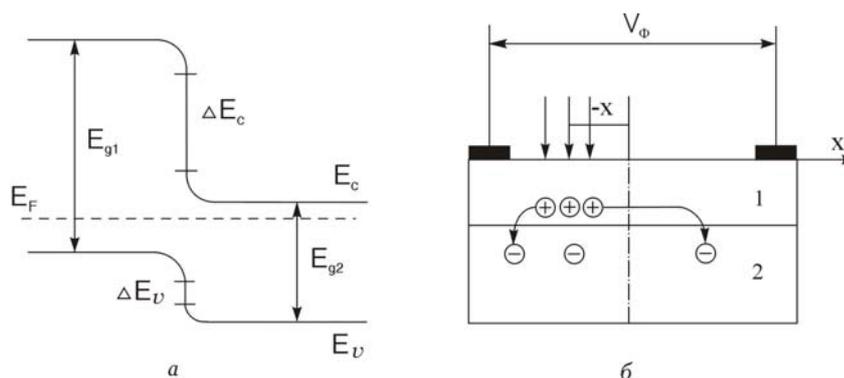
Ранее в работах [3,4] нами были исследованы координатно-чувствительные фотоэлементы на основе гетеропереходов  $\text{InSe} - \text{GaSe}$  и  $\text{InSe} - \text{TlGaSe}_2$ . Было показано, что энергетические зонные диаграммы указанных ГП способствуют эффективному разделению неравновесных фотоносителей полем ГП, вследствие

чего наблюдается высокая фоточувствительность в схеме, использующей «эффект окна». С другой стороны использование широкозонного материала GaSe и TlGaSe<sub>2</sub> в качестве верхнего материала ГП обеспечивает как высокую фоточувствительность в широком спектральном диапазоне, так и большое сопротивление этой части перехода, где происходит падение продольного фотонапряжения. В данной работе приводятся некоторые результаты исследования биполярных координатно-чувствительных фотоэлементов на основе ГП InSe – GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>, изготовленных методом посадки на оптический контакт. Интерес к исследованию этой системы вызван тем, что использование в качестве верхнего слоя ГП монокристаллов твердого раствора GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> позволяет расширить область спектральной чувствительности фотоэлемента в сторону видимой части спектра. В то же время с ростом концентрации атомов серы в твердых растворах увеличивается удельное сопротивление слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>, с которой снимается продольное фотонапряжение.

ГП в системе InSe–GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> были изготовлены методом посадки на оптический контакт. Возможность изготовления ГП на основе слоистых кристаллов типа A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> методом посадки на оптический контакт ранее была продемонстрирована в ряде работ (см. напр., [5]). Было показано, что указанный метод изготовления ГП не требует совместимости решеточных и термических параметров контактируемых материалов и исключает образование дополнительных пограничных состояний на границе раздела фаз. Вследствие этого граница раздела фаз ГП, изготовленных методом посадки на оптический контакт, является достаточно совершенной, и их энергетические зонные диаграммы удовлетворительно соответствуют идеальной модели Андерсона, в которой не учитывается наличие пограничных состояний.

Для изготовления ГП в системе InSe–GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> были использованы плоскопараллельные пластины p - GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> и n - InSe с толщиной 50÷200 мкм, полученные методом медленного охлаждения при постоянном градиенте температур. Поверхностные размеры ГП составляли 2×3÷5мм<sup>2</sup>. Концентрация носителей тока составляли 10<sup>12÷13</sup>см<sup>-3</sup> для GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> и 10<sup>14÷15</sup>см<sup>-3</sup> для InSe. Для измерения фотонапряжения в продольном режиме поверхность ГП со стороны GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> была снабжена двумя омическими контактами. Омические контакты были изготовлены вплавлением индия. Измерения проводились при температуре 300К и выше с использованием светового зонда шириной 0,2÷0,5мкм, изготовленного на базе микроскопа. Положение светового зонда менялось микрометрическим винтом.

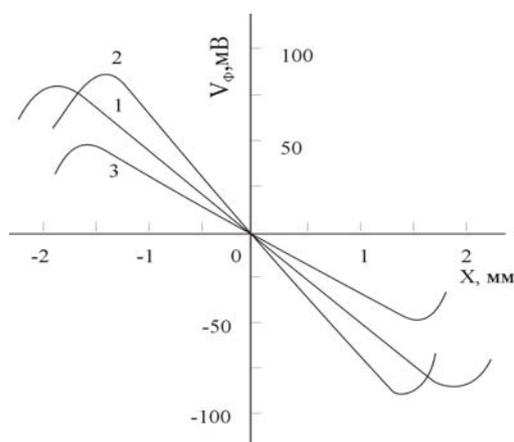
Исследование электрических и фотоэлектрических свойств показало, что граница раздела изученных ГП является достаточно совершенной и особенности энергетической зонной диаграммы способствуют эффективному разделению неравновесных носителей контактным полем ГП. Вследствие этого наблюдается высокая фоточувствительность в схеме, использующей "эффект окна", когда ГП освещается со стороны широкозонного слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. Установлено, что при этом спектральные распределения фоточувствительности исследованных ГП охватывают широкий диапазон длин волн, заключенных между ширинами запрещенных зон контактирующих материалов. Красная граница спектра соответствует ширине запрещенной зоны монокристаллов InSe (E<sub>g</sub>≈1,2эВ) для непрямых переходов, а коротковолновая граница спектра ограничивается областью сильного поглощения монокристаллов GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. При этом свет поглощается на передней поверхности монокристаллов GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>, и из-за малой диффузионной длины неосновных носителей в слоистых кристаллах они не доходят до области перехода и не происходит разделения фотоносителей между фазами.



**Рис.1.**

Энергетическая зонная диаграмма (а) и схема движения неравновесных носителей заряда (б) при освещении структуры световым зондом. 1 – p- GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>; 2 – n- InSe.

Как уже отмечалось, основной характеристикой координатно-чувствительных фотоэлементов является зависимость продольного фотонапряжения от положения светового зонда. На Рис.1 показана энергетическая зонная диаграмма и схематическое изображение исследованной структуры, а также схема движения неравновесных носителей заряда при освещении структуры световым зондом. Как было установлено экспериментально, при освещении структуры световым зондом на расстоянии  $x$  от центра возникает продольное фотонапряжение  $V_\phi$  между контактами к базе, величина и знак которого зависят от  $x$ . При этом, согласно [2], величина  $V_\phi$  определяется соотношением  $V_\phi = 2i_y \rho x$ , где  $i_y = i_1 + i_2 = i_0(\exp(e\phi/\beta kT) - 1)$  - ток утечки через заборный слой,  $\rho$  - сопротивление слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> на единицу длины,  $i_0$  - ток насыщения,  $\phi$  - величина вентильной фотоэдс при данном уровне освещения,  $\beta$  - коэффициент неидеальности перехода.

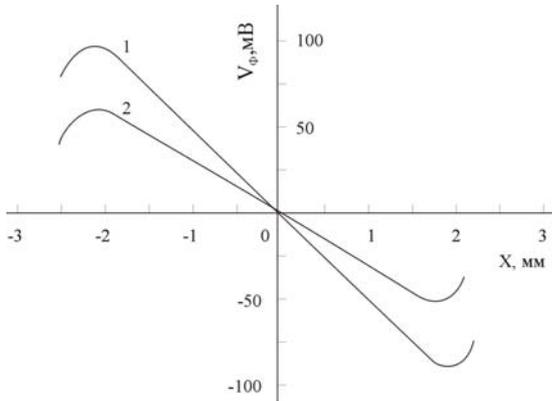


**Рис. 2.**

Зависимости продольного фотонапряжения от координаты  $x$  в ГП InSe–GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> при 300K: 1– $x=0$ ; 2– $x=0,3$ ; 3– $x=0,6$ .

На Рис.2 показаны зависимости  $V_\phi$  от координаты  $x$  при различных значениях состава  $X$  твердого раствора GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> при 300K. Как видно из рисунка, во всех исследованных структурах продольное фотонапряжение меняется линейно с изменением координаты вплоть до области контактов и меняет свой знак при переходе светового зонда через середину базы. Величина  $V_\phi$  растет с ростом интенсивности света и выходит на насыщение при относительно больших интенсивностях. Однако, максимальное значение  $V_\phi$  во всех структурах меньше, чем величины вентильной фотоэдс, измеренной при данном уровне освещения. При одинаковой интенсивности света продольное фотонапряжение увеличивается с

ростом концентрации атомов серы в области  $X \leq 0,3$  и получает максимальное значение при  $X \approx 0,3$ . По-видимому это связано ростом сопротивления слоя  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  с увеличением концентрации  $X$ . С другой стороны, как показано в [6], при  $X \approx 0,3$  энергетический разрыв валентной зоны на границе раздела фаз получает значение  $\Delta E_v \approx 0$  (как это имеет место в ГП  $\text{GaAs} - \text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  [2]), что способствует более эффективному разделению неравновесных носителей тока. При  $X > 0,3$  на границе раздела фаз появляется энергетический пик в валентной зоне, который затрудняет разделению носителей тока полем ГП, поэтому величина  $V_\phi$  уменьшается. Измерения фоточувствительности при повышенных температурах



показали, что линейность зависимости  $V_\phi$  от координаты  $x$  сохраняется, а величина фоточувствительности уменьшается с ростом температуры. Это более отчетливо видно из Рис.3, где представлены зависимости  $V_\phi$  от координаты  $x$  при двух температурах для ГП  $\text{InSe-GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  при  $X=0,3$ .

**Рис.3.**

Зависимости продольного фотонапряжения от координаты  $x$  в ГП  $\text{InSe-GaS}_{0,3}\text{Se}_{0,7}$ , 1- $T=300\text{K}$ ; 2- $T=352\text{K}$ .

Полученные в работе результаты свидетельствуют о возможности расширения спектральной области чувствительности биполярных координатно-чувствительных фотоэлементов на основе ГП  $\text{InSe-GaSe}$  [3] с заменой  $\text{GaSe}$  монокристаллами твердых растворов  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$ .

1. И.В.Викулин, В.И.Стафеев, *Физика полупроводниковых приборов. Советское радио, М.*, (1980) 296.
2. Ж.И.Алфёров, В.И.Андреев, Е.Л.Портной, И.И.Протосов, *ФТП*, **3** (1969) 1324.
3. А.Г.Кязым-заде, И.С.Баукин, Я.А.Байрамов, В.И.Тагиров, *ДАН Азерб.ССР*, **43** (1987) 30.
4. А.Г.Кязым-заде, А.З.Абасова, Л.Г.Гасанова, *Тез.докл.XI Междун. Конференции по тройным и многокомпонентным соединениям, Салфорд*, (1997) 2110; *Tern.and Mult.comp.*, **152** 959.
5. А.Г.Кязым-заде, Р.Н.Мехтиева, В.И.Тагиров, Материалы III Всесоюзн. конф.: «Физические процессы в полупроводниковых гетероструктурах», Одесса, (1982) докл. 1-9.
6. И.Гимпанова, А.Г.Кязым-заде, В.М.Салманов, В.И.Тагиров, *Acta Physica Universitatus Commenianaе, Bratislava*, **24** (1984) 27.

## **InSe – GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> HETEROKEÇİDLƏRİ ƏSASINDA KOORDİNATA-HƏSSAS BİPOLYAR FOTOELEMENTLƏR**

**A.H.KAZIMZADƏ, V.V.DADAŞOVA**

İşdə optik kontakt üsulu ilə hazırlanmış  $\text{InSe} - \text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  heterokeçidləri əsasında kordinata-həssas bipoляр fotoelementlərin tədqiqindən alınan bəzi nəticələr verilmişdir. Göstərilmişdir ki, heterokeçidi üst enlizolaqlı  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  tərəfdən ensiz işıq zondı ilə işıqlandırdıqda bu təbəqə boyunca qiyməti yalnız işığın intensivliyindən və tezliyindən deyil, həmçinin işıq zondunun vəziyyətindən asılı olan uzununa fotogərginlik yaranır. Müxtəlif temperaturlarda və  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  bərk məhlullarının müxtəlif  $X$  tərkiblərində uzununa fotokeçiriciliyin işığın intensivliyindən, tezliyindən və işıq zondunun vəziyyətindən asılılığı tədqiq edilmişdir.

**BIPOLAR COORDINATE – SENSITIVE PHOTOELEMENTS  
ON THE BASE OF InSe – GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> HETEROJUNCTIONS**

**A.G.KYAZYM-ZADE, V.V.DADASHOVA**

Some results of investigation of bipolar coordinate-sensitive photoelements on the basis of InSe-GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> heterojunctions, manufactured by the optical contact method, have been reported. It was shown that at local illumination of heterojunctions by light probe from the side of wide-bandgap layers of GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>, arises the longitudinal photovoltage along the same layer, which value depends not only on intensity and frequency of light, also on the situation of light probe. The dependences of a longitudinal photovoltage on intensity, frequency and situation of light probe were investigated at various temperatures and at various values of composition x of GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> solid solutions.

Редактор: Дж.Абдинов