

## ПРОДОЛЬНАЯ ФОТОПРОВОДИМОСТЬ В ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ

**InSe - GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>**

**А.Г.КЯЗЫМ-ЗАДЕ, Э.Т.МУРСАЛОВ, В.М.САЛМАНОВ**

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

В работе исследованы фотоэлектрические свойства сэндвич фоторезисторов на основе одиночных гетеропереходов (ГП) InSe-GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> ( $X \leq 0,3$ ), изготовленных методом посадки на оптический контакт. Фотопроводимость в продольном режиме была измерена с помощью контактов, нанесенных на поверхность слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. Показано, что спектр fotocувствительности структуры в продольном режиме измерения при освещении со стороны GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> охватывает широкий диапазон длин волн, соответствующий области поглощения света монокристаллами InSe и GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. Величина фотопроводимости в области поглощения света монокристаллами InSe управляется варьированием толщины слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> и прикладыванием поперечного смещения к гетеропереходу в пропускном направлении. Предпола

гается, что появление fotocувствительности за краем поглощения монокристаллов GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> обусловлено модуляцией толщины слоя объемного заряда инжектированными из InSe фотодырками, а при наличии смещения структура представляет собой параллельное соединение фотоспротивлений из InSe и GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>.

В работе [1,2] было показано, что в многослойных полупроводниковых структурах с тонкими чередующимися слоями разного типа проводимости fotocувствительность в продольном режиме измерения приближается к fotocувствительности фотоспротивлений на основе собственного полупроводника. При этом слои считаются настолько тонкими, чтобы структура была насквозь пронизана электрическим полем р-п перехода. При освещении структуры собственным светом неравновесные электроны и дырки пространственно разделяются полем р-п перехода, вследствие чего время жизни фотоносителей сильно возрастает по сравнению с однородным полупроводником. Далее в [3] было показано, что условия, необходимые для получения высокой пороговой fotocувствительности, могут реализоваться и в сэндвич фоторезисторах на основе одиночных гетеропереходов (ГП). В отличие от обычных р-п переходов при этом становится возможным провести измерения в режиме «эффекта окна», что позволяет расширить область спектральной чувствительности фоторезистора. В то же время для получения большой fotocувствительности толщина верхнего широкозонного и относительно высокоомного слоя ГП, в котором формируется рекомбинационный барьер и по которому осуществляется проводимость, должна быть столь тонкой, чтобы он был насквозь пронизан встроенным электрическим полем ГП.

В [4] были исследованы фотоэлектрические свойства сэндвич фоторезисторов на основе одиночных ГП InSe-GaSe, изготовленных методом посадки на оптический контакт. Было показано, что спектр fotocувствительности ГП в продольном режиме измерения при освещении со стороны верхнего слоя GaSe, на которой нанесены токовые контакты, охватывает широкий диапазон длин волн, соответствующий области поглощения света монокристаллами InSe и GaSe. Причем величина фотопроводимости в области поглощения света монокристаллами InSe управляется варьированием толщины слоя GaSe и прикладыванием поперечного смещения к ГП в пропускном направлении. Предполагается, что появление fotocувствительности за краем поглощения монокристаллов GaSe обусловлено модуляцией толщины слоя объемного заряда

инжектированными из InSe фотодырками, а при наличии смещения в пропускном направлении ГП представляет собой параллельное соединение фотосопротивлений из InSe и GaSe.

В данной работе приводятся некоторые результаты исследования продольной фотопроводимости в сэндвич фоторезисторах на основе одиночных ГП InSe - GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. Использование в качестве верхнего слоя ГП монокристаллов твердых растворов GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> позволяет расширить область спектральной чувствительности ГП в продольном режиме измерения. С другой стороны, благодаря слабости межслойных связей достаточно тонкие плоскопараллельные слои InSe и GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> легко отщепляются от крупных монокристаллов и столь же легко прилипают друг к другу, что позволяет изготовить ГП на их основе методом посадки на оптический контакт.

Некоторые электрические и фотоэлектрические свойства ГП InSe - GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>, изготовленных методом посадки на оптический контакт, ранее были исследованы в [5-7]. В частности, было показано, что ГП, изготовленные указанным методом, характеризуются малой концентрацией пограничных состояний и благодаря особенностям энергетической зонной диаграммы при  $X \leq 0,3$  происходит эффективная фотоинжекция дырок из InSe в GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> при сильном освещении. Это приводит к модуляции проводимости слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>, что важно для изготовления сэндвич фоторезисторов чувствительных в широком диапазоне спектра.

Для изготовления ГП были использованы монокристаллы п-InSe с концентрацией носителей тока  $\sim 10^{14} \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$  и монокристаллы р-GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> ( $X \leq 0,3$ ) с концентрацией носителей тока  $\sim 10^{10} \div 10^{13} \text{ см}^{-3}$ . Поскольку монокристаллы GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> более высокоомны, большая часть контактной разности потенциалов падает в GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>, его слой будет пронизан полем уже при толщинах в несколько микрометров. Для исследования фотопроводимости в продольном режиме слои GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> были снабжены двумя омическими контактами 1-1, а InSe – одним управляющим контактом 2 (Рис.1а). Как было установлено, в продольном режиме измерения становится возможным управление диапазоном спектральной фоточувствительности ГП поперечным электрическим полем и варьированием толщины слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. Поэтому измерения проводились в двух случаях. В первом случае на контакт 2 напряжение не прикладывается и измеряется фотопроводимость между контактами 1-1, во втором случае изучаются влияние поперечного электрического поля на величину и спектр фотопроводимости между контактами 1-1.

Как уже было отмечено, спектр фоточувствительности в первом случае значительно зависит от толщины слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. Если толщина слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> значительно больше, чем толщина слоя объемного заряда ( $d \gg L$ ), фоточувствительность между контактами 1-1 при освещении со стороны GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> определяется лишь поглощением света в этом слое и ее спектральное распределение коррелируется со спектром фоточувствительности монокристаллов GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> (Рис.1, кривая 1). Однако при  $d \geq L$  появляется заметная фоточувствительность и в области поглощения монокристаллов InSe (Рис.1, кривые 2,3), величина которой резко растет с уменьшением толщины слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. По-видимому, это связано с модуляцией толщины квазинейтральной области слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> вблизи перехода при освещении, которая происходит за счет экранирования объемного заряда неравновесными фотодырками, инжектированными из InSe.

При освещении структуры со стороны InSe фоточувствительность между контактами 1-1 либо не наблюдается ( $d \gg L$ ), либо наблюдается ( $d \geq L$ ) лишь в области спектра, соответствующей близкой окрестности края поглощения монокристаллов InSe (Рис.2). По-видимому, при  $h\nu \gg 1,2\text{эВ}$  свет поглощается, в основном, на поверхности слоя InSe, а возникающие неосновные фотоносители не доходят до области ГП. Поэтому

наблюдается резкое уменьшение фоточувствительности в коротковолновой области спектра.

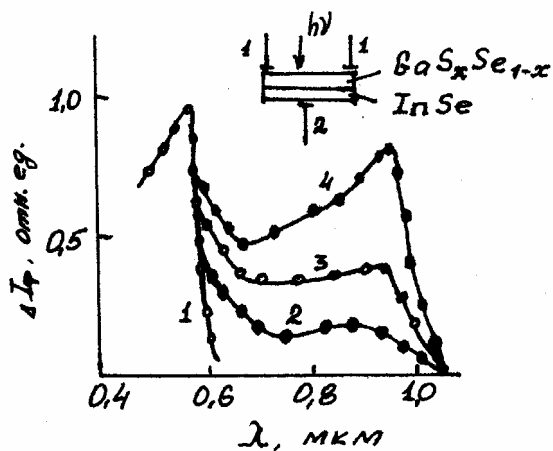


Рис.1.

Спектральное распределение продольной фотопроводимости в ГП InSe - GaS<sub>0,2</sub>Se<sub>0,8</sub>. Толщина слоя GaS<sub>0,2</sub>Se<sub>0,8</sub> уменьшается с ростом номера кривых. а-схематическое изображение исследованных структур.

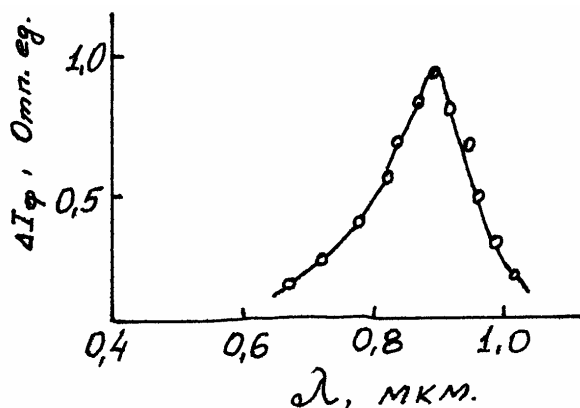


Рис.2.

Спектральное распределение продольной фотопроводимости в ГП InSe - GaS<sub>0,2</sub>Se<sub>0,8</sub> при освещении со стороны InSe.

Изучение ЛАХ фотопроводимости показало, что при освещении структуры со стороны GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> наблюдается зависимость в виде  $\Delta I_{\phi} \sim I^n$  как при поглощении света со стороны GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>, так и InSe. Показатель степени принимает значение n=1 при относительно низких и n=0,5 при высоких интенсивностях. При достаточно высоких интенсивностях света имеет место квазинасыщение фотопроводимости (n<0,5).

При отсутствии поперечного смещения слои InSe отделены высоким сопротивлением от слоя GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. Поэтому в случае толстых слоев GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> не наблюдается заметной фоточувствительности в области поглощения света

монокристаллами InSe при освещении структуры со стороны GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. Однако форма спектра фоточувствительности при этом сильно меняется при приложении к ГП поперечного смещения в пропускном направлении. На Рис.3. представлены спектры фоточувствительности ГП InSe - GaS<sub>0,2</sub>Se<sub>0,8</sub> в продольном режиме при различных значениях прямого смещения.

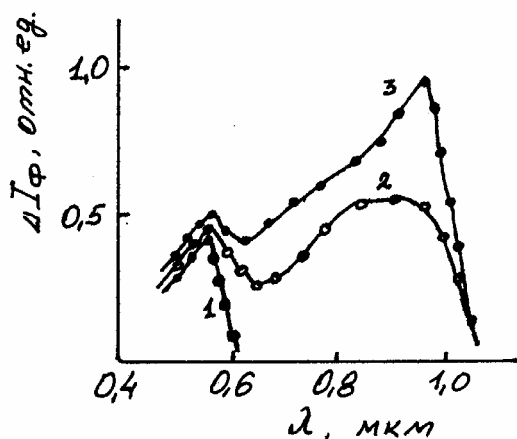


Рис.3.

Спектры фоточувствительности ГП InSe - GaS<sub>0,2</sub>Se<sub>0,8</sub> в продольном режиме при различных значениях прямого смещения. U (В): 1 - 0; 2 - 1,2; 3 - 1,8.

Как видно из Рис.3, при наличии прямого смещения наблюдается заметная фоточувствительность и в области поглощения света монокристаллами InSe при освещении структуры со стороны GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>, причем фоточувствительность в этой области спектра резко увеличивается с ростом приложенного к ГП напряжения смещения. По-

видимому, это связано со спрямлением энергетических зон вблизи перехода под действием смещения, вследствие чего сопротивление перехода уменьшается и рассмотренная структура представляет собой систему, состоящую из параллельно соединенных фотосопротивлений из InSe и GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. При этом в области поглощения InSe фотопроводимость экспоненциально растет в зависимости от прямого смещения при относительно низких значениях последнего, что еще раз свидетельствует о связи фоточувствительности в указанной области спектра с уменьшением сопротивления перехода.

1. Л.Н.Неустроев, В.В.Осипов, В.В.Холоднов, *ФТП*, **14** В5 (1980) 939.
2. Л.Н.Неустроев, В.В.Осипов, *ФТП*, **15** В6 (1981) 1068.
3. Л.Н.Неустроев, В.В.Осипов, *ФТП*, **15** В10 (1981) 2086.
4. А.Г.Кязым-заде, Р.Н.Мехтиева, А.А.Ахмедов, *ФТП*, **25** В8 (1991) 1392.
5. А.Г.Кязым-заде, В.М.Салманов, Э.Т.Мурсалов, А.А.Агаева, *Физика*, **5** 1 (1999) 70.
6. А.Г.Багиров, Дж.Ю.Багиров, Э.Ю.Салаев, *ФТП*, **16** (1982) 1099.
7. А.Г.Кязым-заде, З.С.Самедов, Ф.А.Гасанова, В.И.Тагиров, *ФТП*, **19** (1985) 1136.

### **InSe-GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> HETEROKEÇİDİNDƏ UZUNUNA FOTOKEÇİRİSİLİK**

**A.H. KAZIMZADƏ, E.T.MÜRSƏLOV, V.M.SALMANOV**

İşdə optik kontakt üsulu ilə hazırlanmış birqat InSe-GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> ( $X \leq 0,3$ ), heterokeçidi əsasında sendviç fotomüqavimətlərin fotoelektrik xassələri tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, heterokeçidi GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> tərəfdən işıqlandırdıqda uzununa rejimdə fətohəssaslıq spektri InSe və GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> monokristallarının udma oblastına uyğun gələn geniş dalğa uzunluğu diapazonunu əhatə edir. InSe-nin udma oblastında fotokeçiriciliyin qiyməti GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> təbəqəsinin qalınlığını dəyişməklə və heterokeçidə düz istiqamətdə eninə gərginlik tətbiq etməklə idarə oluna bilər. Fərz edilir ki, GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> monokristallarının udma oblastının arxasında fətohəssaslığın müşahidə edilməsi həcmi yüklər oblastının eninin InSe-dən injeksiya olunan fotodeşiklərin hesabına modulyasiyası ilə əlaqədardır, düz istiqamətdə gərginlik olduqda isə nümunə özünü InSe və GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> kristalları əsasında fotomüqavimətlərin paralel qoşulmuş sistemi kimi aparır.

### **LONGITUDINAL PHOTOCONDUCTIVITY IN InSe - GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> HETEROJUNCTIONS**

**A.G.KYAZYM-ZADE, E.T.MURSALOV, V.M.SALMANOV**

In present work photoelectric properties of sandwich photoresistors on the base of single heterojunctions InSe - GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> ( $X \leq 0,3$ ), fabricated by the method of applying on optical contact have been investigated. Longitudinal photocoductivity was measured by using contact, deposited onto the surface of GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> layers. It is shown that photosensitivity spectrum in longitudinal measurement regime under the illumination on GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> side covers wide range of wavelength, corresponding the light absorption region of InSe and GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>. A magnitude of photoconductivity in light absorption region of InSe is controlled by varying the thickness of GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> layer and applying transversal bias to heterojunctions in forward direction. It is assumed that an appearance of the sensitivity over the absorption edge of GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> single crystals is due to space-charge thickness modulation by photoholes, injected from InSe, and at the presence of bias, structure may be considered as parallel connection photoresistors on the basis of InSe and GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> layers.

Редактор: Дж.Абдинов