

**УСИЛЕНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ПРОДОЛЬНАЯ
ФОТОПРОВОДИМОСТЬ В ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ Si-GaSe****А.Г.КЯЗЫМ-ЗАДЕ, В.В.ДАДАШОВА**
Бакинский Государственный Университет

В работе приводятся результаты исследования фотоэлектрических свойств гетеропереходов (ГП) n-Si-p-GaSe с тонким слоем GaSe в продольном режиме измерения. ГП были изготовлены методом посадки на оптический контакт. Для исследования продольной фотопроводимости тонкие слои GaSe снабжались двумя омическими контактами. Показано, что спектр фоточувствительности структуры в продольном режиме измерения при освещении со стороны GaSe охватывает широкий диапазон длин волн, соответствующий области поглощения света монокристаллами Si и GaSe. Величина фотопроводимости в области поглощения света монокристаллами Si управляется варьированием толщины слоя GaSe и прикладыванием поперечного смещения к гетеропереходу в обратном направлении. Предполагается, что появление фоточувствительности за краем поглощения монокристаллов GaSe обусловлено модуляцией толщины слоя объемного заряда инжектированными из Si фотодырками.

1. Введение

В работе /1,2/ было показано, что в многослойных полупроводниковых структурах с тонкими чередующимися слоями разного типа проводимости фоточувствительность в продольном режиме измерения приближается к фоточувствительности фотосопротивлений 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 фоточувствительности, 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 фоточувствительности толщина верхнего широкозонного и относительно высокоомного слоя ГП, в котором фор-

мируется 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. Предполагается, что появление fotocувствительности за краем поглощения монокристаллов GaSe обусловлено модуляцией толщины слоя объемного заряда инжектированными из InSe фотодырками. Далее в /5/ были исследованы фотоэлектрические свойства сэндвич фоторезисторов на основе ГП InSe – GaS_xSe_{1-x}.

В данной работе приводятся некоторые результаты исследования продольной фотопроводимости в сэндвич фоторезисторах на основе одиночных ГП Si-GaSe.

2. Образцы и экспериментальная техника

Использование в качестве верхнего слоя ГП монокристаллов GaSe позволяло изготовить ГП Si-GaSe простым методом посадки на оптический контакт. Слои GaSe с толщиной в несколько микрометр легко отщепляются от монокристаллов GaSe и столь же легко прилипают к другим полупроводникам при соприкосновении с ними. Эти качества GaSe и других слоистых полупроводников в ряде случаев могут позволить относительно просто изготавливать высокочувствительные сэндвич фоторезисторы. Кроме того, достоинством слоистых полупроводников, как показано в работах /3-6/, является малое количество поверхностных состояний, что важно для изготовления сэндвич фоторезисторов на их основе.

Для изготовления ГП были использованы монокристаллы p-Si с концентрацией электронов $\sim 10^{17}$ см⁻³ и монокристаллы p-GaSe с концентрацией дырок $\sim 10^{10} - 10^{13}$ см⁻³. Перед изготовлением ГП поверхность монокристаллов кремния протравливались травителем NH₄Cl+NH₄F+(NH₄)₂CO₃+NH₄OH+H₂O₂, который эффективно очищает поверхность от двуокиси SiO₂. Поверхность монокристаллов GaSe химической обработке не подвергалась. Поскольку монокристаллы GaSe более высокоомны, большая часть контактной разности потенциалов падает в GaSe, его слой будет пронизан полем уже при толщинах в несколько микрометров. Для исследования фотопроводимости в продольном режиме слой GaSe были снабжены двумя омическими контактами 1-1, а InSe – одним управляющим контактом 2 (рис.1а). Как было установлено, в про-

дольном режиме измерения становится возможным управление диапазоном спектральной фоточувствительности ГП поперечным электрическим полем и варьированием толщины слоя GaSe. 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.

3. Результаты и их обсуждение

Некоторые электрические и фотоэлектрические свойства ГП Si-GaSe, изготовленных методом посадки на оптический контакт, ранее были исследованы в [7]. В частности, было показано, что ГП, изготовленные указанным методом, характеризуются малой концентрацией пограничных состояний и происходит эффективная фотоинжекция дырок из Si в GaSe при сильном освещении. Энергетическая зонная диаграмма исследованной структуры показана на рис.1б. Параметры энергетической зонной диаграммы выражены в электронвольтах. Предполагается, что переход неосновных дырок из Si в GaSe при освещении происходит посредством туннелирования через «пичок». Это приводит к модуляции проводимости слоя GaSe, что важно для изготовления сэндвич фоторезисторов, чувствительных в широком диапазоне спектра.

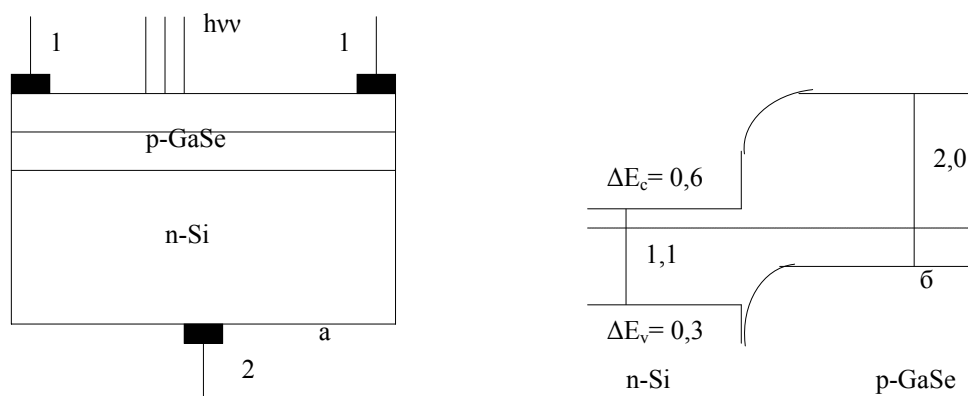


Рис.1. Схематическое изображение (а) и энергетическая зонная диаграмма (б) исследованных структур.

Как уже было отмечено, спектр фоточувствительности в первом случае значительно зависит от толщины слоя GaSe. Если толщина слоя GaSe значительно больше, чем толщина слоя объемного заряда ($d \gg L$), фоточувствительность между контактами 1-1 при освещении со стороны GaSe определяется лишь поглощением света в этом слое и ее спектральное распределение коррелируется со спектром фоточувствительности монокристаллов GaSe (рис.2, кривая 1). Однако при $d \geq L$ появляется заметная фоточувствительность и в области поглощения монокристаллов Si (рис.2, кривые 2 и 3), величина которой резко растет с уменьшением толщины слоя GaSe. По-видимому, это связано модуляцией толщины квазинейтральной области слоя GaSe вблизи перехода при освещении, которая происходит за счет экранирования объемного заряда неравновесными фотодырками, инжектированными из Si. Это подтверждается также усилением фоточувствительности в области поглощения света монокристаллами GaSe в структурах с относительно тонкими слоями GaSe. Как показано в [8], продольная фотопроводимость при этом содержит экспоненциальный множитель $\exp(\Delta\phi/kT)$, где $\Delta\phi$ -изменение высоты барьера со стороны GaSe при освещении.

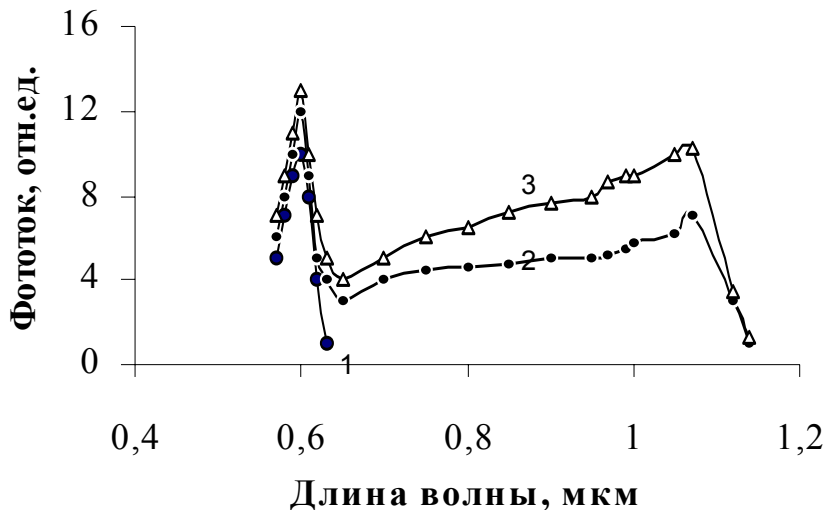


Рис.2. Спектральное распределение продольной фотопроводимости в ГП Si- GaSe. Толщина слоя GaSe уменьшается с ростом номера кривых.

При освещении структуры со стороны Si 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 Si (рис.3). По-видимому, при $h\nu \gg 1.1$ эВ свет поглощается в основном на поверхности слоя Si, а возникающие неосновные фотоносители не доходят до области ГП. Поэтому наблюдается резкое уменьшение фоточувствительности в коротковолновой области спектра.

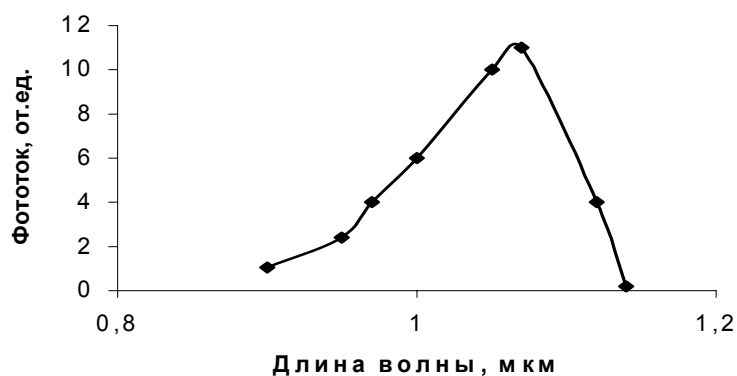


Рис.3. Спектральное распределение продольной фотопроводимости в ГП Si- GaSe при освещении со стороны Si.

Изучение ЛАХ фотопроводимости показало, что при освещении структуры со стороны GaSe наблюдается зависимость в виде $\Delta I_{\text{ф}} \sim I^n$. Показатель степени получает 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 Si отделены высоким сопротивлением от слоя GaSe. Поэтому в случае толстых слоев GaSe не наблюдается заметной фоточувствительности в области поглощения света монокристаллами Si при освещении структуры со стороны GaSe. Однако форма спектра фоточувствительности сильно меняется при приложении к ГП поперечного смещения в обратном направлении. На рис.4 представлены спектры фоточувствительности ГП Si- GaSe в продольном режиме при наличии обратного смещения.

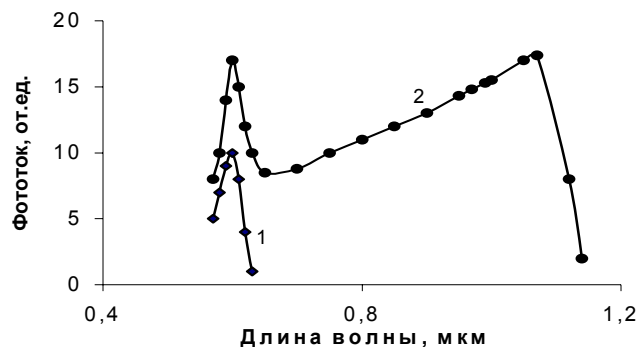


Рис.4. Спектры фоточувствительности ГП Si- GaSe в продольном режиме при различных значениях обратного смещения. U, В: 1 – 0; 2 – 4,8

Как видно из рисунка, при наличии обратного смещения наблюдается заметная фоточувствительность и в области поглощения света монокристаллами Si при освещении структуры со стороны GaSe. Причем фоточувствительность в этой области спектра резко увеличивается с ростом приложенного к ГП напряжения смещения. По-видимому, это связано с увеличением толщины слоя объемного заряда со стороны GaSe под действием обратного смещения и облегчением туннелирования фотодырок через «пичок».

В заключении отметим, что наличие потенциального барьера на границе раздела фаз и возможность модуляции его высоты при освещении приводит к наблюдению остаточной фотопроводимости и позволяет моделировать процессы долговременной релаксации на базе исследованных ГП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Н.Неустроев, В.В.Осипов, В.В.Холоднов, ФТП, 14 В.5 (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, Э.Т.Мурсалов, В.М.Салманов. Известия НАНА, сер.ФМ и ТН, 24, №-2,102, 2004.
6. В.И.Тагиров, А.Г.Кязым-заде, М.М.Панахов, А.О.Гулиев, В.М.Салманов. Изв.ВУЗ-ов, Физика, №-6, 28,1981.
7. А.Г.Кязым-заде, Д.Х.Джафаров, В.И.Тагиров. ФТП, 13, 2237, 1979.
8. А.Г.Кязым-заде, Н.М.Салимова, В.И.Тагиров. Микроэлектроника, 10, 369, 1981.

Si – GaSe HETEROKEÇİDLƏRİNDƏ FOTOHƏSSASLIĞIN GÜCLƏNDİRİLMƏSİ VƏ UZUNUNA FOTOKEÇİRİCİLİK

A.H.KAZIMZADƏ, V.V.DADAŞOVA

ANNOTASIYA

İşdə nazik GaSe təbəqəli n-Si – p-GaSe heterokeçidlərinin uzununa rejimdə fotoelektrik xassələrinin tədqiqindən alınan nəticələr verilmişdir. Heterokeçidlər optik kontakt üsulu ilə hazırlanmışdır. Uzununa fotokeçiriciliyin tədqiq edilməsi üçün nazik GaSe təbəqələri iki omik kontakla təmin olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, heterokeçidi GaSe tərəfdən işıqlandırıldıqda uzununa rejimdə fotonəssaslıq spektri Si və GaSe monokristallarının udma oblastına uyğun gələn geniş dalğa uzunluğu diapazonunu əhatə edir. Si-un udma oblastında fotokeçiriciliyin qiyməti GaSe təbəqəsinin qalınlığını dəyişməklə və heterokeçidə əks istiqamətdə eninə gərginlik tətbiq etməklə idarə oluna bilər. Fərz edilir ki, GaSe monokristallarının udma oblastının arxasında fotonəssaslığın müşahidə edilməsi həcmi yüklər oblastının eninin Si-dan injeksiya olunan fotodeşiklərin hesabına modulyasiyası ilə əlaqədardır.

**AMPLIFICATION OF PHOTSENSITIVITY AND LONGITUDINAL
PHOTOCONDUCTIVITY IN Si - GaSe HETEROJUNCTIONS**

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

ABSTRACT

In present work the results of photoelectrical properties investigation of n-Si – p-GaSe heterojunctions with thin GaSe layers is given. The heterojunctions fabricated by the method of applying on optical contact. Longitudinal photoconductivity was measured by using contact, deposited onto the surface of GaSe layers. It is shown that photosensitivity spectrum in longitudinal measurement regime under the illumination on GaSe side covers wide range of wavelength, corresponding the light absorption region of Si and GaSe. A magnitude of photoconductivity in light absorption region of Si is controlled by varying the thickness of GaSe layer and applying transversal bias to heterojunctions in reverse direction. It is assumed that an appearance of the sensitivity over the absorption edge of GaSe single crystals is due to space-charge thickness modulation by photo holes, injected from Si.