

СЭНДВИЧ-ФОТОРЕЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ InSe—GaSe

Кязым-заде А. Г., Мехтиева Р. Н., Ахмедов А. А.

Исследованы фотоэлектрические свойства сэндвич-фоторезисторов на основе одиночных гетеропереходов (ГП) InSe—GaSe. ГП были изготовлены методом посадки на оптический контакт. Фотопроводимость в продольном режиме была измерена с помощью контактов, нанесенных на поверхность слоя GaSe. Показано, что спектр fotocувствительности структуры в продольном режиме измерения при освещении со стороны GaSe 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 структура представляет собой параллельное соединение фотоспротивлений из InSe и GaSe.

В работах [1, 2] был проведен расчет стационарной фотопроводимости и ее кинетики в многослойных полупроводниковых периодических структурах с тонкими чередующимися слоями разного типа проводимости. В частности, в [1] было показано, что fotocувствительность таких систем в продольном режиме измерения приближается к чувствительности фотоспротивлений на основе собственного полупроводника, т. е. является минимально возможной для однородного фоторезистора. При этом слои считаются настолько тонкими, чтобы структура была насквозь пронизана электрическим полем p — n -перехода. При освещении структуры собственным светом неравновесные электроны и дырки пространственно разделяются полем p — n -переходов, вследствие чего время жизни фотоносителей сильно возрастает по сравнению с однородным полупроводником. Как показано далее в [2], наличие квазинейтральных областей практически не влияет на высокую fotocувствительность структуры и приводит к улучшению инерционности по сравнению со структурой, насквозь пронизанной полем.

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 сэндвич-фоторезисторов на основе обычных p — n -переходов преимущество сэндвич-фоторезисторов на основе ГП заключается в том, что при этом становится возможным провести измерения в режиме используемой схемы «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 данной работе сообщаются некоторые результаты исследования фотоэлектрических свойств сэндвич-фоторезисторов на основе одиночных ГП InSe—GaSe. Благодаря слабости межслойных связей достаточно тонкие плоскопараллельные слои InSe и GaSe легко отщепляются от крупных монокристаллов

и столь же легко прилипают друг к другу, что позволяет изготовить ГП на их основе относительно простым методом посадки на оптический контакт. Достоинствами этих кристаллов являются также неактивность их поверхности к адсорбции чужеродных атомов и малое количество поверхностных состояний, концентрация которых не превышает $\sim 10^{10} \text{ см}^{-2}$ [4].

Некоторые электрические и фотоэлектрические свойства ГП InSe—GaSe, изготовленных указанным методом, ранее были исследованы в [5–8]. В частности, было показано, что энергетическая зонная диаграмма этой системы способствует эффективному разделению неравновесных фотоносителей полем ГП и происходит фотоинжекция дырок из InSe в GaSe при сильном освещении. Это приводит к модуляции проводимости слоя GaSe, что очень важно для изготовления сэндвич-фоторезисторов, чувствительных в широком диапазоне спектра.

Для изготовления ГП были использованы монокристаллы *p*-GaSe с концентрацией носителей тока $\sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$ и монокристаллы *n*-InSe с концентрацией

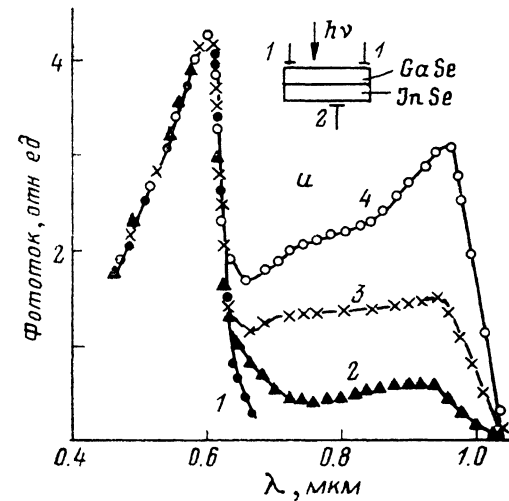


Рис. 1. Спектральное распределение продольной фотопроводимости в ГП InSe—GaSe.

Толщина слоя GaSe уменьшается с ростом номера кривых. а — схематическое изображение исследованных структур.

носителей тока $\sim 10^{14} \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при 300 К. ГП были изготовлены методом посадки на оптический контакт. 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. 1, а). Как было установлено, в продольном 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 при освещении со стороны GaSe; во втором случае изучаются влияния поперечного электрического поля на величину и спектр фотопроводимости между контактами 1—1.

1. Согласно [5], энергетическая зонная диаграмма ГП InSe—GaSe содержит энергетические разрывы $\Delta E_c \approx 1.2 \text{ эВ}$ в зоне проводимости и $\Delta E_v \approx 0.4 \text{ эВ}$ в валентной зоне. Совершенство границы раздела и малая концентрация пограничных состояний, а также особенности энергетической зонной диаграммы способствуют эффективному разделению фотоносителей при освещении со стороны широкозонного слоя GaSe. Спектральное распределение фоточувствительности ГП при этом охватывает широкий диапазон энергии, заключенный между ши-

ринами запрещенной зоны монокристаллов InSe и GaSe [8]. Однако спектр fotocувствительности при измерении в продольном режиме значительно зависит от толщины слоя GaSe. Если толщина слоя GaSe значительно больше, чем толщина слоя объемного заряда ($d \gg L$), fotocувствительность между контактами $I-I$ определяется лишь поглощением света в этом слое и ее спектральное распределение коррелируется со спектром fotocувствительности монокристаллов GaSe (рис. 1, кривая 1). Модуляция толщины нейтрального участка со стороны GaSe за счет экранирования объемного заряда неравновесными фотодырками, инжектированными из InSe при освещении структуры светом из области поглощения монокристаллов InSe, при этом заметно не влияет на проводимость слоя GaSe. Однако при $d \geq L$ темновая проводимость слоя GaSe определяется квазинейтральной областью вблизи перехода, и модуляция толщины этой области при освещении сильно влияет на проводимость между контактами $I-I$ в продольном режиме измерения. При этом появляется заметная

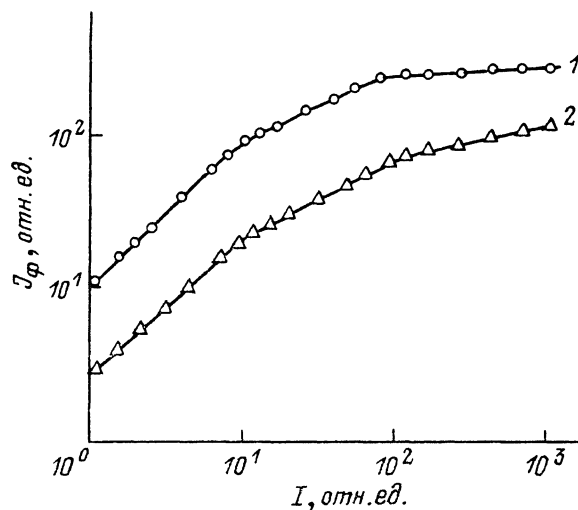


Рис. 2. ЛАХ продольной фотопроводимости при возбуждении светом с длиной волны $\lambda = 0.6$ (1) и 0.925 мкм (2).

фоточувствительность и в области поглощения монокристаллов InSe, диапазон спектральной чувствительности простирается в сторону длинных волн (рис. 1, кривые 2—4). Фоточувствительность в этой области спектра резко растет с уменьшением толщины слоя GaSe. Поскольку как в области поглощения GaSe, так и в области поглощения InSe рекомбинация неравновесных носителей определяется одним и тем же механизмом (см. далее), можно принять, что в обоих случаях фотопроводимость связана с изменением проводимости слоя GaSe. В отличие от фотодиодного режима ВАХ фотопроводимости в этом случае является линейной во всем диапазоне спектра.

При освещении структуры со стороны InSe фоточувствительность между контактами $I-I$ либо не наблюдается ($d \gg L$), либо наблюдается ($d \geq L$) лишь в области спектра, соответствующей близкой окрестности края поглощения монокристаллов InSe. При $h\nu \geq 1.2$ эВ свет поглощается в основном на поверхности слоя InSe, а возникающие неосновные фотоносители не доходят до области ГП.

Для определения механизма рекомбинации неравновесных носителей снимались ЛАХ фотопроводимости при возбуждении структуры со стороны GaSe монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 0.6$ и 0.925 мкм, соответствующей области поглощения света монокристаллами GaSe и InSe (рис. 2). Как видно из рисунка, в обоих случаях наблюдается зависимость $\Delta J_{\phi} \sim I$ (линейная рекомбинация) при низких интенсивностях возбуждения, которая в дальнейшем переходит в зависимость $\Delta J_{\phi} \sim I^{0.5}$ (квадратичная рекомбинация). При отно-

сительно высоких уровнях возбуждения в ЛАХ наблюдаются области квазинасыщения, т. е. $\Delta J_{\phi} \sim I^{\alpha}$, где $\alpha < 0.5$.

Поскольку слои InSe отделены высоким сопротивлением перехода от слоя GaSe, в данном случае нельзя рассматривать структуру как параллельное сое-

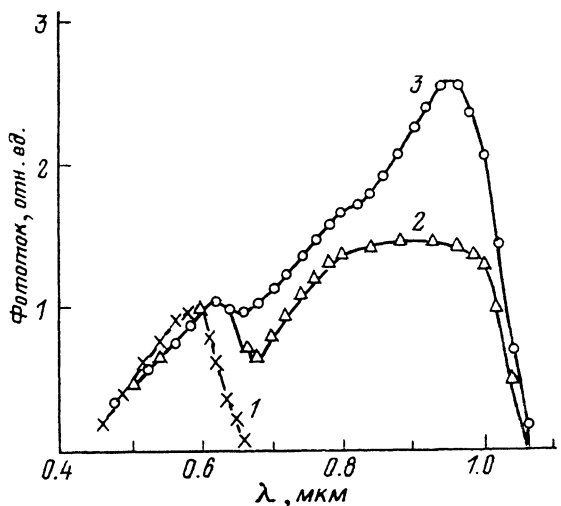


Рис. 3. Спектральное распределение продольной фотопроводимости в ГП InSe—GaSe при различных значениях прямого смещения.

$U, В$: 1 — 0, 2 — 1, 3 — 1.5.

динение слоев InSe и GaSe. Поэтому в случае толстых слоев GaSe не наблюдается заметной фоточувствительности в области поглощения света монокристаллами InSe.

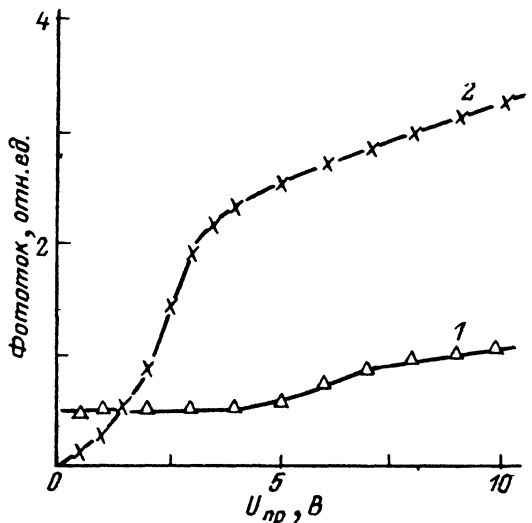


Рис. 4. Зависимость продольной фотопроводимости от прямого смещения при освещении светом с длиной волны $\lambda = 0.6$ (1) и 0.925 мкм (2).

2. Форма спектра фоточувствительности в случае толстых слоев GaSe сильно меняется при приложении к ГП небольшого поперечного напряжения в пропускном направлении. На рис. 3 представлены спектры фоточувствительности ГП InSe—GaSe в продольном режиме при различных значениях прямого смещения. Как видно из рисунка, при наличии прямого смещения появляется заметная фоточувствительность и в области поглощения монокристаллов InSe

при освещении структуры со стороны GaSe. Причем фоточувствительность в этой области спектра резко увеличивается с ростом приложенного к ГП напряжения смещения и в некоторых случаях является даже больше, чем в области поглощения света монокристаллами GaSe. 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 фото-сопротивлений из монокристаллов InSe и GaSe. Это более отчетливо видно из рис. 4, где представлены зависимости фотопроводимости между контактами 1—1 от прямого смещения при освещении структуры монохроматическим светом с длиной волны $\lambda=0.6$ (кривая 1) и 0.925 мкм (кривая 2). Как видно, при $\lambda=0.925$ мкм фотопроводимость экспоненциально растет в зависимости от прямого смещения при относительно низких значениях последнего, что связано с уменьшением сопротивления перехода. Наблюдаемый рост фотопроводимости при $U > 5$ В связан с инжекционными процессами. Об этом свидетельствует возрастание фототока при $U > 5$ В и в области $\lambda=0.6$ мкм. Поскольку при этом свет поглощается в слое GaSe, можно принять, что инжектированные в GaSe носители заряда заполняют уровни прилипания, вследствие чего увеличивается время жизни дырок.

Список литературы

- [1] Неустроев Л. Н., Осипов В. В., Холоднов В. В. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 5. С. 939—947.
- [2] Неустроев Л. Н., Осипов В. В. // ФТП. 1981. Т. 15. В. 6. С. 1068—1077.
- [3] Неустроев Л. Н., Осипов В. В. // ФТП. 1981. Т. 15. В. 10. С. 2086—2088.
- [4] Тагиров В. И., Кязым-заде А. Г., Панахов М. М., Гулиев А. О., Салманов В. М. // Изв. вузов СССР. Физика. 1981. № 6. С. 28—31.
- [5] Бакуменко В. Л., Ковалюк Э. Д., Курбатов Л. Н., Тагаев В. Г., Чижко В. Ф. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 6. С. 1115—1119.
- [6] Аверьянова Т. В., Бакуменко В. Л., Курбатов Л. Н., Тагаев В. Г., Чижко В. Ф. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 8. С. 1573—1577.
- [7] Бакуменко В. Л., Тагаев В. Г. // ФТП. 1982. Т. 16. В. 10. С. 1825—1827.
- [8] Кязым-заде А. Г., Мехтиева Р. Н., Асадов Х. А. // Актуальные вопросы преобразования энергии. Баку, 1987. С. 111—116.

Бакинский
государственный университет

Получена 25.02.1991
Принята к печати 18.04.1991