

Анализ градуировочной характеристики показал, что отклонения от линейности в сторону меньших значений появляются вблизи границ диапазона измеряемых дальностей. Точность измерений или дисперсия ухудшается на участках нелинейности 0,3...0,5 м и более 9,5 м, но не превышает 1%.

Причинами возникновения нелинейных участков на градуировочной характеристике являются как внешние условия в виде переменного коэффициента отражения поверхности объекта, так и внутренние наводки от излучательного блока. Уменьшение значения дисперсии достигалось увеличением мощности локационного оптического сигнала и совершенствованием экранирования усилителя мощности в блоке излучателя.

Таким образом, использование прямоотсчетного фазового метода для измерения малых дистанций, ре-

лизованного на современной элементной базе с применением оригинальных схемно-конструкторских методов, позволило создать оптико-электронный дальномер с улучшенными техническими и метрологическими характеристиками для работы в динамических условиях.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Костецкая Я. М. Свето- и радиодальномеры. — Львов: Вища школа, 1986.
2. Мусьяков М. П., Миценко И. Д. Оптико-электронные системы ближней дальнометрии. — М.: Радио и связь, 1991.
3. Протопопов В. В., Устинов Н. Д. Инфракрасные лазерные локационные системы. — М.: Воениздат, 1987.
4. Заявка 2734645 А1 Франции. G 01 S. Портативный прибор с лазерным диодом для проведения точных измерений при выполнении строительных работ / Borre Sylvain. — 22.05.95.
5. Лобачев М. В. Радиоэлектронная геодезия. — М.: Недра, 1980.

К. ф.-м. н. К. В. КОЛЕЖУК, д. ф.-м. н. В. Н. КОМАЩЕНКО,
Г. И. ШЕРЕМЕТОВА, к. т. н. Ю. Н. БОБРЕНКО

Украина, г. Киев, Институт физики полупроводников
им. В. Е. Лашкарева
E-mail: komas@isp.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
03.02 2003 г.

Оппонент к. т. н. В. В. РЮХТИН
(ЦКБ "Ритм", г. Черновцы)

МНОГОСЛОЙНЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК СОЕДИНЕНИЙ A^2B^6

Исследованы тонкопленочные гетероструктуры типа $p-Cu_{1,8}S/n-A^2B^6/n-A^2B^6$, перспективные для конструирования новых типов эффективных сенсоров излучения.

Стремительное развитие современной техники требует расширения круга полупроводниковых материалов, перспективных для разработки новых типов приборов, в частности, сенсоров коротковолнового излучения. К числу таких материалов относятся и широкозонные соединения A^2B^6 . Однако получение гомогенных $p-n$ -переходов на основе этих материалов остается проблематичным. Выход из ситуации может быть связан с созданием гетероструктур (ГС). Известно [1], что монокристаллические ГС в системе решеточно-согласованных соединений A^3B^5 нашли широкое применение при конструировании принципиально новых приборов лазерной техники, микро- и оптоэлектроники.

Ранее нами было показано, что к поликристаллическим ГС на основе полупроводников A^2B^6 (среди которых нет материалов с близкими значениями постоянных решеток) также можно применять некоторые гетероструктурные концепции для получения эффективных фотопреобразователей [2]. Целью настоящей работы является поиск путей создания новых типов сенсоров излучения на основе ГС-соединений A^2B^6 с использованием специфических особенностей, которые присущи гетеропереходам.

Образцы для исследований представляли собой четыре типа гетероструктур:

$p-Cu_{1,8}S/n-CdSe/n-CdS$, $p-Cu_{1,8}S/n-CdTe/n-CdS$,
 $p-Cu_{1,8}S/n-CdS/n-CdSe$, $p-Cu_{1,8}S/n-ZnS/n-CdSe$.

Они были получены осаждением слоев соединений A^2B^6 методом горячих стенок с несколькими автономными источниками. При их изготовлении создавались условия для эпитаксиального роста слоев на ориентирующих подложках [2, 3]. В качестве последних использовались текстурированные низкоомные поликристаллические пленки CdS или $CdSe$ толщиной $d \sim 3$ мкм, осажденные на металлизированные ситалловые пластины.

На этих подложках в едином технологическом цикле, без нарушения вакуума, выращивались фотоактивные слои ГС. Толщина таких высокоомных, близких к стехиометрическому составу, пленок A^2B^6 соответствовала эффективной длине поглощения возбуждающего излучения ($d \sim 1/k \sim 1$ мкм, где k — коэффициент поглощения). Для согласования решеток между ориентирующей подложкой и фоточувствительной составляющей выращивались нанометровые ($d \sim 30$ —50 нм) промежуточные слои многокомпонентных твердых растворов. Изготовление ГС завершалось термическим осаждением в вакууме на ранее выращенный фотоактивный слой барьерообразующей пленки вырожденного халькогенида меди ($Cu_{1,8}S$) p -типа проводимости ($d \sim 30$ нм).

Анализ результатов комплексных исследований морфологических параметров, фазового состава и структурных особенностей показал, что изготовленные ГС были достаточно совершенными. Это способствовало достижению высоких фотоэлектрических параметров сенсоров излучения на их основе.

В валентной зоне на металлургических границах ГС из-за разных значений энергии электронного сродства и ширины запрещенной зоны контактирующих материалов возникают потенциальные барьеры ΔE_v (рис. 1). Оказалось, что их можно использовать как для повышения эффективности фотопреобразования, так и для конструирования сенсоров с заданным спектральным диапазоном чувствительности.

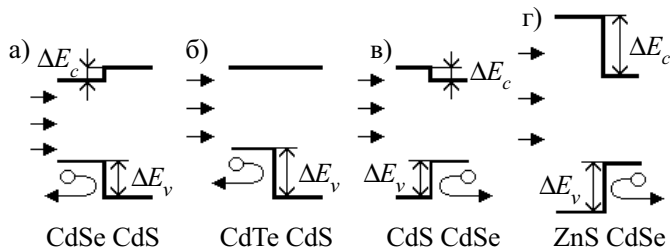


Рис. 1. Схематические зонные диаграммы $n-n$ -гетеропереходов:

а — $n\text{-CdSe}/n\text{-CdS}$; б — $n\text{-CdTe}/n\text{-CdS}$; в — $n\text{-CdS}/n\text{-CdSe}$; г — $n\text{-ZnS}/n\text{-CdSe}$

Полученные ГС представляют собой, по сути, $p^+ - i - n$ -структуру. Основная доля носителей заряда генерируется светом непосредственно в области потенциального барьера (фотоактивный i -слой A^2B^6), где действует сильное электростатическое поле. Поглощение тонкого p^+ -слоя в видимом диапазоне спектра составляет $<10\%$ (сульфид меди является непрямозонным полупроводником). В гетероструктурах $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-CdSe}/n\text{-CdS}$ и $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-CdTe}/n\text{-CdS}$ фотогенерация в слое сульфида кадмия практически отсутствует вследствие большой ширины запрещенной зоны этой составляющей (освещение осуществляется со стороны сульфида меди). Можно ожидать, что и рекомбинационные потери носителей заряда в сульфиде кадмия невелики. Кроме того, барьеры ΔE_v (рис. 1, диаграммы а и б) препятствуют прохождению дырок, которые генерированы в фоточувствительном слое ГС, в области их возможной рекомбинации [4, с. 24].

На рис. 2 представлены спектральные характеристики изготовленных приборов. Здесь по оси ординат отложена внешняя квантовая эффективность η . Отметим высокую чувствительность сенсоров излучения. Так, квантовая эффективность для гетероструктур $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-CdSe}/n\text{-CdS}$ и $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-CdTe}/n\text{-CdS}$ (кривые 1 и 2) близка к предельной ($\eta \sim 0,9$).

Структуры $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-CdS}/n\text{-CdSe}$ и $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-ZnS}/n\text{-CdSe}$ представляют собой, в принципе, гетеропереходы с широкозонным оптическим "окном" (излучение падает со стороны широкозонной компоненты). Поэтому можно ожидать существенного вклада селенида кадмия в общий фототок. Однако оказалось, что чувствительность ГС в области собствен-

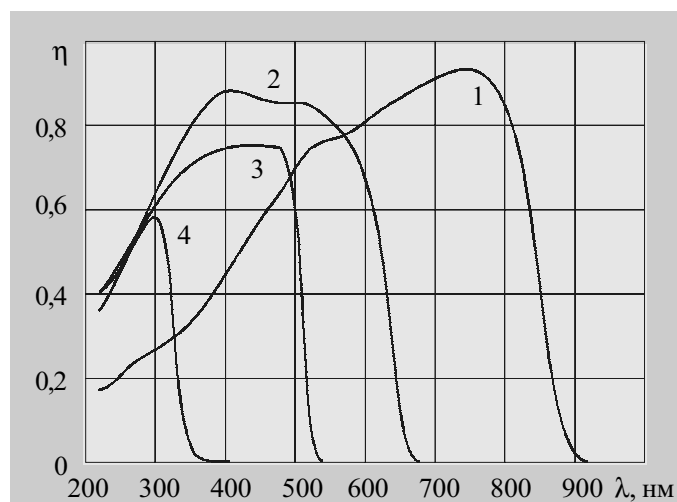


Рис. 2. Спектральная зависимость квантовой эффективности сенсоров излучения на основе гетероструктур:

1 — $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-CdTe}/n\text{-CdS}$; 2 — $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-CdSe}/n\text{-CdS}$; 3 — $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-CdS}/n\text{-CdSe}$; 4 — $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-ZnS}/n\text{-CdSe}$

ного поглощения CdSe практически отсутствует (кривые 3, 4). На наш взгляд, такой вид спектральных характеристик обусловлен следующим. В указанных ГС дополнительные потенциальные барьеры в валентной зоне ($\Delta E_v > 0,6$ эВ) гетеропереходов $n\text{-CdS}/n\text{-CdSe}$ и $n\text{-ZnS}/n\text{-CdSe}$ (рис. 1, диаграммы в и г) блокируют перенос неосновных носителей, генерированных светом в узкозонном селениде кадмия, в широкозонную часть гетероструктуры (CdS и ZnS).

Таким образом, использование эпитаксиальной технологии выращивания и потенциальных барьеров на границе полупроводников с различной шириной запрещенной зоны открывает новые возможности для разработки фотоэлектрических приборов в решеточно-несогласованных системах A^2B^6 . Встраивание широкозонного полупроводника на тыльной поверхности ГС способствует минимизации рекомбинационных потерь носителей заряда в объеме фотоактивного слоя и в области тыльного контакта.

Создание в ГС дополнительных $n-n$ -гетеропереходов позволяет также конструировать новые типы эффективных сенсоров излучения на основе широкозонных полупроводников, выращенных на буферной подложке более узкозонного материала.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Алферов Ж. И. Двойные гетероструктуры: концепция и применение в физике, электронике и технологии // УФН.— 2002.— Т. 172, № 9.— С. 1068—1086.
2. Комащенко А. В., Колежук К. В., Горбик П. П. и др. Высокоэффективные фотопреобразователи на основе поликристаллических гетероструктур соединений $A^{II}B^{VI}$ // Письма в ЖТФ.— 2000.— Т. 26, вып. 5.— С. 1—6.
3. Венгер Е. Ф., Колежук К. В., Комащенко В. Н. и др. УФ-сенсор, "слепой" к видимому свету // Допов. НАН України.— 2002.— № 2.— С. 82—86.
4. Коутс Т., Микин Дж. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики — М.: Мир, 1988.