

06.2

Селективные и широкополосные ультрафиолетовые сенсоры

© В.Н. Комащенко, К.В. Колежук, Е.Ф. Венгер, Г.И. Шереметова,
О.А. Мищук, А.В. Комащенко

Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев
УкрНИИ нефтеперерабатывающей промышленности „МАСМА“, Киев
E-mail: komag@isp.kiev.ua

Поступило в Редакцию 15 мая 2002 г.

Показана возможность конструирования тонкопленочных фотоэлектрических приборов на основе широкозонных соединений $A^{II}B^{VI}$, выращенных на узкозонной квазимонокристаллической подложке. При этом потенциальный барьер ΔE_v на межфазной поверхности многослойной гетероструктуры блокирует вклад узкозонной компоненты в общий фототок. Впервые разработаны без использования дополнительных фильтров селективные и широкополосные сенсоры ультрафиолетового диапазона.

Актуальной задачей ультрафиолетовой (УФ) техники является детектирование радиации УФ-А (320–400 nm), УФ-В (280–320 nm) и УФ-С (200–280 nm) диапазонов [1–3]. Такие сенсоры нужны для медицины, биологии, мониторинга окружающей среды (экология, контроль озонового слоя атмосферы, пожарные охранные устройства) и т.д. Среди существующих методов изготовления селективных приемников наиболее распространенным является использование крашеных стекол или интерференционных фильтров. Раньше [4] нами была показана возможность использования некоторых гетероструктурных концепций [5], реализованных в монокристаллических решеточно-согласованных системах соединений $A^{III}B^V$, к поликристаллическим гетероструктурам (ГС) соединений $A^{II}B^{VI}$, среди которых нет материалов с близкими постоянными кристаллических решеток.

В настоящей работе специфические особенности ГС использованы для конструирования новых типов фотоэлектрических приборов, в частности отсутствующих сегодня, широкополосных УФ-А+В+С и селективных УФ-А и УФ-В сенсоров, работающих без применения дополнительных фильтров.

Методика изготовления образцов для исследований описана в [4,6,7]. В качестве фоточувствительной широкозонной компоненты ГС применялись гомогенные твердые растворы (ТР) $n\text{-ZnS}_{0.7}\text{Se}_{0.3}$ или $n\text{-Zn}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{S}$ с шириной запрещенной зоны $E_g = 3.3 \text{ eV}$, что соответствует длинноволновой границе УФ-А диапазона. Толщина d таких высокоомных, близких к стехиометрическому составу, пленок была сопоставима с эффективной длиной поглощения возбуждающего излучения ($d \sim 1/k \sim 1 \mu\text{m}$, где k — коэффициент поглощения). Для согласования решеток и создания условий эпитаксиального роста между ориентирующей низкоомной подложкой (CdSe , $E_g = 1.7 \text{ eV}$) и фоточувствительной составляющей ГС выращивались тонкие (несколько десятков нанометров) промежуточные слои многокомпонентных ТР. Наличие последних подтверждено исследованиями распределения химического состава по толщине образцов методом электронной Оже-спектроскопии [6]. Например, в ГС $n\text{-ZnS}/n\text{-CdSe}$ использовалась вариозонная прослойка $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}_y\text{Se}_{1-y}$, в которой по мере удаления от поверхности структуры значения x и y уменьшались. В окрестностях переходной области между фоточувствительным слоем и ориентирующей подложкой состав пленки соответствовал значениям $x = y = 0$.

Вообще говоря, в таких ГС должен наблюдаться эффект широкозонного окна, так как излучение падает со стороны широкозонного $A^{II}B^{VI}$. Однако дополнительный потенциальный барьер ΔE_v , который образуется на межфазной поверхности из-за разных значений энергии электронного сродства и ширины запрещенной зоны контактирующих материалов, может исключить вклад узкозонной компоненты в общий фототок.

Энергетическая зонная диаграмма полученной многослойной ГС $p\text{-Cu}_{1.8}\text{S}/i\text{-ZnS}_{0.7}\text{Se}_{0.3}/n\text{-CdSe}$ (рис. 1, вставка) содержит высокоомный i -слой, который ограничен низкоомной, более узкозонной подложкой. Основная часть носителей заряда генерирует светом непосредственно в области потенциального барьера, где действует сильное электрическое поле. Вклад в общий фототок узкозонной компоненты ГС блокируется встроенным барьером $\Delta E_v \sim 0.7 \text{ eV}$.

На этом же рисунке представлены типичные спектральные характеристики фоточувствительности широкополосного УФ-А+В+С (кривая 1) и селективного УФ-А (кривая 2) сенсоров, разработанных на основе ГС $p\text{-Cu}_{1.8}\text{S}/i\text{-ZnS}_{0.7}\text{Se}_{0.3}/n\text{-CdSe}$, а также селективного УФ-В (кривая 3) сенсора на основе ГС $p\text{-Cu}_{1.8}\text{S}/i\text{-ZnS}/n\text{-CdSe}$. Можно

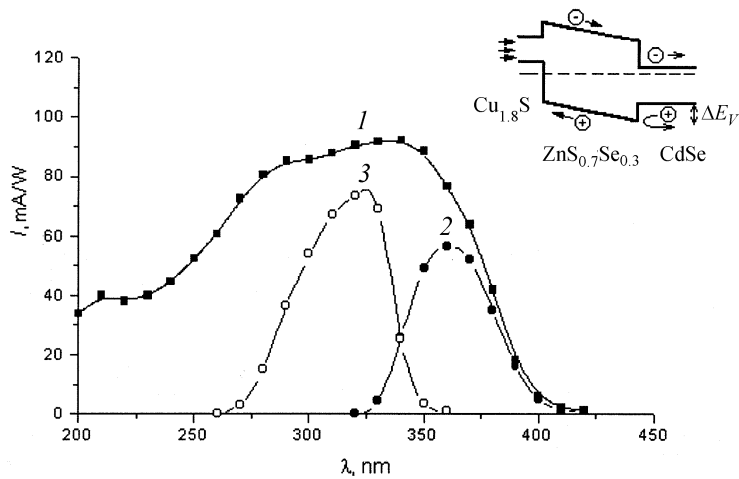


Рис. 1. Абсолютная спектральная чувствительность сенсоров: 1 — УФ-А+В+С; 2 — УФ-А; 3 — УФ-В. $T = 300\text{ K}$, эффективная активная поверхность сенсоров 4.5 mm^2 . На вставке: Энергетическая зонная диаграмма многослойной гетероструктуры $p\text{-Cu}_{1.8}\text{S}/i\text{-ZnS}_{0.7}\text{Se}_{0.3}/n\text{-CdSe}$ (промежуточные решеточно-согласующие прослойки не показаны).

видеть, что величина потенциального барьера ΔE_v оказывается достаточной для существенного (около двух порядков величины) уменьшения фоточувствительности за краем собственного поглощения широкозонной компоненты. Следует подчеркнуть, что указанные сенсоры изготовлены без применения интерференционных или окрашенных стеклянных фильтров.

Отметим также особенность, которая была обнаружена в более сложной ГС $p\text{-Cu}_{1.8}\text{S}/n\text{-ZnS}/p\text{-ZnTe}/n\text{-CdS}$ при приложении внешнего смещающего напряжения. При этом наблюдалось усиление фототока и перестройка области спектральной чувствительности.

В фотovoltaическом режиме включения область фоточувствительности структуры соответствовала таковой для УФ сенсора, „слепого“ к видимому свету (рис. 2, кривая 1). Приложение смещения (U_b) кардинально изменяло спектральную характеристику (рис. 2, кривая 2). В этом случае максимум фоточувствительности смещается в длин-

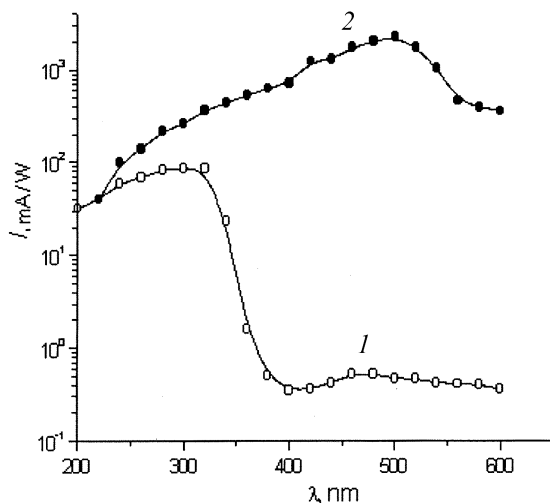


Рис. 2. Спектральная чувствительность гетероструктуры $p\text{-Cu}_{1.8}\text{S}/n\text{-ZnS}/p\text{-ZnTe}/n\text{-CdS}$: 1 — без смещающего напряжения; 2 — при напряжении смещения 5 В.

новолновую область. Указанная зависимость измерена при мощности монохроматического излучения $\sim 10^{-7} \text{ W/cm}^2$ и $U_b = 5 \text{ V}$ (знак „-“ на $p\text{-Cu}_{1.8}\text{S}$). Сказанное свидетельствует о существенном вкладе в фотоэффект узкозонной составляющей — ZnTe. Характерно, что в такой многослойной анизотипной ГС наблюдается также усиление фототока (см. кривые 1 и 2, рис. 2). Указанные особенности можно объяснить в предположении, что полученная ГС представляет собой биполярный фототранзистор. Выяснение природы описанного эффекта требует дальнейшего изучения.

Таким образом, применение эпитаксиальной технологии выращивания и использование потенциальных барьеров на границах полупроводников с различной шириной запрещенной зоны открывает новые возможности для конструирования фотоэлектрических приборов в решеточно-несогласованных системах $A^{II}B^{VI}$. Впервые разработаны полупроводниковые селективные и широкополосные сенсоры ультрафиолетового излучения, чувствительность которых без дополнительных

фильтров соответствует УФ-А, УФ-В и УФ-А+В+С диапазонам. Обнаружен эффект перестройки спектра фоточувствительности и усиления фототока в многослойной анизотипной гетероструктуре на основе соединений $A^{II}B^{VI}$.

Список литературы

- [1] *Ohtomo A., Kawasaki M., Koida T. et al. // Appl. Phys. Lett. 1998. V. 72. N 19. P. 2466–2468.*
- [2] *Yang W., Vispute R.D., Choopun S. et al. // Appl. Phys. Lett. 1998. V. 78. N 18. P. 2787–2789.*
- [3] *Ando K., Ishikura H., Fukunaga Y. et al. // Phys. Stat. Sol. (b). 2002. V. 229. N 2. P. 1065–1071.*
- [4] *Комащенко А.В., Колежук К.В., Горбик П.П. и др. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 5. С. 1–6.*
- [5] *Alferov J.I. // Semiconductors. 1998. V. 32. N 1. P. 3–18.*
- [6] *Венгер Е.Ф., Колежук К.В., Комащенко В.Н. и др. // Доповіді Національної академії наук України. 2002. № 2. С. 82–86.*
- [7] *Колежук К.В., Комащенко В.Н., Шереметова Г.И. и др. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. Киев: Наукова думка, 2001. В. 36. С. 212–217.*