

06.2;06.3;07

Гетероконтакт ZnGeP_2 со слоистыми полупроводниками III–VI

© В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь

С.-Петербургский государственный технический университет,
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 27 ноября 1996 г.

В работе сообщаются результаты первых исследований фотоэлектрических свойств гетеропереходов, полученных посадкой на оптический контакт пластин тройного соединения $p\text{-ZnGeP}_2$ и слоистых полупроводников InSe и GaSe. Фоточувствительность в таких структурах доминирует при освещении со стороны пластин ZnGeP_2 и достигает 150 В/Вт при $T = 300$ К. В гетеропереходах InSe/ ZnGeP_2 проявляется эффект окна в диапазоне 1.2–2 эВ, тогда как для GaSe/ ZnGeP_2 фотовольтаический эффект максимален вблизи 2 эВ из-за близости ширины запрещенных зон в контактирующих полупроводниках.

Метод посадки на прямой оптический контакт используется как один из эффективных способов создания энергетических барьеров на неконвертирующих свой тип проводимости полупроводниках, в число которых пока все еще можно отнести также объемные монокристаллы тройного соединения ZnGeP_2 [1]. В настоящей работе сообщается о получении первых фоточувствительных гетероконтактов этого перспективного для высокоэффективных нелинейно-оптических преобразователей излучений полупроводника [2,3] со слоистыми кристаллами из числа прямозонных полупроводниковых соединений III–VI (InSe, $E_g = 1.2$ эВ и GaSe, $E_g = 2.0$ эВ при $T = 300$ К [4]). К [4]). Для ZnGeP_2 избранный метод формирования энергетического барьера представляет интерес еще и потому, что не нуждается в проведении каких-либо

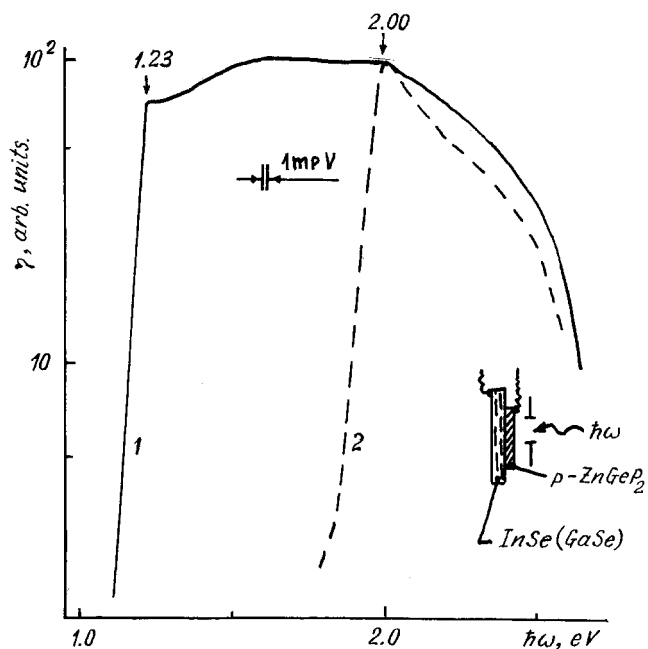
технологических процессов на тройном фосфиде и по этой причине не создает условий для образования дополнительных точечных дефектов решетки в результате изменений состава соединения.

Для получения гетеропереходов (ГП) применялись монокристаллы ZnGeP_2 p -типа проводимости в виде пластинок со средними размерами $5 \times 5 \times 0.5$ мм. Монокристаллы выращивались методами направленной кристаллизации как из стехиометрических, так и из нестехиометрических расплавов [1]. Зеркальные плоскости создавались механической, а затем и химической обработкой поверхности ZnGeP_2 . Концентрация свободных дырок в этих образцах изменялась в диапазоне $10^9 - 10^{12} \text{ см}^{-3}$ при $T = 300 \text{ К}$.

В случае слоистых полупроводников InSe и GaSe n -типа проводимости для получения совершенных плоскостей какая-либо обработка их поверхности не требовалась и пластины указанных соединений со средними размерами $5 \times 5 \times 0.5$ мм удавалось готовить расщеплением слитка вдоль плоскости спайности. Концентрация свободных электронов в использованных кристаллах InSe и GaSe составляла приблизительно 10^{14} см^{-3} при $T = 300 \text{ К}$. Монокристаллы слоистых полупроводников выращивались направленной кристаллизацией близких к стехиометрии этих фаз расплавов без преднамеренного введения посторонних химических примесей.

Гетеропереходы создавались приведением в контакт полученных указанными выше способами "чистых" поверхностей, которые затем были механически прижаты друг к другу в специальном держателе, обеспечивающем стабильный во времени гетероконтакт.

На основании выполненных исследований было установлено, что гетероконтакты $n\text{-InSe}/p\text{-ZnGeP}_2$ и $n\text{-GaSe}/p\text{-ZnGeP}_2$ при их освещении интегральным излучением как со стороны узкозонной компоненты (InSe и GaSe), так и со стороны ZnGeP_2 обнаруживают фотовольтаический эффект, при котором положительная полярность фотонапряжения отвечает $p\text{-ZnGeP}_2$. При изменении энергии падающих фотонов во всей области фоточувствительности полученных ГП инверсия знака фотонапряжения не фиксировалась, а направление выпрямления согласовывалось с полярностью фотонапряжения. Фоточувствительность во всех полученных ГП этих систем доминирует при освещении со стороны ZnGeP_2 и для лучших структур достигает $100\text{--}150 \text{ В/Вт}$ при $T = 300 \text{ К}$. Следует также подчеркнуть то обстоятельство, что фоточувствительность полученных



Спектральные зависимости относительной квантовой эффективности фотообразования в гетеропереходах $n\text{-InSe}/p\text{-ZnGeP}_2$ (1) и $n\text{-GaSe}/p\text{-ZnGeP}_2$ (2) при $T = 300\text{ K}$ (на вставке показана схема освещения гетероперехода).

методом посадки на оптический контакт ГП из $ZnGeP_2$ не обнаруживает деградации.

На рисунке приведены типичные спектральные зависимости относительной квантовой эффективности фотообразования, полученной как отношение фототока короткого замыкания к числу падающих фотонов, для гетеропереходов, в состав входит одна и та же пластина $p\text{-ZnGeP}_2$, но изменяется слоистый полупроводник: InSe или GaSe. В обоих ГП освещение производится неполяризованным излучением со стороны пластины $ZnGeP_2$.

В ГП $\text{InSe}/\text{ZnGeP}_2$ длинноволновой экспоненциальный край характеризуется крутизной $s = 20\text{--}50\text{ эВ}^{-1}$ для разных гетероконтактов, что может отражать влияние качества на процесс разделения фо-

тогенерированных пар. Спектральное положение ступеньки, которой завершается длинноволновой рост фоточувствительности, соответствует ширине запрещенной зоны InSe [4]. По этой причине длинноволновый край фоточувствительности в таких ГП следует связывать с межзонным поглощением в узкозонной компоненте структур. Как видно из рисунка (кривая 1), в диапазоне между ширинами запрещенных зон InSe и ZnGeP₂ [1,4] фоточувствительность сохраняется на высоком уровне, что свидетельствует о проявлении эффекта окна [5] в полученных посадкой на оптический контакт ГП InSe/ZnGeP₂. Начало коротковолнового спада η при $\hbar\omega > 2$ эВ соответствует наступлению межзонного поглощения в ZnGeP₂ и является следствием влияния оптического поглощения излучения в объеме широкозонной компоненты этого ГП.

При замене InSe на более широкозонный полупроводник GaSe наблюдается смещение длинноволнового экспоненциального края n в коротковолновую область в соответствии с ростом E_g [4]. Крутизна длинноволнового края фоточувствительности в этих гетеропереходах изменялась в пределах 30–40 эВ⁻¹, что соответствует прямым межзонным переходам в GaSe. Максимум фоточувствительности таких ГП наблюдается вблизи $\hbar\omega = 2$ эВ, что согласуется с шириной запрещенной зоны, которую в случае системы GaSe/ZnGeP₂ (кривая 2) следует связывать с ростом оптических потерь излучения в объеме ZnGeP₂, с ростом $\hbar\omega > 2$ эВ для случая освещения со стороны ZnGeP₂.

Таким образом, полученные экспрессным методом посадки на оптический контакт гетеропереходы InSe/ZnGeP₂ и GaSe/ZnGeP₂ могут быть использованы в качестве фотодетекторов естественного излучения на спектральную область 1.2–2 эВ, причем энергетическое положение длинноволновой экспоненциальной границы фоточувствительности с учетом наличия непрерывного ряда твердых растворов в системе InSe–GaSe может плавно смещаться в указанном диапазоне за счет управления атомным составом слоистого полупроводника. Следует также указать и на то обстоятельство, что наличие высокой фоточувствительности в ГП InSe/ZnGeP₂ в диапазоне 1.2–2 эВ может найти также применение для экспрессного контроля оптического качества кристаллов тройного соединения, которое критично с точки зрения обеспечения высокой эффективности преобразования излучения в нелинейно-оптических элементах на их основе [2,3].

Работа частично поддержана University of Cincinnati, USA.

Список литературы

- [1] Рудь Ю.В. // ФТП. 1994. Т. 28. С. 1105.
- [2] Barnes N.P. // Int. J. of Nonlinear Optical Phys. 1991. V. 1. P. 639.
- [3] Budni P.A., Schunemann P.G., Knights M.G., Pollak T.M., Chicklis E.P. // OSA Proceedings on Advanced Solid State Lasers / Ed. by L. Chase and A.A. Pinto (Optical Society of America, Washington. DC, 1992). 1992. V. 13. P. 380.
- [4] Физико-химические свойства полупроводниковых веществ: Справочник. М.: Наука, 1978. 340 с.
- [5] Шарма Б.Л., Пурохит Р.Н. Полупроводниковые гетеропереходы. М.: Сов. радио, 1979.