

СПЕКТРЫ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУР Cu—CdSiP₂

Медведкин Г. А., Рудь Ю. В., Таиров М. А.

Приведены результаты поляризационных исследований фоточувствительности поверхностно-барьерных структур Cu—*n*-CdSiP₂ при 300 К в области 1—4 эВ. Обсуждаются спектральные зависимости естественного фотолюминесценции полученных диодов на основании существующей модели зонного спектра GdSiP₂. Сделан вывод о возможности применения полученных структур в качестве фотоанализаторов линейно-поляризованного излучения.

В семействе соединений II—IV—V₂ имеется немногочисленная группа широкозонных полупроводников, кристаллическая решетка которых характеризуется высокими тетрагональным сжатием τ и смещением атома V группы из идеальной тетраэдрической позиции σ_x [1]. К числу таких кристаллов относится, в частности, дифосфид кадмия и кремния CdSiP₂ ($\tau=8.2\%$, $\sigma_x=17.2$), результаты исследований электронного спектра которого оставались довольно противоречивыми, а фоточувствительность диодов Шоттки на его основе пока изучалась только в неполяризованном излучении [2-12]. В настоящей работе рассмотрены результаты впервые выполненных поляризационных исследований фотоэлектрических процессов в структурах Cu—*n*-CdSiP₂.

Измерения проводились на поверхностно-барьерных структурах, полученных химическим осаждением меди на естественные зеркальные поверхности с кристаллографической ориентацией (112) либо (011) монокристаллических пластин CdSiP₂ со средними размерами 1×3×0.1 мм. Кристаллы, выращенные методом газотранспортных реакций, имели концентрацию и холловскую подвижность электронов при $T=300$ К соответственно $n \simeq (1 \div 5) \cdot 10^{14}$ см⁻³ и $\mu_e \simeq 80 \div 100$ см²/(В·с). Небольшие размеры и специфика естественной огранки кристаллов не позволяли изготавливать из них параллельные тетрагональной оси пластинки. Измерения темновых вольтамперных характеристик показали, что, не принимая специальных мер по снижению поверхностных токов утечек, можно получить структуры с ярко выраженным выпрямлением. Пропускное направление соответствует отрицательному потенциалу на кристалле CdSiP₂ *n*-типа проводимости, причем начальный участок прямой ветви ВАХ таких диодов в области температур 150 ÷ 300 К следует выражению $I = I_0 \exp\left(\frac{eU}{\beta kT} - 1\right)$ со значениями $\beta = 2 \div 5$. Выпрямление в лучших диодах достигает $\simeq 10^5$ при напряжениях смещения $U \simeq 1$ В. Освещение диодов интегральным излучением со стороны выпрямляющего контакта приводит при 300 К к возникновению максимальной фотоэдс холостого хода $U_{xx} \simeq 0.4 \div 0.5$ В. Для лучших структур вольтовая чувствительность $S_U \simeq 10^3$ В/Вт, а токовая $S_i \simeq 1$ мА/Вт в указанных условиях. С понижением температуры до 77 К фоточувствительность диодов на основе использованных кристаллов обычно снижается на 3—4 порядка величины. Независимо от характера освещения поверхностно-барьерных структур полупроводник всегда заряжается отрицательно.

Типичные спектры фототока короткого замыкания i_ϕ структуры Cu—*n*-CdSiP₂ в зависимости от геометрии освещения и поляризации излучения представлены на рис. 1. Следует подчеркнуть, что спектральный контур i_ϕ хорошо воспроизводится во всех исследованных барьерах и не обнаруживает каких-

либо изменений со времени их изготовления в течение >5 тыс. ч. При освещении со стороны барьеров фоточувствительность структур максимальна и на 2—3 порядка выше максимального фототока при освещении пластин с противоположной барьеру стороны при толщинах пластин 100—300 мкм. Как следует из рис. 1, спектры $i_{\phi}(\hbar\omega)$ существенно различны при рассмотренных геометриях освещения структур. Фототок в обоих случаях во всей области фоточувствительности течет в одном направлении и определяется разделением фото-

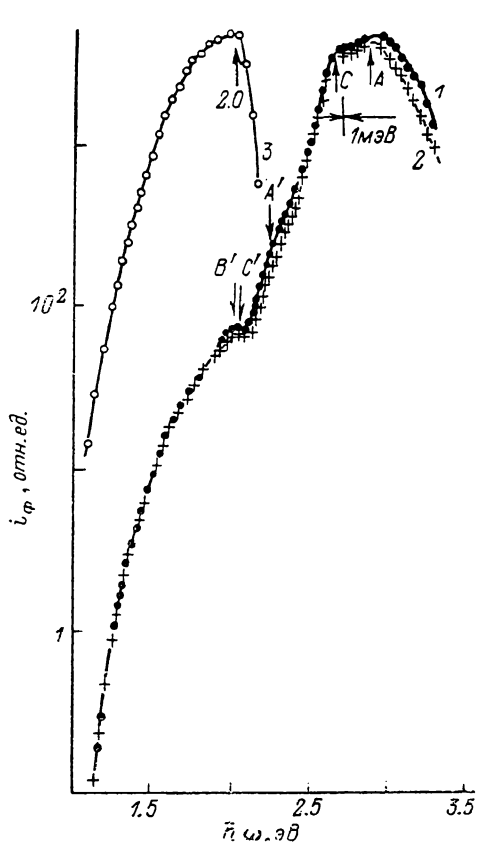


Рис. 1. Спектральные зависимости фототока структуры Cu-n-CdSiP_2 .

$T=300$ К. Схема освещения: 1, 2 — вдоль нормали к плоскости (112) со стороны барьера; 3 — освещение пластины толщиной 0.1 мм с противоположной барьеру стороны; поляризация: 1 — $E \perp c$, 2 — $E \parallel c$; 3 — естественный свет; стрелками указаны экстремализованные к $T=300$ К значения энергий межзонных переходов, согласно [14, 15].

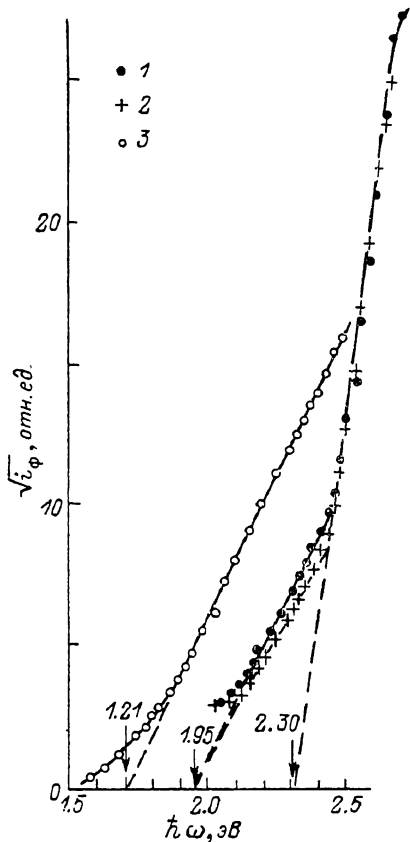


Рис. 2. Спектральные зависимости фоточувствительности структуры Cu-n-CdSiP_2 при освещении со стороны барьера в координатах $\sqrt{i_{\phi}} - \hbar\omega$.

$T=300$ К. 1 — $E \perp c$, 2 — $E \parallel c$; 3 — естественный свет.

носителей на барьере металл—полупроводник. В длинноволновой области при $\hbar\omega < 2$ эВ спектральный контур $i_{\phi}(\hbar\omega)$ не чувствителен к изменениям в геометрии освещения, что связано с объемным характером фотогенерации. При увеличении энергии фотонов $\hbar\omega > 2$ эВ в случае освещения структур с противоположной барьеру стороны в спектрах $i_{\phi}(\hbar\omega)$ имеется резкая коротковолновая граница, тогда как при освещении со стороны барьера, напротив, происходит близкий к экспоненциальному закону рост фототока. Это свидетельствует об увеличении коэффициента оптического поглощения излучения с энергиями $\hbar\omega > 2$ эВ, что соответствует области псевдопрямых межзонных переходов в CdSiP_2 [8—10]. Длинноволновый участок спектров фототока, приходящийся на область $\hbar\omega < E_G$, спрямляется в координатах $\sqrt{i_{\phi}} \sim (\varphi_0 - \hbar\omega)$, и его можно связывать с фотоэмиссией электронов через барьер, высота которого $\varphi_0 \approx 1.2$ эВ при 300 К.

Исследования фоточувствительности структур в линейно-поляризованном излучении показывают, что фототок начинает существенно зависеть от положения плоскости поляризации в области $\hbar\omega > 1.8$ эВ. Индикатриса фототока в области поляризационной фоточувствительности структур $\text{Cu}-n\text{-CdSiP}_2$ следует закону

$$i_\varphi = i_\parallel^0 \cos^2 \varphi + i_\perp^0 \sin^2 \varphi,$$

причем фаза i_φ несколько раз изменяется по спектру, т. е. обнаруживаются обычно три фотоизотропные точки $\hbar\omega \approx 2.44 \div 2.46$, 2.7 и 2.85 эВ, в которых $i_\varphi = \text{const}$. При освещении со стороны барьера, как видно из рис. 1, фототок в области псевдопрямых переходов доминирует в поляризации $\mathbf{E} \perp \mathbf{c}$, что отвечает полученным из абсорбционных исследований CdSiP_2 правилам отбора для минимальных межзонных переходов [9].

В полученных структурах фототок обычно достигает максимальных значений вблизи энергии прямых оптических переходов [10, 13]. В спектрах фототока в окрестности энергии A - и C -переходов воспроизводимо в обеих поляризациях проявляются четкие особенности (рис. 1, кривые 1 и 2). Участок увеличения фототока в диапазоне $\hbar\omega = 2.0 \div 2.6$ эВ, как видно из рис. 2 (кривые 1 и 2), спрямляется в координатах $\sqrt{i_\varphi} - \hbar\omega$, и при этом воспроизводимо выделяются

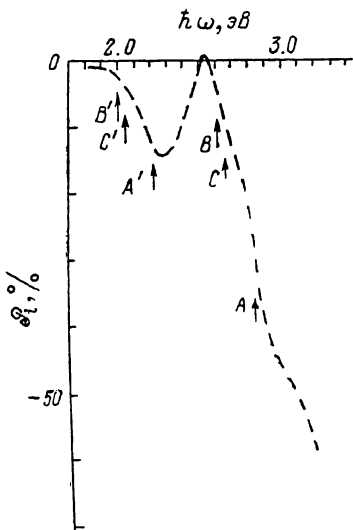


Рис. 3. Спектральная зависимость коэффициента естественного фотоплекроизма структуры $\text{Cu}-n\text{-CdSiP}_2$.

$T = 300$ К. Освещение со стороны плоскости (112) с энергетическим барьером.

два наклона. Сходные результаты были получены и при анализе спектров оптического поглощения [2, 3, 5], что послужило основанием для заключения о непрямом характере переходов в CdSiP_2 . Полученные экстраполяцией $\sqrt{i_\varphi} \rightarrow 0$ значения энергий 1.95 и 2.30 эВ попадают в область псевдопрямых переходов. Следовательно, из анализа спектральной формы собственной фоточувствительности диодов из CdSiP_2 можно сделать вывод о том, что наличие слабых псевдопрямых переходов приводит к размытию спектров фоточувствительности при $T = 300$ К, в результате чего они приобретают особенности, характерные для не прямых межзонных переходов.

Спектры фоточувствительности структур $\text{Cu}-n\text{-CdSiP}_2$ в поляризованном излучении подобны известным для других псевдопрямозонных кристаллов $\text{II}-\text{IV}-\text{V}_2$ с высокими значениями τ и σ_x [14, 15]. Естественный фотоплекроизм \mathcal{S}_p исследованных диодов имеет отрицательный знак. Рост отрицательного фотоплекроизма при $\hbar\omega > 2$ эВ с образованием максимума вблизи $\hbar\omega \approx 2.3$ эВ отвечает слабым псевдопрямым переходам в низший минимум зоны проводимости из трех подзон валентной зоны CdSiP_2 . По абсолютной величине \mathcal{S}_p диодных структур из псевдопрямозонных полупроводников существенно ниже, а спектральный контур значительно шире, чем в прямозонных кристаллах $\text{II}-\text{IV}-\text{V}_2$. Рост амплитуды отрицательного фотоплекроизма в диодах $\text{Cu}-n\text{-CdSiP}_2$ при $\hbar\omega > 2.6$ эВ (рис. 3) позволяет заключить, что высокоэнергетические переходы в этом соединении преимущественно разрешены в поляризации $\mathbf{E} \perp \mathbf{c}$. Последнее указывает на возможности использования полученных структур в качестве полупроводниковых анализаторов линейно-поляризованного излучения для ближней УФ области спектра.

Список литературы

- [1] Полупроводники $A^2B^4C_5$ / Под ред. Н. А. Горюновой, Ю. А. Валова. М., 1974. 376 с.
- [2] Isomura S., Masumoto K. // Phys. St. Sol. (a). 1971. V. 6. N 1. P. K139—K141.
- [3] Isomura S., Masumoto K. // Phys. St. Sol. (a). 1972. V. 13. N 2. P. 223—229.
- [4] Goryunova N. A., Poplavnoi A. S., Polygalov Yu. I., Chaldyshev V. A. // Phys. St. Sol. 1970. V. 39. N 1. P. 9—18.
- [5] Bhar G. C., Smith R. C. // Phys. St. Sol. (a). 1972. V. 13. N 1. P. 157—167.
- [6] Shileika A. // Surf. Sci. 1973. V. 37. N 4. P. 730—747.
- [7] Горбань И. С., Луговский В. В., Радзивил В. П. // ФТТ. 1972. Т. 14. В. 12. С. 3688—3690.
- [8] Gordth W., Heinrich A., Monecke J. // Phys. St. Sol. (b). 1979. V. 96. N 1. P. 201—209.
- [9] Ambrazevicius G., Babonas G., Sileika A. // Phys. St. Sol. (b). 1977. V. 82. N 1. P. K45—K48.
- [10] Шилейка А. Ю. // Многодолинные полупроводники / Под ред. Ю. Пожелы. Вильнюс, 1978. С. 143—193.
- [11] Лебедев А. А., Овезов К., Рудь Ю. В. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 1. С. 134—136.
- [12] Валов Ю. А., Лебедев А. А., Овезов К., Прочухан В. Д., Рудь Ю. В. // Письма ЖТФ. 1976. Т. 2. В. 22. С. 1042—1048.
- [13] Shay J. L., Buehler E. // Phys. Rev. B. 1971. V. 3. N 10. P. 2598—2601.
- [14] Мальцева И. А., Мамедов А., Прочухан В. Д., Рудь Ю. В. // ФТП. 1977. Т. 11. В. 11. С. 2153—2156.
- [15] Аверкива Г. К., Мамедов А., Прочухан В. Д., Рудь Ю. В. // ФТП. 1978. Т. 12. В. 9. С. 1732—1737.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получена 21.04.1988
Принята к печати 2.02.1989