

Фоточувствительность гетероструктур пористый кремний–слоистые полупроводники $A^{III}B^{VI}$

© А.А. Лебедев, В.Ю. Рудь*, Ю.В. Рудь

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194121 Санкт-Петербург, Россия

*Санкт-Петербургский государственный технический университет,
195251 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 6 июня 1997 г. Принята к печати 10 июня 1997 г.)

Выпрямляющие гетеропереходы с фоточувствительностью 1–5 В/Вт при $T = 300$ К получены образованием оптических контактов свободного пористого кремния со слоистыми полупроводниками InSe и GaSe. Широкополосный фотовольтаический эффект получен при освещении этих гетеропереходов со стороны пластины свободного пористого кремния. Длинноволновый край фоточувствительности этих устройств определяется прямыми переходами в InSe или GaSe соответственно. Сделано заключение, что гетеропереходы на основе пластин свободного пористого кремния могут применяться как широкополосные фотопреобразователи.

Обнаружение эффективной излучательной рекомбинации в видимом спектральном диапазоне сначала в кремнии, а затем и в бинарных алмазоподобных полупроводниках после анодного травления представляет несомненный интерес для изучения перспектив применения таких материалов в оптоэлектронике [1–3]. С этой целью изучаются возможности создания и свойства различных типов энергетических барьеров на пористом кремнии и других веществах. В настоящей работе приведены результаты исследования фоточувствительности гетеропереходов (ГП), полученных методом посадки на оптический контакт пластинок свободного пористого кремния (СПК) с пластинами прямозонных соединений InSe и GaSe с шириной запрещенной зоны при 300 К 1.23 и 2.0 эВ соответственно [4].

Монокристаллы соединений InSe и GaSe выращивались методом направленной кристаллизации близких к стехиометрическому составу расплавов. Электрически однородные кристаллы были n -типа проводимости с концентрацией свободных электронов $\approx 10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при 300 К. Для создания ГП из слитков выкалывались тонкие (40–80 мкм) плоскопараллельные пластины со средними размерами $4 \times 4 \text{ мм}^2$ и высококачественными плоскостями (0001). Последнее является следствием сильной анизотропии межатомных сил в полупроводниках $A^{III}B^{VI}$ [4].

В качестве второй компоненты ГП использовались пленки СПК с толщинами 40–100 мкм. Свободные пленки были получены в результате анодного травления исходных пластин p -Si с ориентацией (111) [5]. Оптическое качество поверхности пластин СПК, которая формируется при травлении со стороны монокристаллического кремния и сохраняется после отделения от подложки, оказалось примерно таким же, как и у пластин из $A^{III}B^{VI}$. Наружная поверхность пластин СПК в большинстве случаев была заметно хуже.

Гетеропереходы были получены путем равномерного механического прижима пластин СПК и $A^{III}B^{VI}$ друг к

другу в специальном держателе. Контакты к каждой из компонент ГП были припаяны чистым индием. Полученные таким образом структуры имели диодные вольт-амперные характеристики с коэффициентом выпрямления порядка 5–10 при ≈ 10 В. Пропускное направление в обоих типах структур было при отрицательной полярности внешнего напряжения на кристаллах $A^{III}B^{VI}$. При освещении ГП возникает фотоэдс, причем кристаллы $A^{III}B^{VI}$ заряжаются отрицательно относительно СПК. Фоточувствительность оказалась выше при освещении со стороны СПК и достигала $\approx 1-5$ В/Вт. Знак фотоэдс не зависел от энергии фотонов и локализации светового зонда на поверхности ГП. В работе [6] было показано, что структуры InSe–InSe и GaSe–GaSe, полученные путем посадки этих кристаллов на оптический контакт, имеют линейные вольт-амперные характеристики, т. е. на поверхности InSe и GaSe не образуются выпрямляющие барьеры. Из этих фактов можно сделать вывод, что фотовольтаический эффект обусловлен разделением неравновесных пар активной областью ГП, которая образуется между плоскостями СПК и $A^{III}B^{VI}$.

Квантовую эффективность η измеряли на линейном участке зависимости фотоэдс от интенсивности падающего на образец света и нормировали на число падающих квантов. Спектры η для нескольких образцов приведены на рис. 1 и 2. В случае ГП InSe/СПК длинноволновая граница фоточувствительности характеризуется экспоненциальной зависимостью от энергии фотона и при $\hbar\omega = 1.23$ эВ имеет четкую ступеньку или перегиб в спектральных зависимостях η у разных ГП (рис. 1). Энергетическое положение длинноволнового края η позволяет связать его с началом межзонных переходов в InSe. В экспериментах использовались контакты разных пластин СПК (рис. 1, кривые 1 и 2), или одна и та же пластина СПК приводилась в контакт с одной и той же плоскостью InSe своими разными плоскостями (рис. 1, кривые 2 и 3). Крутизна экспоненциального края η при этом изменяется в пределах от 11.5 до 38 эВ^{-1} ,

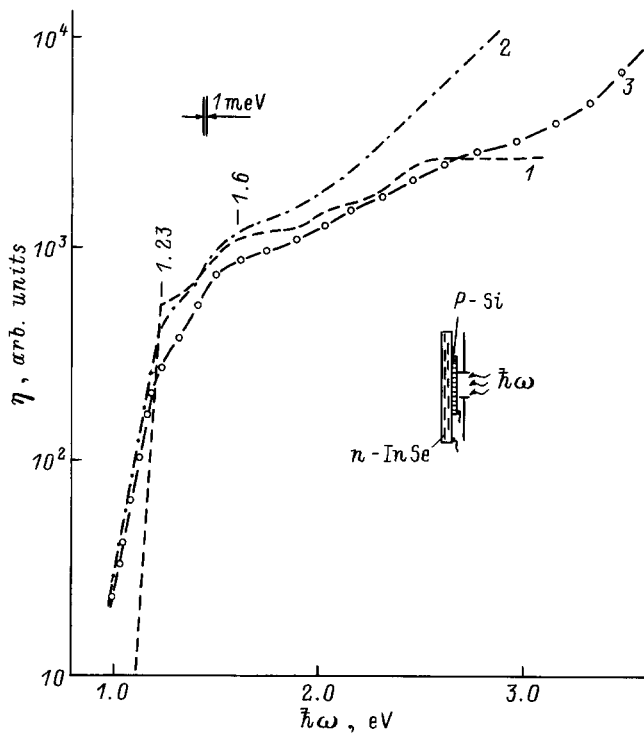


Рис. 1. Спектральные зависимости относительной квантовой эффективности фотопреобразования η гетеропереходов InSe/СПК при $T = 300$ К. На вставке — конструкция ГП и схема его освещения. Плоскость касания СПК с InSe: 1, 2 — плоскость со стороны подложки, 3 — плоскость со стороны травителя. Толщины пластин, мкм: 1 — 40, 2, 3 — 80, InSe — 80.

что может быть связано с изменениями в качестве границы сопряжения. В целом следует отметить, что спектры фотоэдс этих ГП в отличие от вольт-амперных характеристик оказались воспроизводимыми при замене одной пластины СПК на другую или при изменении плоскостей сопряжения СПК с InSe (рис. 1).

Главной особенностью спектров η в этих структурах является рост фотоответа в исследованном диапазоне $\hbar\omega$ вплоть до 3.5 эВ. Ступенька в окрестности $\hbar\omega \approx 1.6$ эВ соответствует спектральному положению широкой полосы стационарной фотолюминесценции СПК, а рост фотоответа при $\hbar\omega > 2$ эВ приходится на диапазон "быстрой" составляющей фотолюминесценции пористого кремния [7]. Поэтому есть основания полагать, что фоточувствительность данных ГП и фотолюминесценция СПК обусловлены одними и теми же оптическими переходами в СПК.

Другой вид ГП был получен при контакте тех же пластинок СПК с пластинками n -GaSe. Спектральные зависимости η этих переходов подобны предыдущим (рис. 2), но экспоненциальный длинноволновый край $\eta(\hbar\omega)$ смещен в коротковолновую сторону в соответствии с ростом E_G . Крутизна его в таких ГП обычно порядка 35–40 эВ⁻¹ и определяется прямыми межзонны-

ми переходами в GaSe. С ростом энергии фотонов выше ширины запрещенной зоны GaSe фоточувствительность либо возрастает (рис. 2, кривая 1), либо в диапазоне $\hbar\omega \approx 2$ –2.6 эВ остается практически неизменной и только при $\hbar\omega \gtrsim 2.6$ эВ наблюдается коротковолновый спад. На рис. 2 показаны типичные спектры $\eta(\hbar\omega)$ для двух ГП, отличающихся только использованными для сопряжения пластинками СПК, полученными в разных процессах, и "посаженных" на одну и ту же плоскость n -GaSe одной и той же своей стороной, которая была обращена к кремниевой подложке при изготовлении СПК. Поскольку эти же пластинки СПК в контакте с n -GaSe не обнаруживали различий в спектрах $\eta(\hbar\omega)$, есть основания полагать, что спад η при $\hbar\omega > 2.6$ эВ (рис. 2, кривая 2) вызван проявлением интерфейсной рекомбинацией неравновесных носителей при сопряжении СПК с GaSe. То обстоятельство, что и во втором типе ГП (рис. 2, кривая 1) при $\hbar\omega > 2.6$ эВ мы уже не наблюдаем проявившегося для структур InSe/СПК коротковолнового роста η (рис. 1), также не противоречит высказанному выше предположению относительно некоторого усиления рекомбинации на границе раздела при замене InSe на GaSe.

Фоточувствительность полученных ГП при их освещении линейно-поляризованным излучением вдоль нормали к плоскости СПК не обнаруживает какой-либо зависимости от положения плоскости поляризации во всей области фоточувствительности. Это связано с тем, что свет поступает в активную область ГП вдоль изотропного направления кристаллов A^{III}B^{VI} и поэтому естественный фотоплекроизм отсутствует.

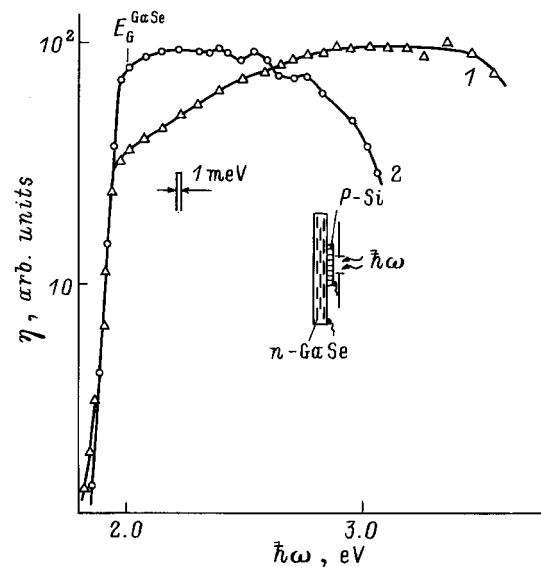


Рис. 2. Спектральные зависимости η гетеропереходов GaSe/СПК при $T = 300$ К. На вставке — конструкция ГП и схема его освещения. Номера ГП: 1 — 25–11, 2 — 27–5. Касание СПК с GaSe происходит по плоскости со стороны подложки. Толщины пластин, мкм: 1 — 80, 2 — 40, GaSe — 25.

Таким образом, в полученных методом посадки на оптический контакт ГП $A^{III}B^{VI}$ /СПК наблюдается широкополосный фотовольтаический эффект, который указывает на образование эффективного энергетического барьера на границе двух полупроводников. Такие структуры могут быть использованы для создания широкодиапазонных фотопреобразователей, длинноволновую границу чувствительности которых можно в некоторых пределах регулировать путем изменения состава твердых растворов InSe–GaSe [4].

Авторы благодарят Е.В. Астрову за предоставление образцов СПК и за обсуждение результатов исследований.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы "Физика твердотельных наноструктур" (проект № 1-079/4).

Список литературы

- [1] L.T. Canham. Appl. Phys. Lett., **57**, 1046 (1990).
- [2] А.А. Лебедев, Ю.В. Рудь. Письма ЖТФ, **21**, 80 (1995).
- [3] А.А. Лебедев, Ю.В. Рудь. Письма ЖТФ, **22**, 12 (1996).
- [4] *Физико-химические свойства полупроводниковых материалов. Справочник.* (М., Наука, 1978).
- [5] Е.В. Астрова, А.А. Лебедев, А.Д. Ременюк, Ю.В. Рудь. ФТП, **29**, 1649 (1995).
- [6] В.Л. Бакуменко, З.Д. Ковалюк, Л.Н. Курбатов, В.Г. Тагаев, В.Ф. Чишко. ФТП, **12**, 374 (1978).
- [7] В.Ф. Агекян, Ю.В. Рудь, Ю.А. Степанов, А.А. Лебедев. ФТТ, **38**, 2994 (1996).

Редактор В.В. Чалдышев

Photosensitivity of a porous silicon/ $A^{III}B^{VI}$ layer semiconductor heterojunctions

A.A. Lebedev, V.Yu. Rud*, Yu.V. Rud

A.F. Ioffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St. Petersburg, Russia

*State Technical University,
195251 St. Petersburg, Russia

Abstract Rectifying heterojunctions with photosensitivity $\simeq 5\text{ V/W}$ at 300 K were obtained by forming optical contacts of a free porous silicon (P-Si) with InSe and GaSe layer semiconductors. A wide-band of the photovoltaic effect was observed by illumination of those heterojunctions from the P-Si plate side. A long-wavelength edge of photosensitivity is determined by direct optical transitions in InSe or GaSe. It is concluded that heterojunction on the basis of P-Si plates may find application as wide-band photoconverters.