

06;12
©1995

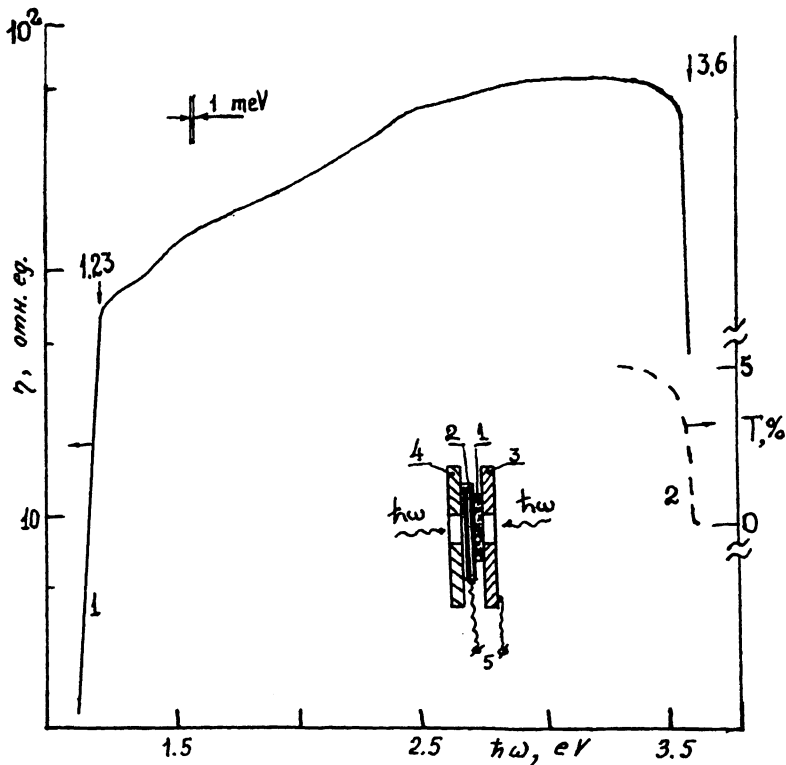
ОБНАРУЖЕНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЕТЕРОКОНТАКТОВ ПОЛУПРОВОДНИК/КОЖА ЧЕЛОВЕКА

В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь, В.Х.Шпунт

Хорошо известна и широко исследуется фоточувствительность контакта полупроводников между собой, а также полупроводников с электролитами, металлами, окислами разных веществ и т. п. [1-3]. Как видно, это гетероконтакты между неорганическими веществами. Недавно мы наблюдали фоточувствительность, возникающую на контакте полупроводников с зелеными листьями. Этим самым была открыта новая область применения веществ биологического происхождения в качестве активных материалов электроники. В данной работе, являющейся логическим развитием комплексного изучения физических свойств живой ткани [4-9], сообщается о первом наблюдении фотовольтаического эффекта, возникающего на границе полупроводника (на примере InSe) с кожей человека.

Фоточувствительные структуры (см. рисунок) получались приведением в непосредственный контакт поверхностей кожи человека и легко скалываемых пластин слоистого полупроводника InSe с зеркальными плоскостями, которые не нуждались в какой-либо дополнительной обработке. Кристаллы InSe были электрически однородными и имели концентрацию свободных электронов $\approx 10^{15}$ см⁻³ при $T = 300$ К. Структуры создавались следующим образом. Слои кожи площадью $\approx 5 \times 5$ мм и с толщинами $\approx 0.05-0.2$ мм монтировались на металлической пластине из алюминия, в которой имелось отверстие для освещения структуры. Одновременно пластина использовалась и в качестве электрического контакта к коже. Кристалл InSe с омическим контактом из индия помещался на слой кожи и прижимался стеклянной пластиной. Для стабильности во времени касание между кожей и полупроводником фиксировалось посредством пружины.

Исследования стационарных вольт-амперных характеристик показали, что контакт кожи с поверхностью InSe обладает выраженным выпрямлением. Пропускное направление соответствует отрицательной полярности внешнего смещения на полупроводнике, выпрямление для исследованных структур обычно находилось в пределах 5-10 при на-



Спектральные зависимости квантовой эффективности фотопреобразования η гетероконтакта InSe/кожа человека (1 — освещение неполяризованным излучением со стороны кожи, площадь контакта $\approx 20 \text{ мм}^2$, толщина InSe $\approx 0.15 \text{ мм}$, толщина слоя кожи $\approx 0.08 \text{ мм}$) и оптического пропускания кожи T (2 — толщина кожи $\approx 0.05 \text{ мм}$) при $T = 300 \text{ К}$. На вставке показана схема структуры и ее освещения при измерениях фотовольтагического эффекта: 1 — слой кожи, 2 — полупроводниковая пластина, 3 — контактная пластина из алюминия с диафрагмой, 4 — пластина из стекла, 5 — контакты).

пряжениях $\approx 50 \text{ В}$ и $T = 300 \text{ К}$. Согласно данным измерений термоэдс отторгнутой коже человека можно приписать дырочную проводимость, что в совокупности с полярностью пропускного направления может свидетельствовать о том, что кожа в этих структурах играет роль полупроводника p -типа проводимости. Остаточное сопротивление созданных структур обычно составляло $10^{10} - 10^{12} \text{ Ом}$ при $T = 300 \text{ К}$ и с учетом параметров кристаллов InSe определяется сопротивлением слоев кожи. С увеличением времени

выдержки кожи человека после ее отторжения остаточное сопротивление росло, что соответствовало усыханию кожи.

Освещение контактов кожа/ InSe , как правило, приводит к возникновению фотонапряжения. Согласно выполненным исследованиям знак фотонапряжения не зависит от длины падающего излучения и используемых геометрий освещения (см. рисунок, вставка). Полярность фотонапряжения такова, что кожа всегда заряжается положительно. На основании перечисленных закономерностей фотовольтаический эффект можно связать с разделением фотогенерированных носителей электрическим полем энергетического барьера, возникающего на границе сопряжения кожи с плоскостью скола селенида индия. Фоточувствительность структур $\text{InSe}/\text{кожа}$ доминирует при освещении со стороны кожи и составляет 5–10 В/Вт при $T = 300 \text{ K}$.

Типичная спектральная зависимость квантовой эффективности фотопреобразования одной из структур при ее освещении со стороны кожи, вычисленная как отношение фототока к числу падающих квантов естественного излучения, показана на рисунке (кривая 1). Длинноволновая граница фоточувствительности этих структур экспоненциальная и определяется прямыми межзонными переходами в InSe [10]. Этот вывод основан на высокой крутизне длинноволнового края фоточувствительности $\sim 80 \text{ эВ}^{-1}$ и соответствии энергетического положения ступеньки при $t\omega = 1.23 \text{ Эв}$ ширине запрещенной зоны InSe [10]. Коротковолновый спад квантовой эффективности η при освещении структур со стороны кожи соответствует положению границы оптического пропускания кожи (кривая 2) и по этой причине может быть связан с удалением области поглощения излучения от слоя объемного заряда структуры. Следовательно, в спектрах фотопреобразования структур кожа/ InSe налицо проявление типичного для твердотельных гетеропереходов эффекта окна [1]. Действительно, фоточувствительность легко получаемого контакта кожи человека с полупроводником доминирует в диапазоне между шириной запрещенной зоны InSe и коротковолновой границей прозрачности кожи человека [4], заполняя широкий диапазон энергий от 1.2 до 3.6 эВ. Полученные результаты дают основания считать, что в таком фотопреобразователе кожа выполняет функции широкозонной компоненты. В случае освещения этих структур со стороны InSe спектр фоточувствительности преобразуется в узкоселективный с пиком вблизи ширины запрещенной зоны полупроводника.

Таким образом, контакт полупроводника с кожей человека обладает фотовольтаическими свойствами, которые могут быть реализованы в разработках широкодиапазонных

фотопреобразователей оптического излучения и, в частности, для регистрации яркой видимой фотолюминесценции кожи человека [6], возбуждаемой коротковолновым излучением, включая и ультрафиолетовый диапазон. По отношению к гетероконтактам полупроводник/зеленые листья коротковолновая граница фоточувствительности структур InSe/кожа человека значительно смещена в высокоэнергетическую область в соответствии с изменениями области оптического пропускания излучения широкозонной компонентой.

Список литературы

- [1] Милнс А., Фойт Д. Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник. М.: Мир, 1975. 432 с.
- [2] Гуревич Ю.Я., Плесков Ю.В. Фотоэлектрохимия полупроводников. М., 1983. 312 с.
- [3] Симон Ж., Андре Ж.-Ж. Молекулярные полупроводники. Фотоэлектрические свойства и солнечные элементы. М.: Мир, 1988. 344 с.
- [4] Шпунт В.Х., Рудь Ю.В., Цэндин К.Д. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 13. С. 41-45.
- [5] Шпунт В.Х., Рудь Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 20. С. 37-39.
- [6] Шпунт В.Х., Рудь Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 13. С. 50-55.
- [7] Шпунт В.Х., Рудь Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 13. С. 56-59.
- [8] Шпунт В.Х., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 16. С. 73-78.
- [9] Шпунт В.Х., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 19. С. 65-69.
- [10] Физико-химические свойства полупроводниковых веществ. Справочник. М.: Наука, 1978. 339 с.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
28 ноября 1994 г.