

©1995 г.

ОБНАРУЖЕНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЕТЕРОКОНТАКТОВ ПОЛУПРОВОДНИК-ЗЕЛЕННЫЕ ЛИСТЬЯ

В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь, В.Х.Шпунт

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук,
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Получена 26 июля 1994 г. Принята к печати 2 августа 1994 г.)

Созданы выпрямляющие гетероконтакты между сколотой поверхностью n -InSe и зелеными листьями *Populus nigra* L. Обнаружен фотовольтаический эффект в диапазоне энергий фотонов 1.2–1.8 эВ при освещении структур со стороны листьев. Обсуждаются спектральные зависимости квантовой эффективности фотопреобразования в зависимости от геометрии освещения структур в сопоставлении со спектральной зависимостью оптического пропускания *Populus nigra* L. Отмечена практическая значимость обнаруженной фоточувствительности гетероконтактов нового типа.

Достаточно широко изучена фоточувствительность контакта полупроводников с различными твердыми и жидкими веществами (полупроводники, металлы, электролиты, живая ткань и т.д. [1–7]). В данной работе сообщается о первых наблюдениях фоточувствительности систем, представляющих собой непосредственный контакт между полупроводником и зелеными листьями растений, что может представить интерес в качестве одного из альтернативных направлений расширения круга материалов фотоэлектроники за счет чрезвычайно распространенных в природе объектов биологического происхождения.

Исследования проводились на зеленых листьях *Populus nigra* L., находящихся в биологическом контакте с материнским растением. В качестве полупроводника использовались сколотые пластины (толщины 10–70 мкм) InSe с зеркальными плоскостями. Монокристаллы InSe были электрически однородными с концентрацией свободных электронов $n = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и холловской подвижностью 50–70 $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ при $T = 300 \text{ К}$. Зеленые листья имели сопротивление 10^4 – $10^6 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и при помещении их в температурный градиент $\approx 20 \text{ град}/\text{см}$ обнаруживали термоэдс 3–5 мВ, знак которой дает основания считать, что подвижные носители в таких образцах имеют положительный заряд. Следовательно, приведение в непосредственный контакт естественной плоскости скола n -InSe с поверхностью листьев могло привести к получению

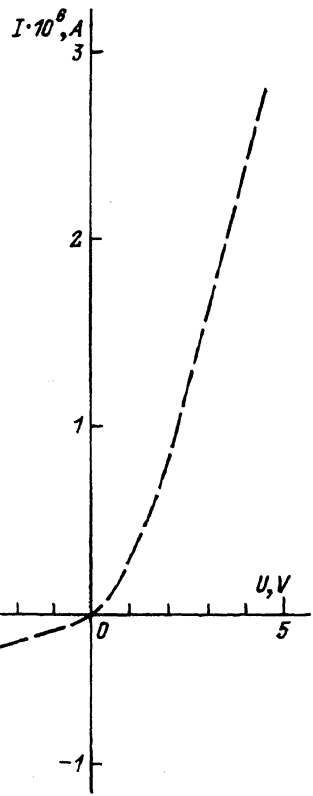


Рис. 1. Стационарная вольт-амперная характеристика структуры n -InSe/зеленый лист *Populus nigra* L. при $T = 300$ К. (Пропускное направление отвечает минусу внешнего напряжения смещения на кристалле InSe, площадь контакта $S \approx 0.3 \text{ см}^2$).

n - p -структуры. Наши эксперименты в данном направлении подтвердили факт образования на таком контакте выпрямляющих структур. Стационарная вольт-амперная характеристика одного из таких контактов представлена на рис. 1. Следует сказать, что параметры таких структур были хорошо воспроизводимыми и указывали на отсутствие какой-либо деградации, если листья находились в биологическом контакте с растением (процессы усыхания при отторжении пока мы не рассматриваем). При комнатных температурах и напряжениях смещений ≈ 5 В выпрямление в таких структурах находится в пределах 3-5.

При освещении полученных структур возникает фотовольтаический эффект, знак которого не зависит от энергии падающих фотонов в диапазоне 1-2 эВ и места локализации возбуждающего зондирующего излучения на поверхности структуры. Это позволяет считать, что фотовольтаический эффект определяется процессами разделения неравновесных носителей заряда в электрическом поле, возникающем в результате создания контакта между полупроводником и зеленым листом растения. Фотовольтаический эффект максимален при освещении структур со стороны листьев, которые всегда заряжаются положительно. Последний факт находится в соответствии с зонной диаграммой такого анизотипного контакта. Вольтаическая фоточувствительность созданных структур достигает 70-100 В/Вт, а токовая — 3-5 мкА/Вт при $T = 300$ К.

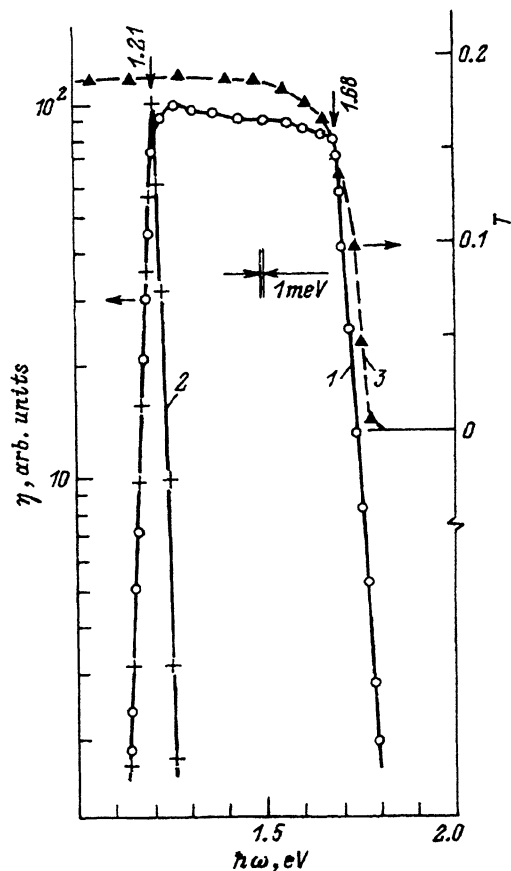


Рис. 2. Спектральные зависимости относительной квантовой эффективности в структуре $p\text{-InSe/зеленый лист } Populus nigra L.$ (1 — освещение со стороны зеленого листа, 2 — со стороны InSe) и оптического пропускания зеленого листа (3) толщиной 30 мкм при $T = 300\text{ K}$.

На рис. 2 приведены типичные спектральные зависимости относительной квантовой эффективности η фотопреобразования одной из полученных структур при $T = 300\text{ K}$. При освещении со стороны зеленого листа спектральная зависимость квантовой эффективности имеет характерный для классических гетероструктур вид, когда фоточувствительность сохраняется практически неизменной и достаточно значительной в диапазоне между ширинами запрещенных зон контактирующих полупроводников [1]. Действительно, в созданных структурах в диапазоне энергий фотонов от 1.2 до 1.7 эВ имеет место «эффект окна», который обычно достигается при освещении гетероструктуры со стороны ее широкозонной компоненты [1]. В рассматриваемом типе гетероструктур роль широкозонной компоненты играет зеленый лист. Энергетическое положение коротковолновой границы фоточувствительности в гетероструктурах InSe-[зеленый лист] совпадает с положением границы оптического пропускания излучения листом (рис. 2, кривые 1 и 3), что и приводит в конечном счете к понижению η при освещении со стороны листьев. Крутизна длинноволнового края η ($\approx 60\text{ эВ}^{-1}$) и его энергетическое положение (рис. 2, кривые 1 и 2) обусловлены прямыми межзонными переходами в веществе узкозонной компоненты гетероструктур — селениде индия. При освещении таких

структур со стороны n -InSe знак фотовольтаического эффекта сохраняется неизменным, а резкий коротковолновый спад η при $\hbar\omega \geq 1.21 \text{ эВ}$ вызван началом сильного поглощения оптического излучения в селениде индия и его локализацией в тонком приповерхностном слое на расстояниях, превышающих длину диффузионного смещения фотогенерированных дырок в InSe.

Таким образом, показано, что на границе полупроводника (InSe) с растением (зеленые листья *Populus nigra* L.) возникает фотовольтаический эффект, который может указывать на одну из возможных областей применения нового рода типа гетероконтактов.

Список литературы

- [1] А. Милнс, Д. Фойхт. *Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник* (М., Мир, 1975).
- [2] В.Л. Бакуменко, В.Ф. Чишко. *ФТП*, **11**, 2000 (1977).
- [3] V.Yu. Rud', Yu.V. Rud', M. Serginov. *Phys. St. Sol. (a)*, **121**, K171 (1990).
- [4] Н.М. Мехтиев, Ю.В. Рудь, Э.Ю. Салаев. *Микроэлектроника*, **14**, 217 (1985).
- [5] Н.Н. Константинова, М.А. Магомедов, В.Ю. Рудь. *ФТП*, **26**, 558 (1992).
- [6] В.Х. Шпунт, Ю.В. Рудь. *ЖТФ*, **19**, 37 (1993).
- [7] Ж. Симон, Ж.-Ж. Андре. *Молекулярные полупроводники* (М., Мир, 1988).

Редактор В.В. Чалдышев

Discovery of photosensitivity in semiconductor/green leaf heterostructures

V. Yu. Rud', Yu. V. Rud', V. Ch. Shpunt

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

It has been shown that the contact semiconductor/green leaf allows to fabricate photoconvertors with the voltage sensitivity up to 100 V/W at 300 K. The spectral response of the photosensitivity of these structures as a function of illumination geometry has been studied. The results obtained suggest using the application potential of the structures as photodetectors.