

СПЕКТРОСКОПИЯ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКОГО ТОКА –
 НАДЕЖНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ
 МОЛЕКУЛЯРНЫХ ФОТОПОЛУПРОВОДНИКОВ

Т.Н. Находкин, В.К. Перепелица

Целью настоящей работы является демонстрация возможностей метода спектроскопии фотовольтаического тока для исследования электронной структуры поли-*N*-эпоксипропилкарбазола (ПЭПК) – представителя класса органических молекулярных фотополупроводников.

На рис. 1 приведена спектральная зависимость максимальных квазистационарных значений фотовольтаического тока, измеренная в сэндвич-структуре *Al*-ПЭПК-*Al*. Верхней половине рисунка соответствует фотовольтаический ток такого направления, что освещаемый электрод заряжается положительно (J_{φ}^+), а нижней – от-

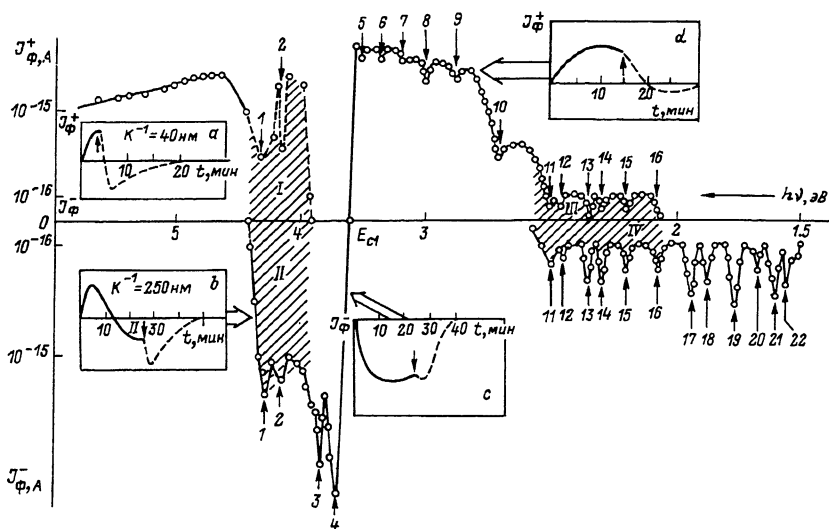


Рис. 1. Зависимость фотовольтаического тока J_{φ}^{\pm} от энергии квантов ($h\nu$) света в сэндвич-структуре *Al*-ПЭПК-*Al*. J_{φ}^+ направление фотовольтаического тока соответствует положительно, а J_{φ}^- отрицательно заряженному фронтальному электроду. На вставках α , β , γ , δ приведена кинетика измерения $J_{\varphi}^+(t)$ в соответствующих спектральных интервалах. В заштрихованных областях I-IV, III-IV фотовольтаический ток изменял направление в течение времени измерения.

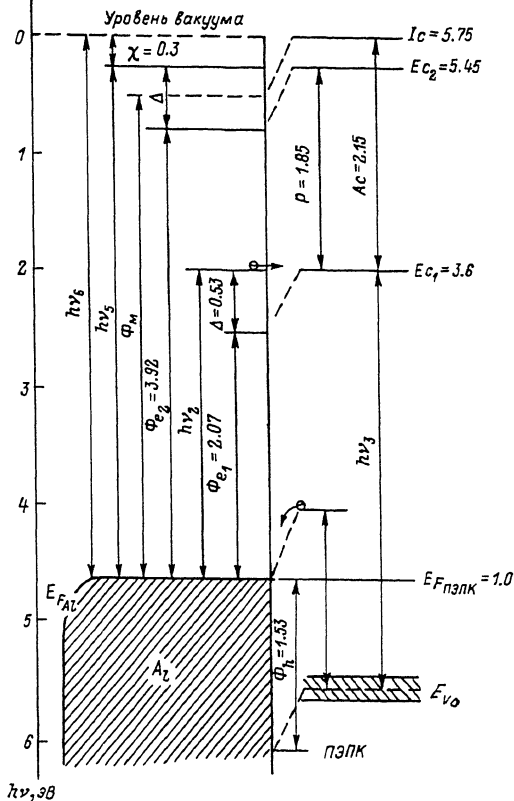


Рис. 2. Энергетическая диаграмма ПЭПК в контакте с алюминиевым электродом относительно уровня вакуума. На диаграмме обозначены: φ_h – порог инжекции электронов с верхнего валентного уровня ПЭПК – E_{V_0} на уровень Ферми $Al - E_{FAl}$; $\varphi_{e1}, \varphi_{e2}$ – пороги фотоинжекции электронов с E_{FAl} на дно первой (E_{C1}) и второй (E_{C2}) зон проводимости соответственно; φ_M – работа выхода Al ; χ, A_C – сродство к электрону молекулы и полупроводника ПЭПК соответственно; ρ – энергия поляризации; I_C – порог внешней фотоэмиссии электронов с E_{V_0} ПЭПК; $E_{Fпзк}$ – уровень Ферми ПЭПК; Δ – контактная разность потенциалов Al – ПЭПК.

рицательно ($J\bar{\varphi}$). Зависимость $J\varphi(h\nu)$ содержит 22 экстремума, коррелирующих с максимумами фототока, поглощения и флуоресценции, что свидетельствует об участии одной и той же системы электронных уровней ПЭПК во всех вышеназванных процессах. Кинетика фотовольтаического тока в различных областях энергий квантов света изображена на вставках a, b, c, d (рис. 1). Стрелками показаны моменты выключения освещения.

Рассмотрим полученные результаты с помощью гипотетической зонной диаграммы ПЭПК в контакте с Al электродом (рис. 2). При энергии квантов света $h\nu \geq \phi_h = 1.53$ эВ, соответствующей экстремуму 22 (рис. 1), начинается внутренняя фотоэмиссия электронов с верхнего валентного уровня (E_{V_0}) на локальные уровни в запрещенной зоне ПЭПК. Величина порога внутренней фотоэмиссии ϕ_h подтверждается отсечкой зависимости корня квадратного из фототока от энергии квантов света в нулевом поле.

При $h\nu \geq \phi_{e1} = 2.07$ эВ становится возможной инжекция электронов из Al на дно первой дискретной зоны проводимости, величина которой в соответствии с диаграммой равна $E_{c1} = \phi_{e1} + \phi_h = 3.6$ эВ, близка к ширине запрещенной зоны в родственном материале: поливинилкарбазоле (ПВК) [1].

Процесс фотоинжекции затрудняется наличием контактной разности потенциалов Al -ПЭПК (Δ) и конкурирующим процессом внутренней фотоэмиссии, приводящей к накоплению электронов на локальных уровнях (нейтральных ловушках) и возникновением противотока для инжекции. Фотовольтаический ток изменяет направление в процессе измерения (затрихованные области III-IV, рис. 1).

При $h\nu \geq h\nu_2 = \phi_{e1} + \Delta = 2.6$ эВ инжекция становится преобладающим процессом, ибо электроны легко преодолевают поле контактной разности потенциалов, а минимумы 5-10 связаны с внутренней фотоэмиссией.

Зная величины ϕ_h и Δ , нетрудно оценить положение уровня Ферми в ПЭПК относительно E_{V_0} : $E_{F\text{ПЭПК}} = \phi_h - \Delta = 1.0$ эВ. Полученная величина совпадает с уровнем Ферми ПВК [2].

При $h\nu \geq h\nu_3 = E_{c1} = 3.6$ эВ начинается объемная фотогенерация и разделение электронно-дырочной пары за счет различной подвижности электронов и дырок, что известно для ПЭПК [3]. Наблюдается эффект Дембера.

При $h\nu \geq \phi_{e2} = 3.92$ эВ совместно с объемной генерацией возникает противоборствующий процесс - инжекция электронов во вторую сплошную зону проводимости, величина которой $E_{c2} = \phi_{e2} + \phi_h = 5.45$ эВ близка к аналогичной в ПВК [4]. Фотовольтаический ток снова изменяет направление за время измерения (заштрихованная область I-II, рис. 1).

При $h\nu \geq h\nu_5 = \phi_{e2} + \Delta = 4.45$ эВ инжекция преобладает над фотогенерацией за счет уменьшения толщины слоя поглощения света с ростом энергии квантов.

После выключения света (см. вставки a , d , рис. 1) фотовольтаический ток изменяет направление, что связано с поляризацией образца и образованием „автофотозлектретного“ состояния.

Зная среднюю работу выхода Al ($\phi_M \approx 4.2$ эВ), можно оценить величину порога внешней фотоэмиссии ПЭПК: $I_c = \phi_M + \phi_h = 5.73$ эВ, которая, по нашим данным, совпадает с энергией максимума поглощения света, лежащего выше экситонных полос поглощения, а также с порогом внешней фотоэмиссии в ПВК [5, 6].

Ширина второй зоны проводимости делокализованных электронов, равная средству молекулы ПЭПК к электрону, составляет: $\chi = I_c -$

$-E_{c2} = 0.3$ эВ. Средство полупроводника к электрону $A_c = I_c - E_{c1} = 2.15$ эВ. Величина энергии электронной поляризации $P = A_c - \chi = E_{c2} - E_{c1} = 1.85$ эВ не расходится с измеренной для карбозола, составляющего скелет мономеров ПЭПК и ПВК [5].

Подобным методом в одном несложном эксперименте предлагается исследовать всю совокупность энергетических параметров и других фотополупроводников.

В заключение выражаем благодарность профессору В.Н. Добровольскому за полезное обсуждение.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] N o b u o U., K a z u y u k i S. // Дэнси сясин гаккайси, Electro photography. 1987. V. 26. N 3. P. 231-239.
- [2] Демидов К.Б., Акимов И.А., Газиев З.А. Тез. 1У Всес. конф. „Бессеребряные и необычные фотографические процессы“, Черногловка, 1983. С. 35.
- [3] Гайдялис В.И., Монтримас Э.А., Пажера А.А. // Лит. физ. сб. 1977. Т. 29. № 3. С. 383-393.
- [4] G i r o G., D i M a r c o P. // Thin Solid Films. 1979. V. 59. P. 91-97.
- [5] K a r l N. // J. Chem. Phys. 1972. V. 77. N 10. P. 4870-4878.
- [6] Z i e l i n s k y M., P o r e M. // Ann. Rept. Conf., N.Y. 1984. P. 528-531.

Киевский государственный
университет им. Т.Г. Шевченко

Поступило в Редакцию
5 мая 1989 г.
В окончательной редакции
20 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 22
06.2

26 ноября 1989 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ПОЛЯРНОСТИ $CdTe$ МЕТОДОМ СТОЯЧИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ВОЛН

Б.Г. Захаров, А.Ю. Казимиров,
В.Г. Кон, Е.А. Созонов,
А.Н. Сосфенов

Монокристаллы $CdTe$ в настоящее время считаются одними из наиболее важных среди полупроводников группы A_2B_6 для создания новых более эффективных устройств микроэлектроники [1]. Их кристаллическая структура относится к пространственной группе $F\bar{4}3m$ и обладает кристаллографической полярностью вдоль направления 111, которая обнаруживает себя в анизотропии физических