

Уникальные спектрально-люминесцентные свойства наноструктурированной поверхностно-замкнутой углеродной формы – фуллерена C_{60} – относят его к соединению, на основе которого могут быть разработаны новые материалы, имеющие значительные перспективы их использования в электронике, оптоэлектронике и других областях техники. Такие материалы обладают огромным потенциалом оптических приложений, в частности, как материалы, проявляющие оптическую нелинейность, т.е. данное соединение может быть использовано в устройствах по ограничению интенсивного светового излучения видимого диапазона. Более того, выполненные исследования показали, что фуллерен C_{60} в жидком растворе и твердотельной ТЭОС гель-матрице может быть использован в качестве компонента СЭ. Исследования показали, что наиболее перспективной технологией формирования наноструктурированных гетеропереходов СЭ является формирование нанокристаллитов фталоцианина меди в композитной матрице аморфного C_{60} в процессе вакуумного соосаждения компонент.

1. Harnessing Light. Optical Science and Engineering for the 21-st Century / Washington, 1998. – 550 p.
2. J. Plastic Solar Cells. / C. Brabec [et al.] // Adv. Funct. Mater. – 2001. – Voll. 11, № 1. – P.15-26.
3. Peumans, P. Very-high-efficiency double-heterostructure copper phthalocyanine- C_{60} photovoltaic cells / P. Peumans, R. Forrest // Appl. Phys. Lett. – 2001. – Vol. 79, № 17. – P. 126-128.

УДК 541.16

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ ФТАЛОЦИАНИНОВ И ПЕРИЛЕНОВ

¹Чернявский В.А. (канд. физ.-мат. наук), ²Шулицкий Б.Г., ¹Арабей С.М. (доктор физ.-мат. наук), ¹Болодон В.Н. (канд. биолог. наук), ¹Дымонт В.П. (канд. физ.-мат. наук, доцент), ¹Бутылина И.Б. (канд. хим. наук, доцент), ¹Нехайчик А.А.

¹Белорусский государственный аграрный технический университет

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

Для решения проблемы ограниченности спектрального диапазона и эффективности светопоглощения донорно-акцепторными компонентами гетероперехода солнечных элементов (СЭ) в последнее время успешно разрабатываются многоуровневые конструкции СЭ на основе комбинации гетеропереходов, эффективно поглощающих в узких спектральных диапазонах, но в совокупности перекрывающих большую часть спектрального диапазона солнечного излучения.

В настоящей работе для создания слоистой архитектуры СЭ последовательно формировались тонкие пленки органических материалов, пригодных в качестве компонент гетеропереходов. Для этого в работе использовались фталоцианин меди (CuPc), дибензимидазол-перилен-3,4,9,10-тетракарбоновой кислоты (PTCBI), а также 3,4-полиэтилен-диокситиофен полистиреносульфат (PEDOT:PSS). Были сформированы многослойные тонкопленочные системы и исследованы их фотоэлектрические и спектральные свойства одноуровневая ячейка СЭ (ячейка №1) – ITO/PEDOT:PSS/CuPc/PTCBI/Ag и двухуровневая ячейка СЭ (ячейка №2) – ITO/PEDOT:PSS/CuPc/PTCBI/Ag/CuPc/PTCBI/Ag. Толщина и последовательность слоев ячеек, а также их фотоэлектрические параметры ($I_{кз}$ – ток короткого замыкания, $U_{хх}$ – напряжение холостого хода, и η – интегральная энергетическая эффективность) при освещении модельным источником солнечного излучения AM1.5 ($W = 75$ мВт/см²) представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Толщина (в нм) и последовательность слоев фотовольтаических ячеек.

Номер ячейки	ITO	PEDOT: PSS	CuPc	PTCBI	Ag	CuPc	PTCBI	Ag
1	276,5	56,0	13,3	24,4	275,0	–	–	–
2	296,0	51,0	13,6	25,4	1,5	13,5	25,3	250,0

Таблица 2. Фотозлектрические параметры ячеек СЭ при освещении модельным источником солнечного излучения AM1,5.

Номер ячейки	И _{кз} , мА/см ²	U _{хх} , В	η, %
1	3,5	0,51	0,76
2	2,6	0,86	1,13

Спектральное распределение тока короткого замыкания $I_{кз}$ для исследованных ячеек и их спектры поглощения представлены на рисунке 1а и 1б.

Моделирование процессов взаимодействия электромагнитного излучения с исследуемыми ячейками в диапазоне эффективного поглощения донорно-акцепторных компонент CuPc и PTCBI (400 ÷ 800 нм) с учетом интерференционных явлений свидетельствует, что ячейка № 1 способна поглощать порядка 26,5% от энергии солнечного излучения в диапазоне 400 ÷ 800 нм. Расчеты показывают, что максимально возможное значение плотности фототока ячейки при освещении модельным источником солнечного излучения AM1,5 с $W = 75 \text{ мВт/см}^2$ в диапазоне 400 ÷ 800 нм при 100 %-ной квантовой эффективности преобразования фотон → электрон составит $19,5 \text{ мА/см}^2$. Для ячейки № 1 при 26,5 % поглощении этот параметр соответственно $5,1 \text{ мА/см}^2$.

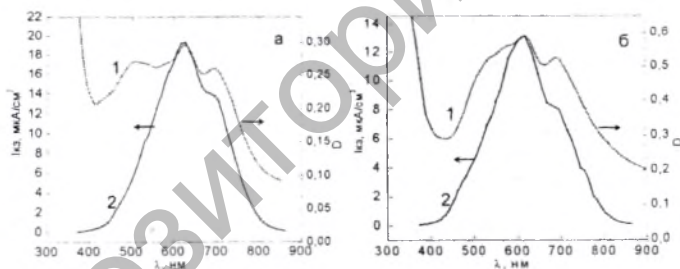


Рис. 1. Спектральное распределение токов короткого замыкания $I_{кз}$ (кривые 1) и спектры поглощения (кривые 2) ячеек № 1 (а) и № 2 (б).

Полученные значения $I_{кз}^{№2} = 3,5 \text{ мА/см}^2$ свидетельствуют об очень высокой интегральной внутренней квантовой эффективности ($IQE = 68 \%$) ячейки №2 в диапазоне 400 ÷ 800 нм. Рассчитанные на основании фотозлектрических параметров спектральные распределения внутренней и внешней квантовой эффективности (IQE и EQE соответственно) представлены на рисунке 2. Значение $IQE = 95 \%$ в диапазоне 600 ÷ 700 нм (рисунок 2а) свидетельствует, что наиболее эффективно в ячейке № 1 работает слой CuPc, в то время как для области поглощения PTCBI параметры значительно хуже. Значительное падение IQE для двухуровневой ячейки № 2 связано с возрастанием внутреннего сопротивления, но при этом значительно повышается последовательное сопротивление, свидетельствующее о снижении в двухуровневой ячейке рекомбинационных потерь и внутренних проколов на структурных дефектах.

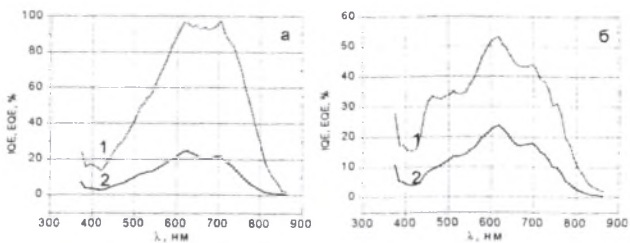


Рис.2. Спектральные распределения IQE (1) и EQE (2) для ячеек № 1 (а) и № 2 (б). Освещение модельным источником солнечного излучения AM1,5.

Высокое значение IQE = 95%, полученной для ячейки №1 в области поглощения CuPc 600 + 700 нм свидетельствует об эффективности процессов формирования тонких пленок CuPc в условиях наведенного молекулярного дипольного момента УФ-возбуждением на резонансных частотах поглощения. В предположении аналогичного повышения внутренней квантовой эффективности в спектральной области поглощения PTCBI (450 + 600 нм) можно говорить о большом потенциале данной донорно-акцепторной пары полупроводниковых фоторезистивных материалов для конструирования высокоэффективных фотовольтаических ячеек с многоуровневой архитектурой гетеропереходов.

Таким образом, в результате проведенных исследований получена высокая интегральная внутренняя квантовая эффективность (IQE = 68 %) в диапазоне 400 + 800 нм для одноуровневой ячейки на основе CuPc/PTCBI. Значение IQE = 95 % в диапазоне 600 + 700 нм свидетельствует, что наиболее эффективно в фотовольтаической паре работает слой CuPc (действенный процесс формирования тонких пленок CuPc в условиях наведенного дипольного момента молекул CuPc УФ-возбуждением на резонансных частотах поглощения), в то время как для области поглощения PTCBI параметры значительно хуже. Значительное падение IQE для двухуровневой ячейки связано с возрастанием внутреннего сопротивления и уменьшением последовательного сопротивления.