

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФУЛЛЕРЕНА C₆₀ – КОМПОНЕНТА ГЕТЕРОПЕРЕХОДА СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

¹Чернявский В.А. (канд. физ.-мат. наук), ¹Арабей С.М. (доктор физ.-мат. наук),
²Павич Т.А. (канд. хим. наук), ¹Болодон В.Н. (канд. биолог. наук), ¹Дымонт В.П. (канд.
физ.-мат. наук, доцент), ¹Бугылина И.Б. (канд. хим. наук, доцент), ¹Полушкина С.И.

¹*Белорусский государственный аграрный технический университет*
Минск, Беларусь

²*Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси*
Минск, Беларусь

Причиной ограниченной конкурентоспособности экологически чистой солнечной энергетики является высокая стоимость электрической энергии, конвертируемой солнечными элементами (СЭ) на основе Si, соединений A³B⁵ и A²B⁶ (30 ÷ 50 цент/кВт·ч при средневропейской стоимости электроэнергии 5 цент/кВт·ч) [1]. Прорыв к резкому удешевлению солнечных элементов ожидается в области твердотельных тонкопленочных конверторов солнечной энергии на основе гетеропереходов в донорно-акцепторных органических и гибридных органо-неорганических материалах на гибкой полимерной подложке рулонного типа. Сдерживающим фактором является низкая энергетическая эффективность таких СЭ (2 ÷ 4 %), вместо теоретически прогнозируемой – 30 % [2,3]. Увеличить эффективность СЭ позволит создание объемно-распределенных гетеропереходов, одним из компонентов которого будет являться фуллерен C₆₀. Установлено, что наиболее перспективной технологией формирования наноструктурированных гетеропереходов является формирование нанокристаллитов фталоцианина меди в композитной матрице аморфного фуллерена C₆₀ в процессе вакуумного соосаждения компонент. Важным этапом при создании гетеропереходов СЭ на основе предлагаемых органических компонентов является всестороннее исследование спектрально-люминесцентных и нелинейно-оптических свойств фуллерена C₆₀ в жидких растворах и твердотельных полимерных матрицах, что и явилось целью настоящей работы.

Исследование спектрально-люминесцентных свойств фуллерена C₆₀ выполнено в растворе ароматического углеводорода – толуоле, в котором растворимость C₆₀ одна из самых высоких, а также в твердотельной матрице тетраэтоксисилана (ТЭОС, матрица получена золь-гель методом). Спектр поглощения фуллерена C₆₀ в толуоле при комнатной температуре изображен на рисунке 1а, в ТЭОС гель-матрице – на рисунке 1б. Слабоинтенсивные полосы поглощения в области 650–500 нм соответствуют S₁←S₀ переходу, а интенсивная полоса с максимумом при 335 нм – S₂←S₀ переходу. Как видно из рисунка 1а, полоса поглощения при 475 нм, типичная для C₇₀, свидетельствует о присутствии незначительного количества данного фуллерена (как примеси) в исследуемом растворе. Спектр флуоресценции фуллерена C₆₀, полученный при возбуждении излучением с λ_{возб} = 475 нм, также изображен на рисунке 1а. На основании анализа зеркальной симметрии спектров флуоресценции и поглощения в области S₁↔S₀ переходов можно сделать вывод, что 0–0-полоса S₁→S₀ флуоресценции имеет максимум при 621 нм. Внедрение фуллерена C₆₀ в ТЭОС гель-матрицу слабо влияет на спектр поглощения фуллерена C₆₀ (рисунок 1б).

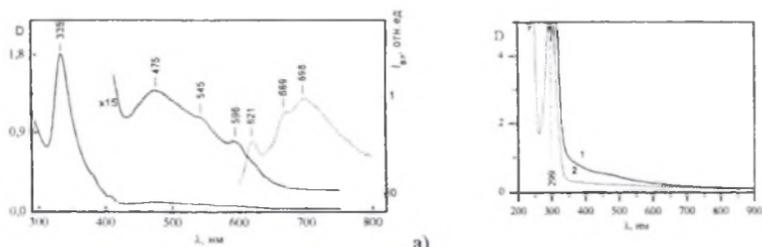


Рис. 1. Спектры поглощения (сплошная) и люминесценции (пунктирная, $\lambda_{\text{возб}} = 475 \text{ нм}$) фуллерена C_{60} в толуоле (а) и ТЭОС гель-матрице (б) (1 - ТЭОС гель-матрица, полученная из пиридинового раствора; 2 - ТЭОС гель-матрица, полученная из водной суспензии).

Методом пикосекундной лазерной спектроскопии было исследовано наведенное поглощение раствора фуллерена C_{60} в толуоле и в ТЭОС гель-матрице. Возбуждение осуществлялось третьей гармоникой Nd:YAG-лазера ($\lambda_{\text{возб}} = 354 \text{ нм}$) с частотой 1 Гц и длительностью импульса $\tau_{\text{имп}} = 30 \text{ пс}$. Зондирование раствора проводилось континуумом белого света, возбуждаемого основной гармоникой Nd:YAG-лазера ($\lambda = 1064 \text{ нм}$). Пропускание исследуемого раствора регистрировалось ПЗС-матрицей, которая позволяла одновременно фиксировать как опорный, так и исследуемый сигналы в режиме накопления, что значительно увеличивало точность измерений. На рисунке 2 представлены спектры наведенного синглет-синглетного (1) и триплет-триплетного (2) поглощения раствора фуллерена C_{60} в толуоле (рисунок 2а) и ТЭОС гель-матрице (рисунок 2б). Синглет-синглетное поглощение регистрировалось при нулевой задержке зондирующего импульса относительно импульса возбуждения, а триплет-триплетное поглощение – при задержке, равной 7,5 нс. Выбор такой временной задержки (7,5 нс) связан с тем, что время интеркомбинационной конверсии (переход $S_1 \rightsquigarrow T_1$) молекулы C_{60} ($\tau_{ST} \approx 0,6 \text{ нс}$) значительно меньше этой задержки, а квантовый выход флуоресценции незначителен. Как видно из рисунка 2а, раствор фуллерена обладает слабым синглет-синглетным поглощением в спектральной области 450 – 630 нм. Можно полагать, что широкая полоса поглощения с максимумом при 533 нм соответствует, вероятнее всего, $S_1 \rightarrow S_3$ переходу (в спектре стационарного поглощения имеется очень интенсивная полоса поглощения в области 260–290 нм (на рисунке 1а не показана)). Напротив, в спектре триплет-триплетного поглощения в области 550 – 850 нм наблюдается интенсивная полоса с максимумом при 748 нм. Этой полосе соответствует $T_1 \rightarrow T_n$ переход, т.е. переход на T_n -уровень, лежащий выше T_1 -уровня на $\sim 13370 \text{ см}^{-1}$. Как видно из рисунка 2б, в спектре триплет-триплетного поглощения фуллерена C_{60} в ТЭОС гель-матрице в области 650 – 800 нм наблюдается интенсивная полоса с максимумом при 758 нм. Максимум этой полосы смещен относительно соответствующего максимума для раствора примерно на 10 нм. Не исключено, что такая полоса Т-Т-поглощения фуллерена C_{60} (интенсивная и сдвинутая в длинноволновую область) может способствовать повышению эффективности СЭ.

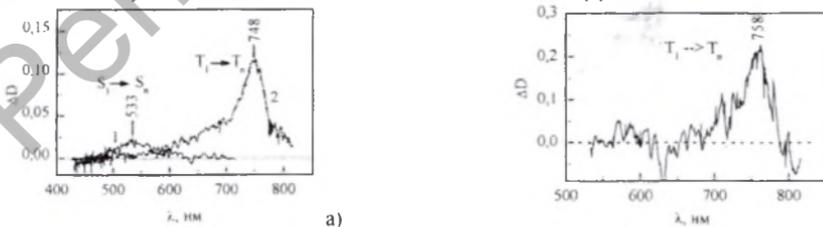


Рис. 2. Спектры наведенного поглощения раствора C_{60} в толуоле (а) и ТЭОС гель-матрице (б) при возбуждении третьей гармоникой Nd:YAG-лазера ($\lambda_{\text{возб}} = 354 \text{ нм}$, $\tau_{\text{имп}} = 30 \text{ пс}$)

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, $U_{ох}$ – 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.