Разработка гибких органических солнечных элементов на основе тиено[2,3-f]бензофурана и тиенопирролдиона

Э.А. Захидов[1], И.И. Тажибаев[*,1], Л.Р. Нурумбетова[1], Ш.К. Нематов[2], В.О Кувондиков[1], И.Р. Бойназаров[1], Ф.М. Рузиев[1]

[1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Дурмон йули 33, 100125, Ташкент, Узбекистан
[2] Ташкентский государственный технический университет, ул. Университетская 4, 100174, Ташкент, Узбекистан

Получена 27.08.2021

* Corresponding author: e-mail ilhom.tojiboyev@gmail.com Phone: +998 97 730 88 79

В настоящей работе мы разработали органический солнечный элемент из нового синтезированного полимера PTBFD на основе двумерного сопряженного полимера донорно-акцепторного типа и исследовали его характеристики сравнительно с традиционным материалом PBDTD. Оказалось, что оба полимера имеют схожие оптические свойства. Исследование XRD показало, что PTBFD имеет более сильную π-π связь, чем PBDTD, что подразумевает плотную укладку полимерных цепей. Фотовольтаические свойства были исследованы в различных комбинациях при одинаковых условиях изготовления. Органический солнечный элемент на основе PTBFD показал 4.33% эффективности преобразования энергии при напряжении холостого хода (V_{oc}) до 1.09 В, что привело к улучшению эффективности на 32% по сравнению с PBDTD.

Ключевые слова: Органические солнечные элементы, тиено[2,3-f]бензофуран, сопряженный полимер, спектры поглощения, напряжение холостого хода.

In this work, we have developed an organic solar cell from a new synthesized polymer PTBFD based on a two-dimensional conjugated polymer of the donor-acceptor type and comparatively investigated its characteristics with the traditional PBDTD material. Both polymers showed similar optical properties. XRD research showed that PTBFD has a more strong π-π bond than PBDTD, which implies more compactt packing of polymer chains. The photovoltaic properties were investigated in various combinations under the same manufacturing conditions. The organic solar cell based on PTBFD showed 4.33% energy conversion efficiency at open circuit voltage (V_{oc}) up to 1.09 V, resulting in a 32% improvement to comparision with PBDTD.

Keywords: Organic solar cells, thieno[2,3-f]benzofuran, conjugated polymer, absorption spectra, open circuit voltage.

https//doi.org/10.52304/.v23i2.243

I. Введение

В последние годы органические солнечные элементы (ОСЭ), изготовляемые в растворе с объемным гетеропереходом (ОГП), привлекли большое внимание из-за присущих им выгодных свойств, таких как низкая стоимость, легкость, гибкость, возможность производства с помощью технологии печати [1]. На сегодняшний день в однопереходных ОСЭ на основе фуллерена эффективность преобразования энергии (ЭПЭ) превышает 11% [2, 3]. В ОСЭ ОГП активный слой всегда включает сопряженные полимеры и производное фуллерена (такие как метиловый эфир [6,6]-фенил-C_{61}-масляной кислоты, $PC_{61}BM$ или метиловый эфир [6,6]-фенил-C71-масляной кислоты, $PC_{71}BM$) [4, 5]. Наряду с разработкой произ-

водных фуллерена, новые высокоэффективные сопряженные полимеры также необходимо развивать для коммерческих целей в будущем [6]. Что касается новых сопряженных полимеров, наиболее успешной стратегией их разработки является использование донорно-акцепторной сополимеризации. Основная цепь сопряженного полимера состоит из чередующихся единиц, богатых электронами, и единиц, не содержащих электроны вдоль основной цепи полимера [7]. Это связано с тем, что сопряженные полимеры донор-акцептор (Д-А) обладают большими преимуществами:

1) наличием широкого спектра поглощения, наряду с высоким коэффициентом экстинкции, что позволяет улавливать больше солнечных фотонов;

2) подходящими и легко настраиваемыми уровнями молекулярной энергии, что приводит к большему выбору подходящих акцепторов;

3) повышенной подвижностью заряда, что облегчает разделение и транспортировку зарядов [8].

При разработке высокоэффективных полимеров, сопряженных с Д-А, полимеры на основе тиено[2,3-ф]бензотиофена (BDT) вызвали большой интерес исследователей. В 2008 году блок BDT был впервые синтезирован Хоу и применен для разработки ОСЭ [9]. После этого ряд полимеров на основе BDT был синтезирован и исследован для создания ОСЭ многими исследовательскими группами. Например, звенья BDT были сополимеризованы с изоиндиго [10], хиноксалином [11], тиено[3,4-б]тиофеном [12] и другими акцепторными звеньями [13]. Среди этих полимеров полимеры на основе BDT с двумерными (2D) конъюгированными боковыми цепями обладали лучшими характеристиками, чем полимеры 1D на основе BDT, в отношении протяженности, конъюгирования, по всему полимеру [14]. Как аналог BDT, тиено[2,3-ф]бензофуран (TBF) в качестве нового строительного блока имеет одно тиофеновое кольцо звена BDT, замененное фурановым кольцом. Ожидается, что TBF на основе полимеров будет иметь более глубокий энергетический уровень HOMO для более сильной электроотрицательности атома кислорода по сравнению с атомом серы, и это будет полезно для получения высокого V_{oc} [15].

В то же время меньший радиус фурана также может сделать основную цепь TBF более плоской [16]. Эти характеристики делают блок TBF многообещающим для создания эффективных полимеров конъюгации Д-А.

Зоу и др. сообщили о новом 2D-полимере PTBFT на основе алкилтиенил-замещенного тиено [2,3-ф]бензофурана (TBF) и бензотиадиазола, который показывает более высокую ЭПЭ (6.4% с V_{oc} 0.8 В), намного выше, чем его аналог полимера PBDTT (ЭПЭ 4.9% с V_{oc} 0.75 В) [17]. В то же время о полимерах с высоким напряжением, превышающим 1 В при изготовлении устройств, до сих пор сообщалось редко. Эти характеристики делают блок TBF многообещающим для создания эффективных полимеров конъюгации Д-А. Однако в настоящее время исследования полимеров на основе TBF все еще далеко отстают от полимеров BDT. Учитывая преимущества блока TBF, необходимо разрабатывать новые полимеры на основе TBF и исследовать их фотоэлектрические свойства с целью достижения более высоких характеристик при высоком напряжении и обогащении полимеров типа TBF.

II. Описание объекта и методов исследования

Все реагенты были приобретены из коммерческих источников без дополнительной очистки. Все новые полимеры синтезировали в Институте биоэнергетики и технологии биопрецессов КНР. 2-(2-Этилгексил) тиофен1 синтезировали согласно литературным данным [18], тиено[2,3-f] бензофуран-4,8-дион2 получали по описанной методике в [17]. M1 синтезировали согласно данным [19], TPD получали по методике [20]. Спектры UV-Vis изучали на спектрофотометре Agilent Cary 60. Спектры ФЛ снимали на спектрофотометре Ocean Optics H2000+. Рентгеновскую дифракцию (XRD) изучали при комнатной температуре на спектрометре Bruker D8 ADVANCE с детектором общей площади. Толщину активного слоя образцов измеряли с помощью профилометра Veeco Dektak 150.

II.1 Изготовление и характеристики устройства

ОСЭ были изготовлены следующим образом: стеклянные подложки, покрытые ITO (15 Ом/см^2), были очищены детергентом, деионизированной водой, ацетоном и изопропиловым спиртом. Тонкий слой (около 40 нм) PEDOT: PSS (Bay-tron® P4083, фильтрация 0.45 мкм) сначала нанесли центрифугированием на предварительно очищенные стеклянные подложки с покрытием ITO при

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

3000 об/мин, затем отожгли при 140°C в течение 10 мин при обычных условиях. Смешанный раствор полимер $PC_{71}BM$ растворяли в хлорбензоле (ХБ) с массовым соотношением 1:1.5 и фильтровали через фильтр из политетрафторэтилена с порами 0.2 мкм. Смешанный раствор перемешивали 10 ч при температуре окружающей среды и 2 ч при 80°C. Затем активный слой наносили центрифугированием на стекло с покрытием ITO, модифицированным PEDOT:PSS, и отжигали на горячей плите при 100°C в течение 20 мин, что в итоге давало активный слой толщиной 100–140 нм в зависимости от разной скорости вращения. Оптимальная толщина активного слоя составляла около 135 нм. После этого раствор 0.2 мг/мл PFN в метаноле наносили методом центрифугирования на активный слой, который имел толщину около 5 нм. На заключительном этапе, выдержав подложки в среде высоким вакуумом ($<6\times10^{-7}$ Торр), термически напыляли слой алюминия (100 нм) на активный слой через теневые маски для определения активной области устройства. Активная площадь прибора, определяемая теневой маской, составляла 0.1 $см^2$. Характеристики плотности тока и напряжения (*J-V*) регистрировали с помощью измерителя Keithley 2420 при стандартном облучении 100 $мВт/см^2$ (AM 1,5 G) солнечным стимулятором Newport. Интенсивность света калибровали с помощью стандартного кремниевого солнечного элемента.

III. Результаты и обсуждение

III.1. Оптические и электрохимические свойства

Спектры поглощения UV PTBFD и PBDTD, в виде тонкой пленки, измеренные в хлороформе, показаны на рис. 1. Как PTBFD, так и PBDTD показали широкое и интенсивное поглощение в диапазоне видимого света 400–650 нм. PTBFD и PBDTD в основном обладали двумя полосами поглощения как в растворенном, так и в пленочном состояниях. А высокоэнергетическая полоса от 300 до 400 нм возникла из-за локализованного π-π* перехода. Низкоэнергетическая полоса в диапазоне 400–650 нм может быть приписана внутримолекулярному переносу заряда между электрон-богатым донорным TBF (BDT) и электрон-дефицитным акцепторным TPD, которые аналогичны другим сополимерам D-A [21, 22]. Ширина оптической запрещенной зоны ($E_{g\text{opt}}$) оценивается по началу положения поглощения в пленках. Оптические значения ширины запрещенной зоны 1.83 эВ и 1.85 эВ рассчитаны соответственно для PTBFD и PBDTD.

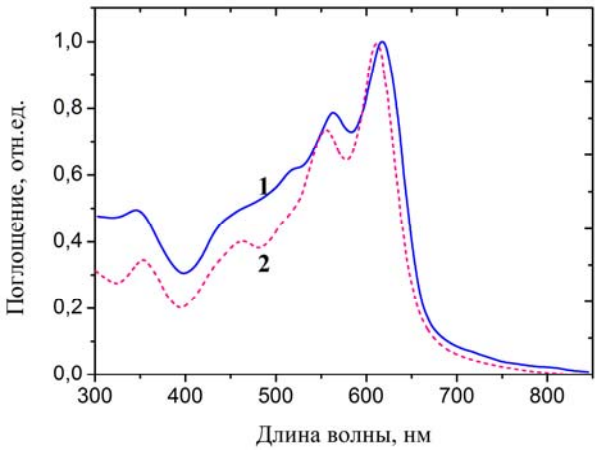


Рисунок 1. UV-спектры PTBFD (1) и PBDTD (2).

В табл. 1 приведены оптические данные, включая длину волны основного пика поглощения, длину волны края поглощения и оптические запрещенные зоны ($E_{g\text{opt}}$) для PTBFD и PBDTD.

Таблица1. Оптические свойства PTBFD и PBDTD.

Оптические свойства	PTBFD	PBDTD.
$\lambda_{мах}$ (нм)	619	612
$\lambda_{край}$ (нм)	678	670
$E_{g\text{opt}}$ (эВ)	1.83	1.85

Уровни энергии HOMO и LUMO для PTBFD и PBDTD могут быть рассчитаны с использованием уравнений, в которых ферроцен использовался в качестве внутреннего стандарта [24].

$$E_{\text{HOMO}} = -e(V_{\text{ox}} + 4.80 - V_{\text{ferro}}), \quad (1)$$

$$E_{\text{LOMO}} = -e(V_{\text{red}} + 4.80 - V_{\text{ferro}}), \quad (2)$$

где V_{ferro} – эталонный уровень энергии ферроцена, при измерениях он равен 0.21 В. Уровни энергии HOMO и LUMO для PTBFD были определены как –5.64 эВ, –3.66 эВ соответственно, а уровни энергии HOMO и LUMO для PBDTD были рассчитаны как –5.54 эВ, –3.67 эВ соответственно.

Несоответствие между электрохимической и оптической шириной запрещенной зоны может быть результатом пограничного барьера между

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

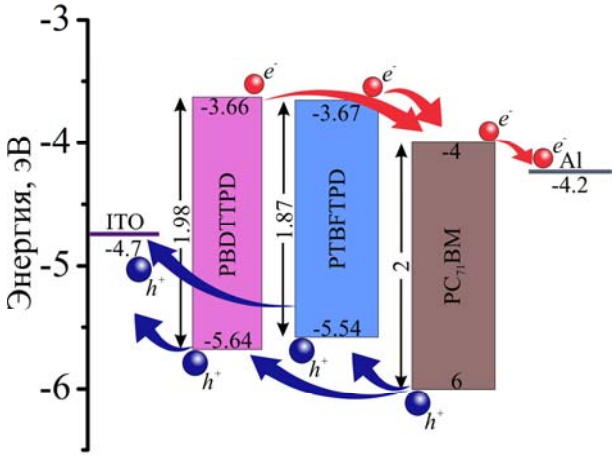


Рисунок 2. Диаграмма уровней энергии PTBFD и PBDTD.

полимерной пленкой и поверхностью электрода [25]. Как показано на рис. 2, большая разница между уровнями энергии HOMO для PTBFD (или PBDTD) и $PC_{71}BM$ [23] будет обеспечивать эффективный перенос/диссоциацию заряда [26]. Хорошо известно, что V_{oc} почти прямо пропорционально разнице между уровнем HOMO полимера и уровнем LUMO $PC_{71}BM$ [27], поэтому более глубокий уровень энергии HOMO PTBFD, чем у PBDTD, будет способствовать более высокому V_{oc} в полученных солнечных элементах.

III.2. Рентгеновская дифракция

XRD рентгеновских лучей использовали для исследования поведения полимерных цепей в стопке. Диаграммы рентгеновской дифракции скользящего падения PTBFD и PBDTD в пленке показаны на рис. 3.

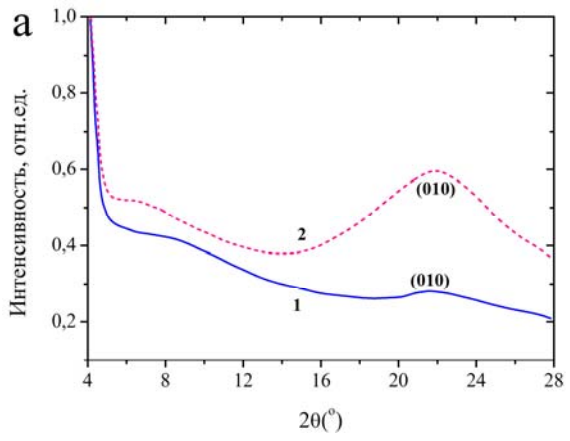


Рисунок 3. Рентгенограммы исходных пленок PTBFD и PBDTD.

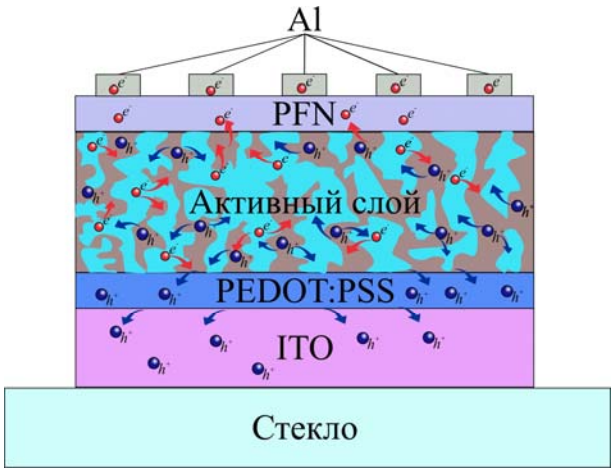


Рисунок 4. Конструкция устройства, изготовленного из обычного органического фотоэлемента.

Как видно на рис. 3, PTBFD показывает сильное отражение при 22.5° из-за его плоскости (010), что соответствует π-π расстоянию 3.94 Å. В PBDTD однако наблюдалось более слабое отражение при 21.5° из-за его плоскости (010), что соответствует расстоянию упаковки π-π 4.14 Å. Более сильный пик отражения и меньшее расстояние *p-p* стэкинга в PTBFD указывают на то, что PTBFD имеет сильную тенденцию к кристаллизации и более плотную укладку цепей, которые являются благоприятными для переноса заряда [28].

III.3. Фотоэлектрические свойства

Чтобы исследовать фотоэлектрические характеристики PTBFD, объемные ОСЭ с гетеропереходом были изготовлены с использованием смеси PTBFD/$PC_{71}BM$ в качестве активного слоя со структурой устройства ITO/PEDOT:PSS/активный слой/PFN/Al (рис. 4). Активный слой был нанесен центрифугированием из раствора в хлорбензоле. Al был выбран в качестве катода для сбора электронов с тонким слоем PFN, который является хорошо известным межфазным материалом для улучшения фотоэлектрических характеристик. Оптимизированное массовое соотношение PTBFD и $PC_{71}BM$ составляло 1:1.5. Известно, что добавка к растворителю, н-р 1,8-диодоктана (ДИО), играет важную роль в определении рабочих характеристик устройства. В настоящей работе были изготовлены устройства PTBFD с различными ДИО. На рис. 5а показаны кривые вольтамперных характеристик для устройств PTBFD/$PC_{71}BM$ при различных добавленных объемах ДИО. Обнаружено, что устройство PTBFD с

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

2 об.% ДИО дает V_{oc} = 1.2 В, J_{sc} = 4.01 мАсм$^{-2}$ и FF 49.7%, в результате чего ЭПЭ составляет 2.03%. Когда ДИО был увеличен до 3 об.%, ЭПЭ был улучшен до 3.0% с помощью улучшенных J_{sc} и FF (см. таблицу 2). При дальнейшем увеличении количества ДИО было обнаружено снижение производительности устройства.

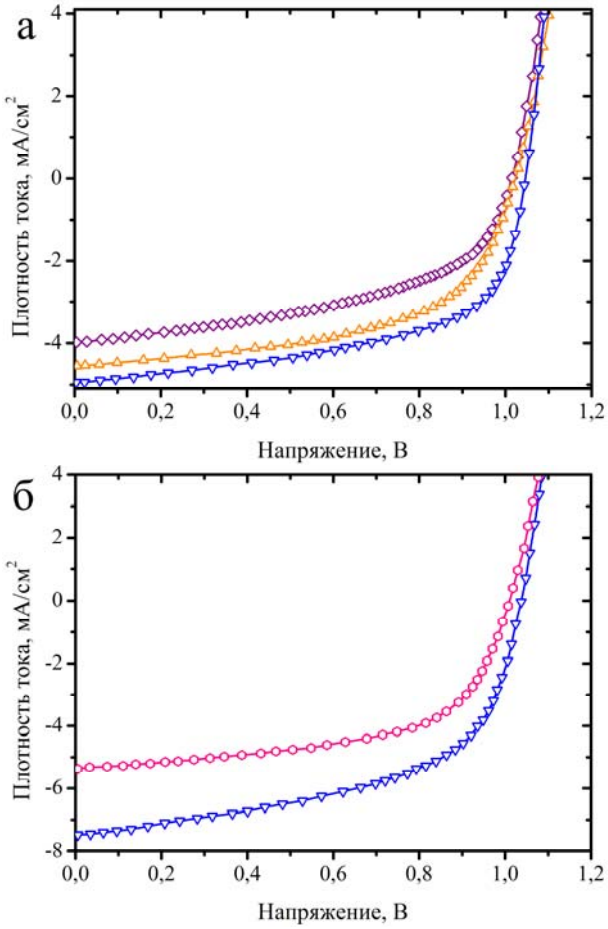


Рисунок 5. Вольтамперные характеристики фотоэлементов на основе PTBFD:$PC_{71}BM$ и PBDTD:$PC_{71}BM$. а) PTBFD:$PC_{71}BM$ при различных значениях ДИО (ромбики – при 2% ДИО, треугольники – при 4% ДИО, перевёрнутые треугольники – при 3% ДИО); б) при 3% ДИО с отжигом (кружки – PBDTD: $PC_{71}BM$, перевёрнутые треугольники – PTBFD:$PC_{71}BM$).

Однако при тех же условиях изготовления устройств только устройство на основе PBDTD показало ЭПЭ 2.78% с более низким J_{sc}.

Термический отжиг – эффективный способ улучшить характеристики устройства. Чтобы изучить влияние термической обработки на характеристики солнечных элементов, смешанная пленка PTBFD/$PC_{71}BM$ была выдержана при разных

Таблица 2. Фотоэлектрические параметры полимеров/$PC_{71}BM$, измеренные при освещении в смоделированных условиях AM 1.5G (100 мВт/см^2).

Д/А	V_{oc},V	J_{sc}, mA/cm^2	FF, %	ЭПЭ (%)
PTBFD:$PC_{71}BM^a$	1.04	4.96	58.2	3.00
PBDTD:$PC_{71}BM^a$	1.02	4.53	59.9	2.78
PTBFD:$PC_{71}BM^b$	1.09	7.51	52.9	4.33
PBDTD:$PC_{71}BM^b$	1.02	5.53	58.3	3.29

температурах, в течение разного времени перед нанесением катода. Видно, что оптимизированные условия термической обработки составили 100°C в течение 30 минут. Фотовольтаические параметры устройства PTBFD/$PC_{71}BM$ с термической обработкой, показанные на рис. 5b, свидетельствуют, что ЭПЭ устройства PTBFD/$PC_{71}BM$ с улучшенными J_{sc} 7.51 мА/см$^{-2}$, FF 52.9% и V_{oc} до 1.09 В увеличен до 4.33%, это на 44% лучше по сравнению с устройством без термической обработки. И это является одним из самых высоких значений V_{oc} в ОСЭ с одиночным объемным гетеропереходом. Однако в тех же оптимизированных условиях устройство PBDTD/$PC_{71}BM$ дало только ЭПЭ 3.29% при V_{oc} = 1.02 В, J_{sc} = 5.53 мА/см^2 и FF 58.3% (см. табл. 2). Значительное повышение производительности устройства в PTBFD по сравнению с PBDTD, мы полагаем, связано с лучшей π-π связью в PTBFD, о чем свидетельствует измерение XRD, которая может обеспечить подходящую морфологию $PC_{71}BM$ и лучший путь для переноса и сбора дырок. Наблюдаемое более высокое V_{oc} до 1.09 В в устройстве PTBFD/$PC_{71}BM$ объясняется более низким уровнем энергии HOMO для PTBFD и ролью PFN.

IV. Заключение

Нами был разработан ОСЭ на основе сопряженных полимеров PTBFD и PBDTD. Оптические и электрохимические свойства, поведение молекулярной цепочки и фотоэлектрические свойства были системно исследованы. Оба полимера показали сходные оптические свойства. PTBFD имел немного более узкую ширину запрещенной зоны, 1.83 эВ, в то время как ширина запрещенной зоны 1.85 эВ была определена для PBDTD. PTBFD показал более глубокий уровень энергии HOMO, 5.64 эВ, что на

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

0.10 эВ ниже, чем у PBDTD. Исследование XRD показало, что PTBFD имеет более близкий π-π стэкинг, чем PBDTD. Фотоэлектрические свойства были исследованы в различных условиях, был получен оптимизированный ЭПЭ 4.33% с V_{oc} до 1.09 В, что привело к улучшению эффективности на 32% по сравнению с устройством на основе PBDTD/$PC_{71}BM$ при тех же условиях. Эти результаты указывают на многообещающие перспективы тиено[2,3-ф]бензофуранового звена для высокоэффективных полимерных солнечных элементов с высоким напряжением.

Метаданные

Development of flexible organic solar cells based on thieno[2,3-f]benzofuran and thienopyrroldione

E.A. Zakhidov[1], I.I. Tajibaev[1], A.A. Saparbaev[1], Sh.K. Nematov[2], V.O. Kuvondikov[1], I.R. Boynazarov[1], F.M. Ruziev[1]

[1]Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, Durmon yuli str. 33, 100125, Tashkent, Uzbekistan
[2]Tashkent State Technical University, University str. 4, 100174, Tashkent, Uzbekistan

In this work, we have developed an organic solar cell from a new synthesized polymer PTBFD based on a two-dimensional conjugated polymer of the donor-acceptor type and comparatively investigated its characteristics with the traditional PBDTD material. Both polymers showed similar optical properties. XRD research showed that PTBFD has a more strong π-π bond than PBDTD, which implies more compactt packing of polymer chains. The photovoltaic properties were investigated in various combinations under the same manufacturing conditions. The organic solar cell based on PTBFD showed 4.33% energy conversion efficiency at open circuit voltage (V_{oc}) up to 1.09 V, resulting in a 32% improvement to comparision with PBDTD.

Keywords: Organic solar cells, thieno[2,3-f]benzofuran, conjugated polymer, absorption spectra, open circuit voltage.

Литература

[1] E. Zakhidov, M. Imomov, V. Quvondikov, S. Nematov, I. Tajibaev, A. Saparbaev, R. Yang. Applied Physics A **125**(11), 1-7 (2019).
[2] V. Vohra, K. Kawashima, T. Kakara, T. Koganezawa, I. Osaka, K. Takimiya, H. Murata. Nature Photonics **9**(6), 403-408 (2015).
[3] J. Zhao, Y. Li, G. Yang, K. Jiang, H. Lin, H. Ade, et al. Nature Energy **1**(2), 1-7 (2016).
[4] H. Yao, R. Yu, T.J. Shin, H. Zhang, S. Zhang, B. Jang, J. Hou. Advanced Energy Materials **6**(15), 1600742 (2016).
[5] S. Shi, J. Yuan, G. Ding, M. Ford, K. Lu, G. Shi, et al. Advanced Functional Materials **26**(31), 5669-5678 (2016).
[6] J. Fan, Y. Zhang, C. Lang, M. Qiu, J. Song, R. Yang,.et al. Polymer **82**, 228-237 (2016).
[7] I. Osaka, M. Shimawaki, H. Mori, I. Doi, E. Miyazaki, T. Koganezawa, et al. Journal of the American Chemical Society **134**(7), 3498-3507 (2012).
[8] J. Hou, M.H. Park, S. Zhang, Y. Yao, L.M. Chen, J.H. Li, et al. Macromolecules **41**(16), 6012-6018 (2008).
[9] Y. Yang, R. Wu, X. Wang, X. Xu, Z. Li, K. Li, et al. Chemical Communications **50**(4), 439-441 (2014).
[10] X. Xu, Y. Wu, J. Fang, Z. Li, Z. Wang, Y. Li, et al. Chemistry–European Journal A **20**(41), 13259-13271 (2014).
[11] L. Huo, S. Zhang, X. Guo, F. Xu, Y. Li, et al. J. Angewandte Chemie International Edition **50**(41), 9697-9702 (2011).
[12] T. Liu, X. Pan, X. Meng, Y. Liu, D. Wei, W. Ma, et al. Advanced Materials **29**(6), 1604251 (2017).
[13] H. Yao, H. Zhang, L. Ye, W. Zhao, S. Zhang, et al. ACS Applied Materials & Interfaces **8**(6), 3575-3583 (2016).
[14] X. Chen, B. Liu, Y. Zou, L. Xiao, X. Guo, Y. He, et al. Journal of Materials Chemistry **22**(34), 17724-17731 (2012).
[15] Z. Zhao, H. Nie, C. Ge, Y. Cai, Y. Xiong, J. Qi, et al. Advanced Science **4**(8), 1700005 (2017).
[16] L. Fan, R. Cui, X. Guo, D. Qian, B. Qiu, J. Yuan, Y. Zou. Journal of Materials Chemistry C **2**(28), 5651-5659 (2014).
[17] L. Liu, J. Song, H. Lu, H. Wang, Z. Bo. Polymer Chemistry **7**(2), 319-329 (2016).
[18] J. Zhou, Y. Zuo, X. Wan, G. Long, Q. Zhang, W. Ni, Y. Chen. Journal of the American Chemical Society **135**(23), 8484-8487 (2013).
[19] C. Cabanetos, A.El Labban, J.A. Bartelt, J.D. Douglas, W.R. Mateker, J.M. Fréchet, P.M. Beaujuge. Journal of the American Chemical Society **135**(12), 4656-4659 (2013).
[20] C. Piliego, T.W. Holcombe, J.D. Douglas, C.H. Woo, P.M. Beaujuge, J.M. Fréchet. Journal of the American Chemical Society **132**(22), 7595-7597 (2010).
[21] Y. Zou, A. Najari, P. Berrouard, S. Beaupré, B.Réda Aich, Y. Tao, M. Leclerc. Journal of the American Chemical Society **132**(15), 5330-5331 (2010).
[22] J.M. Jiang, H.K. Lin, Y.C. Lin, H.C. Chen, S.C. Lan, C.K. Chang, K.H. Wei. Macromolecules **47**(1), 70-78 (2014).
[23] B.W. D'Andrade, S. Datta, S.R. Forrest, P. Djurovich, E. Polikarpov, M.E. Thompson. Organic Electronics **6**(1), 11-20 (2005).
[24] N. Wang, X. Bao, Y. Yan, D. Ouyang, M. Sun, V.A.L. Roy, R. Yang. Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry **52**(22), 3198-3204 (2014).
[25] J. Cao, W. Zhang, Z. Xiao, L. Liao, W. Zhu, Q. Zuo, L. Ding. Macromolecules **45**(3), 1710-1714 (2012).
[26] B.C. Thompson, J.M. Fréchet. Angewandte Chemie International Edition **47**(1), 58-77 (2008).
[27] A.C. Stuart, J.R. Tumbleston, H. Zhou, W. Li, S. Liu, H. Ade, W. You. Journal of the American Chemical Society **135**(5), 1806-1815 (2013).

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

[28] R. Zhao, Z. Bi, C. Dou, W. Ma, Y. Han, J. Liu, L. Wang. Macromolecules **50**(8), 3171-3178 (2017).
[29] M. An, F. Xie, X. Geng, J. Zhang, J. Jiang, Z. Lei, L. Ding. Advanced Energy Materials **7**(14), 1602509 (2017).

Тиено[2,3-f]бензофуран ва тиенопирролдион асосида эгилувчан органик қуёш элементларини ишлаб чиқиш

Э.А Захидов[1], И.И. Тажибаев[1], А.А Сапарбаев[1], Ш.К. Нематов[2], В.О Кувондиков[1], И.Р. Бойназаров[1], Ф.М. Рўзиев[1]

[1]ЎзР ФА Ион-плазма ва лазер технологиялари институти, Дурмон йўли 33, 100125, Тошкент, Ўзбекистон
[2]Тошкент давлат техника университети, Университет к. 4, 100174, Тошкент, Ўзбекистон.

Мазкур мақолада биз донор-акцептор туридаги боғланган полимер туридаги янги синтез қилинган PTBFD асосида органик қуёш элементини ишлаб чиқдик ва унинг характеристикаларини анъанавий материал PBDTD билан қиёсий тарзда тадқиқ қилдик. Иккала полимер материали хам деярли бир хил оптик хоссаларга эга. XRD тадқиқотлари PTBFD полимери PBDTD нисбатан кўпроқ π-π боғларга эга эканлигини кўрсатди. Бу эса полимер занжирини зичроқ жойлашишини англатади. Фотовольтаик хоссалар бир хил тайёрлаш шароитларида турли комбинацияларда тадқиқ қилинди. PTBFD асосидаги органик қуёш элементи 1.09 В гача очиқ занжир кучланишида 4.33% энергия ўзгартириш самарадорлигини кўрсатди ва ушбу кўрсаткични PBDTD нисбатан 33% яхшиланишга олиб келди.

Калит сўзлар: Органик қуёш элементлари, тиено[2,3-f]бензофуран, боғланган полимерлар, ютилиш спектри, очиқ занжир кучланиши.

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.