

УДК 541.64.535.3

НОВОЕ ПРОИЗВОДНОЕ 4,5-ДИАЗА-9,9'-СПИРОБИФЛУОРЕНА — ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ АКЦЕПТОР ДЛЯ НЕФУЛЛЕРЕНОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

С. А. Ку克林^{1,*}, И. О. Константинов¹, А. С. Перегудов¹, И. Е. Остапов²,
А. Г. Буяновская¹, И. Ю. Торопыгин³, академик РАН А. Р. Хохлов¹, И. Зоу (Y. Zou)⁴,
Д. Ю. Годовский¹, М. Л. Кештов¹

Поступило 30.11.2018 г.

Синтезировано новое производное 4,5-диаза-9,9'-спиробифлуорена **8**, содержащее два электронно-акцепторных перилендимидных фрагмента. Полученное соединение охарактеризовано спектроскопией ЯМР, элементным анализом, УФ-спектроскопией и циклической вольтамперометрией. Энергии ВЗМО/НСМО соединения **8** равны $-5,81$ эВ/ $-3,89$ эВ; величины $E_g^{\text{opt}} = 1,75$ эВ и $E_g^{\text{ex}} = 1,92$ эВ. Низкие значения энергий ВЗМО/НСМО и интенсивное поглощение в видимой области УФ-спектра указывают на возможность потенциального использования соединения **8** в качестве перспективного электронного акцептора для нефуллереновых полимерных солнечных фотоэлементов.

Ключевые слова: полимерные солнечные фотоэлементы, нефуллереновые акцепторы, производные перилендимидов, узкозонные полимеры, циклическая вольтамперометрия, УФ-спектроскопия, кросс-сочетание по Стилле.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524853311-316>

К настоящему времени достигнут значительный прогресс в области полимерных солнечных фотоэлементов (ПСФ). В последние несколько лет наметилась тенденция к использованию в качестве акцепторной фазы органических электронных акцепторов взамен традиционно используемых производных фуллеренов PC₆₀BM и PC₇₀BM [1]. Такой подход позволяет преодолеть недостатки, присущие фуллереновым акцепторам, такие как слабое поглощение в видимой области и сложность изменения ширины запрещённой зоны, обусловленные сложностью химической модификации фуллерена.

Нефуллереновые ПСФ успешно конкурируют по эффективности с традиционными фуллереновыми, а зачастую и превосходят их. Так, недавно максимальное значение величины достигнутого КПД превысило 14% для ПСФ на основе смеси полимера PDTB-EF-T и акцептора IT-4F [2]. Основной задачей органической фотовольтаики в настоящее время является поиск новых донорных и акцептор-

ных материалов для дальнейшего наращивания эффективности ПСФ.

Акцепторные материалы на основе перилендимидов (PDI) привлекают к себе особое внимание прежде всего благодаря возможности синтеза органических полупроводников *n*-типа. Высокая электронная проводимость материалов на основе PDI и их акцепторные свойства в основном связаны со следующими факторами: а) наличие сильных электронно-оттягивающих имидных групп, понижающих энергии граничных НСМО полупроводника, что облегчает перенос электронов от полимера-донора и стабилизирует образующиеся при этом анион-радикалы; б) хорошее π -сопряжение внутри PDI-фрагмента способствует межмолекулярному транспорту зарядов; в) удалённость *N*-алкильных заместителей от ароматического ядра минимизирует стерические контакты, поэтому возможно достижение минимальных межмолекулярных расстояний, благоприятных для π - π -стекинга, что способствует эффективному транспорту зарядов между молекулами. Важно также то, что подбором *N*-алкильных заместителей можно добиваться необходимой растворимости производных PDI и подходящего морфологического строения плёнок. Кроме того, данные материалы являются относительно доступными, методы их синтеза обычно включают 1–4 синтетических стадий, проходящих

¹ Институт элементоорганических соединений
им. А.Н. Несмеянова Российской Академии наук, Москва

² Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

³ Исследовательский институт биомедицинской химии
им. В.Н. Ореховича, Москва

⁴ Central South University, Changsha, China

*E-mail: ineos-50@mail.ru

с высокими выходами, и исходят из коммерчески доступных предшественников. Совокупность перечисленных факторов делает материалы на основе PDI одними из наиболее перспективных органических акцепторов, известных в настоящее время. Многочисленные структурные вариации, возможные для данного типа материалов, позволяют влиять на их оптоэлектронные свойства и посредством этого улучшать фотовольтаические свойства ПСФ на их основе.

Например, в работе Йана с коллегами [3] нефуллереновый ПСФ со структурой ITO/ZnO/PfBT4T-2DT:SF-PDI₂/V₂O₅/Al на основе полимерного донора PfBT4T-2DT и акцепторного производного спирибифлуорена с двумя PDI-фрагментами достиг КПД 6,3% при величинах напряжения холостого хода V_{xx} , тока короткого замыкания $J_{кз}$ и фактора заполнения FF, равных 0,90 В, 10,7 мА/см² и 0,57 соответственно. Дальнейшая замена донорного полимера на РЗТЕА позволила авторам добиться увеличения КПД до 9,5% при $V_{xx} = 1,11$ В, $J_{кз} = 13,27$ мА/см² и FF = 0,643 [4].

Недавно были созданы ПСФ со структурой ITO/ZnO/PTB7-Th:V(PDI)₃/MoO₃/Ag [5] и ITO/ZnO/PTB7-Th:Ta-PDI или Ph-PDI/MoO₃/Ag [6], достигшие КПД 5,65; 8,91 и 5,15% соответственно, при использовании PTB7-Th в качестве донора и PDI-производных пиразина (Ta-PDI) и бензола (V(PDI)₃ и Ph-PDI) в качестве акцепторов электронов. Акцепторные материалы были синтезированы при помощи присоединения четырёх или трёх фрагментов PDI к центральному пиразиновому или бензолному циклам в условиях реакции Сузуки.

В работе [7] синтезировано семейство акцепторов TPC-PDI₄, TPSi-PDI₄ и TPGe-PDI₄ с тетраэдрической структурой молекул при помощи присоединения четырёх PDI-фрагментов к остовам тетрафенилметана, тетрафенилсилана и тетрафенилгермана. Соответствующие ПСФ со структурой ITO/ZnO/PfBT4T-2DT:TPC(Si, Ge)-PDI₄/V₂O₅/Al продемонстрировали величины КПД 4,3; 4,2 и 1,6%.

В недавней работе Чен с сотрудниками [8] синтезировали новый акцептор TriPDI при помощи присоединения трёх PDI-фрагментов к конденсированному бензотриптофеновому ядру по реакции Стилле. Дальнейшая окислительная конденсация привела к другому акцептору, Fused-TriPDI, содержащему в структуре 22 конденсированных ароматических цикла. Полимерные солнечные фотоэлементы со структурой ITO/ZnO/PTB7-Th:(TriPDI или Fused-TriPDI)/MoO₃/Ag продемонстрировали КПД 2,19% ($V_{xx} = 0,85$ В, $J_{кз} = 6,13$ мА/см² и FF =

= 0,38) и 6,19% ($V_{xx} = 0,91$ В, $J_{кз} = 12,39$ мА/см² и FF = 0,55). Рост КПД при аннелировании циклов авторы объясняют более плоской и жёсткой структурой второго акцептора, а также более эффективным сопряжением PDI и бензотриптофенового фрагмента, что приводит к уширению спектра поглощения, оптимизации величин энергии граничных молекулярных орбиталей, а также к росту зарядовой подвижности.

В работах Чо с коллегами [9, 10] исследовались ПСФ ITO/ZnO/донор:SF-PDI₄/V₂O₅/Ag с акцептором SF-PDI₄ — производным спирибифлуорена с четырьмя PDI-фрагментами, и различными полимерами, P4T2FBT и PV4T2FBT [9] и PTB7-Th [10]. Подбором свойств полимерного донора авторы сумели увеличить КПД ПСФ с 5,11% (для P4T2FBT) до 5,82% (для PV4T2FBT) и, далее, до 6,32% (для PTB7-Th).

Группой Ванга и Ли [11] опубликованы ПСФ со структурой ITO/ZnO/PBDBT:PBi-Por/MoO₃/Ag на основе смеси полимера PBDBT и акцепторного порфирина Zn с четырьмя фрагментами PDI, присоединёнными ацетиленидными мостиками к мезоположениям порфиринового ядра. Достигнуты значения КПД 7,4% при $V_{xx} = 0,78$ В, $J_{кз} = 14,5$ мА/см² и FF = 0,66 [11].

Ю с соавторами [12] недавно синтезировали новый акцептор TPB, содержащий четыре PDI-фрагмента, присоединённые к центральному бензодитиофеновому циклу. Полимерные СФ ITO/ZnO/TPB:PTB7-Th/MoO₃/Ag на основе акцепторного TPB и донорного PTB7-Th достигли КПД 8,11% при $V_{xx} = 0,79$ В, $J_{кз} = 17,9$ мА/см² и FF = 0,58.

С учётом уже достигнутых результатов в рамках данной работы мы выполнили синтез нового акцепторного материала **8**, содержащего в структуре два фрагмента PDI, присоединённых через тиофеновые циклы к центральному 4,5-диаза-9,9'-спирибифлуореновому остову. Мы полагаем, что модификация центрального спирибифлуоренового фрагмента гетероатомами азота позволит добиться улучшения набора свойств, необходимых для дальнейшего повышения КПД полимерных СФ, таких как оптимизация энергии граничных молекулярных орбиталей, увеличение светопоглощения, улучшение смешиваемости с полимерными донорами электронов и улучшение морфологического строения получаемых композитных плёнок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Все используемые растворители очищали стандартными методами. Соединения **1** [13], **6** [14]

и 7 [15] синтезированы по литературным методикам. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C регистрировали на спектрометре Bruker Avance-400 с использованием CDCl_3 в качестве внутреннего стандарта.

4,5-Диаза-2',7'-бис(тиофен-2''-ил)-9,9'-спиробифлуорен (3). Через раствор **1** (1,0 г; 2,1 ммоль) и 2-трибутилстаннилтиофена **2** (2,351 г; 6,3 ммоль) в 100 мл сухого толуола пропускали аргон в течение 20 мин, далее прибавили $\text{PdCl}_2(\text{PPh}_3)_2$ (147 мг; 0,21 ммоль) и PPh_3 (220 мг; 0,84 ммоль) и смесь кипятили при перемешивании в течение ночи. После охлаждения реакционную смесь отфильтровали через SiO_2 (2 см), фильтр промывали хлороформом и этилацетатом. Фильтрат упаривали в вакууме, растворили в минимальном количестве хлороформа, прибавили двукратный объём толуола и охлаждали до -20°C в течение 3 ч. Выпавшее вещество отфильтровали, промыли охлаждённым толуолом и высушили в вакууме при 60°C . Получили 0,8 г (80%) чистого **3**. ЯМР ^1H (400 МГц, CDCl_3), $\delta = 8,87$ (д, $J = 4,0$ Гц, 1H); 7,89 (д, $J = 8,0$ Гц, 1H); 7,73 (д, $J = 8,0$ Гц, 1H); 7,37–7,26 (м, 3H); 7,24 (д, $J = 5,0$ Гц, 1H); 7,18 (д, $J = 3,6$ Гц, 1H); 7,04–6,98 (м, 1H); 6,96 (с, 1H). ЯМР ^{13}C (101 МГц, CDCl_3), $\delta = 149,63$; 146,21; 144,20; 143,45; 140,66; 134,73; 133,34; 128,17; 126,75; 125,96; 125,28; 124,65; 123,54; 121,03; 120,87; 61,74.

Элементный анализ. Найдено (%): С 76,93; Н 3,89; N 5,56; S 13,39. Рассчитано для $\text{C}_{31}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{S}_2$ (%): С 77,15; Н 3,76; N 5,80; S 13,29.

4,5-Диаза-2',7'-бис(5''-трибутилстаннилтиофен-2''-ил)-9,9'-спиробифлуорен (4). К раствору диизопропиламида лития, полученного взаимодействием диизопропиламина (0,65 г; 6,4 ммоль) и *n*-BuLi (3,89 мл; 6,22 ммоль; 1,6 М в гексане) в 50 мл сухого ТГФ при -80°C , медленно в течение 15 мин прибавили раствор вещества **3** (1 г; 2,072 ммоль). Коричневый раствор перемешивали при этой температуре 1 ч, после чего прибавили раствор Cl-SnBu_3 (2,09 г; 6,4 ммоль) в 20 мл сухого ТГФ и перемешивали в течение ночи при комнатной температуре. Далее прибавили 200 мл воды и экстрагировали этилацетатом (2 \times 150 мл), объединённый органический слой промыли водой (2 \times 400 мл), высушивали MgSO_4 и упаривали. Остаток суспендировали в петролейном эфире и охладили при -20° , отфильтровали и высушивали при 50°C в вакууме. Получили 1 г (45%) вещества **4**, которое использовали без дальнейшей очистки. ЯМР ^1H (400 МГц, CDCl_3), $\delta = 8,81$ (с, 1H); 7,86 (м, 1H); 7,73 (м, 1H); 7,18–7,22 (м, 3H); 6,20–7,07 (м, 2H); 0,75–1,75 (м, 27H).

4,5-Диаза-2',7'-бис(5''-(N, N'-ди(2-октилдодецил)перилен-3,4,9,10-тетракарбоксамид-1-ил)тио-

фен-2''-ил)-9,9'-спиробифлуорен (8). К раствору исходных веществ **4** (1 г; 0,943 ммоль) и **7** (2,43 г; 2,356 ммоль) в 100 мл сухого толуола прибавили $\text{PdCl}_2(\text{PPh}_3)_2$ (100 мг; 0,142 ммоль) и PPh_3 (149 мг; 0,568 ммоль) и смесь кипятили в течение 48 ч. Далее реакционную смесь упаривали, остаток очищали колоночной хроматографией на SiO_2 , элюент CHCl_3 : ЭА = 100 : 1 \rightarrow 100 : 5. После упаривания фиолетовой фракции получили 0,850 г (38%) целевого вещества **8**. ЯМР ^1H (400 МГц, CDCl_3), $\delta = 9,30$ (уш.с, 1,62H); 9,03 (м, 2,07H); 8,03–8,50 (м, 10H); 8,27 (с, 0,67H); 8,16 (м, 3,34H); 7,90–7,99 (м, 2,25H); 7,73 (д, 1,68H); 7,57–7,67 (м, 3,98H); 7,33 (д, 1,67H); 7,06–7,16 (м, 3,87H); 4,1 (м, 8H); 1,97 (м, 4H); 1,10–1,50 (м, 130H); 0,85 (м, 24H).

Элементный анализ. Найдено (%): С 80,11; Н 8,15; N 3,60; S 2,59. Рассчитано для $\text{C}_{159}\text{H}_{194}\text{N}_6\text{O}_8\text{S}_2$ (%): С 80,19; Н 8,21; N 3,53; S 2,69.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Синтез нового нефуллеренового акцептора **8** включает в себя пять синтетических стадий, представленных на схеме 1.

Взаимодействием 4,5-диаза-2',7'-дибромо-9,9'-спиробифлуорена **1** с 2-трибутилстаннилтиофеном **2** в условиях реакции Стилле с выходом 80% было получено бис-тиофенильное производное **3**, которое на следующей стадии подвергалось стanniлированию путём обработки LDA в присутствии Cl-SnBu_3 . Полученный бис-станильный интермедиат **4** арилируется по реакции Стилле бромидным производным перилендиимида **7** с образованием целевого акцептора **8**, который после очистки колоночной хроматографией был получен с выходом около 40% в виде тёмно-фиолетового порошка. Все промежуточные соединения **3**, **4**, **6**, **7** и целевой продукт **8** были полностью охарактеризованы спектроскопией ЯМР и данными элементного анализа. Спектр ЯМР ^1H соединения **8** показан на рис. 1. В ароматической части спектра наблюдается набор мультиплетов при $\delta = 9,30$; 9,02–9,06; 8,47–8,65; 8,15; 7,91–8,00; 7,72; 7,58–7,70; 7,33; 7,07–7,18 м.д., которые трудно отнести к конкретным группам протонов. Это, возможно, объясняется затруднённым внутренним вращением отдельных частей молекулы вещества **8**, содержащей объёмные перилендиимидные фрагменты с сильно разветвлёнными алкильными заместителями. Подобное явление часто наблюдается для родственных производных [5, 8, 9, 11]. Тем не менее отношение величин суммарной интенсивности ароматических сигналов (33H) к интенсивностям сигналов в алифатической области при

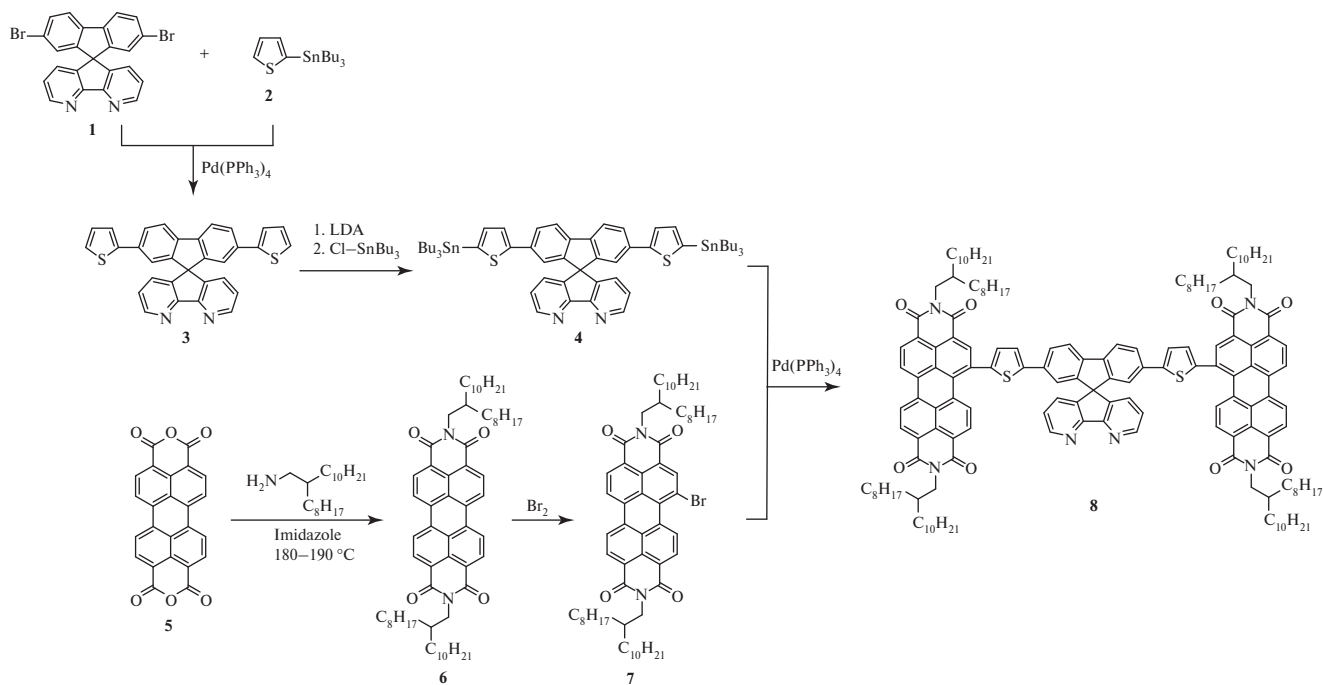


Схема 1.

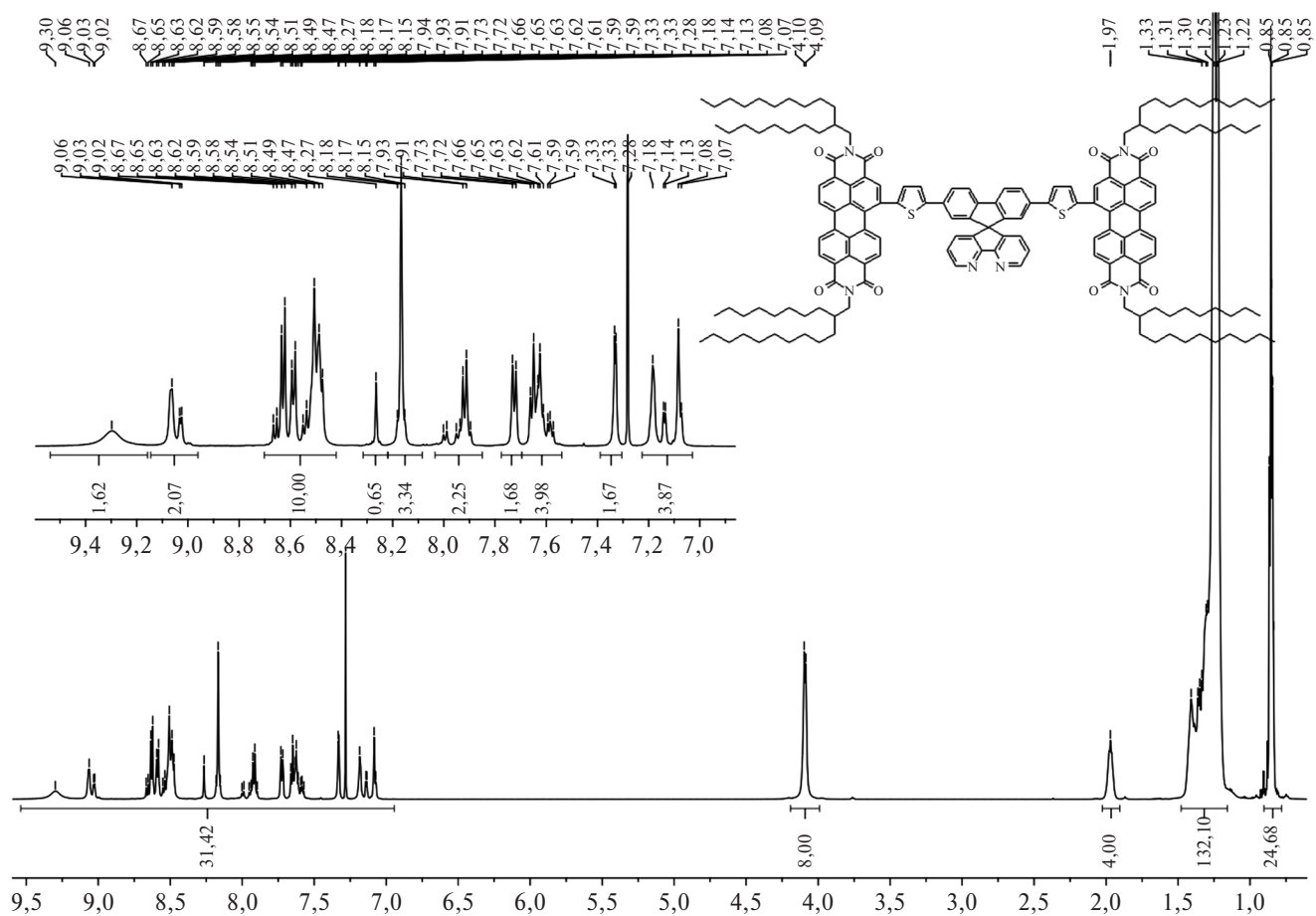


Рис. 1. Спектр ЯМР ¹H (600 МГц, CDCl₃) соединения 8.

$\delta = 4,10$ (д, 8Н); 1,97 (уш.с, 4Н); 1,10–1,50 (м, 132Н) и 0,85 (м, 12Н) хорошо соответствует ожидаемой структуре и указывает на хорошую степень очистки. Дополнительно чистота продукта **8** доказана элементным анализом.

Оптические свойства акцептора **8** исследовали в разбавленном растворе хлороформа и в тонкой плёнке, спектры поглощения в УФ и видимой области представлены на рис. 2. В спектре раствора соединения **8** присутствуют две широкие полосы с максимумами при 376 и 496 нм, первая из которых соответствует $\pi-\pi^*$ -переходам, локализованным внутри отдельных ароматических циклов, в то время как вторая полоса соответствует переносу заряда от центральной донорной части молекулы к акцепторным фрагментам перилендиимида. При переходе от раствора к плёнке длинноволновая полоса незначительно (на ~ 4 нм) сдвигается в красную область, у неё появляется дополнительное уширение в виде плеча, которое своим краем заходит в область дальше 700 нм. Край поглощения плёнки вещества **8** находится при $\lambda_{\text{кр}} = 711$ нм, что соответствует оптической ширине запрещённой зоны $E_{\text{г}}^{\text{опт}}$ около 1,75 эВ.

Электрохимические свойства соединения **8** исследованы циклической вольтамперометрией в 0,1 М раствора ТВАРФ₆ в качестве электролита (рис. 3). Потенциалы начала окисления и восстановления вещества **8** равны 1,37 В и $-0,55$ В соответственно. Величины энергий высших занятых и низших свободных орбиталей ВЗМО/НСМО и электрохимической ширины запрещённой зоны $E_{\text{г}}^{\text{эх}}$ были определены по уравнениям $E_{\text{ВЗМО}} = E_{\text{ок}} + 4,44$ (эВ), $E_{\text{НСМО}} =$

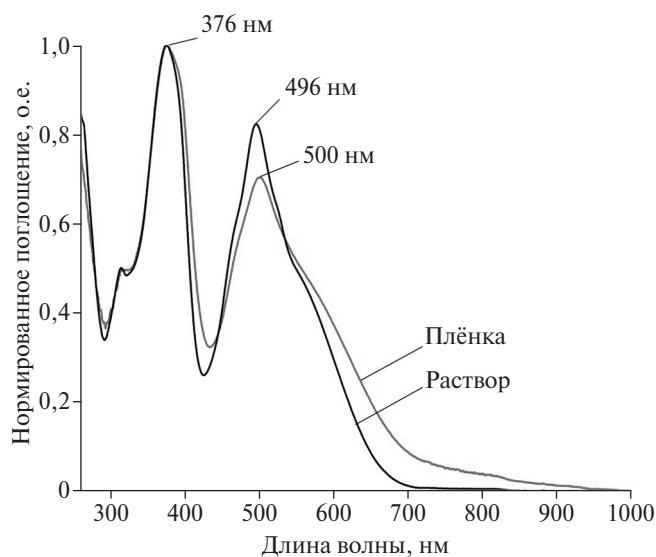


Рис. 2. Спектры поглощения соединения **8** в растворе и плёнке.

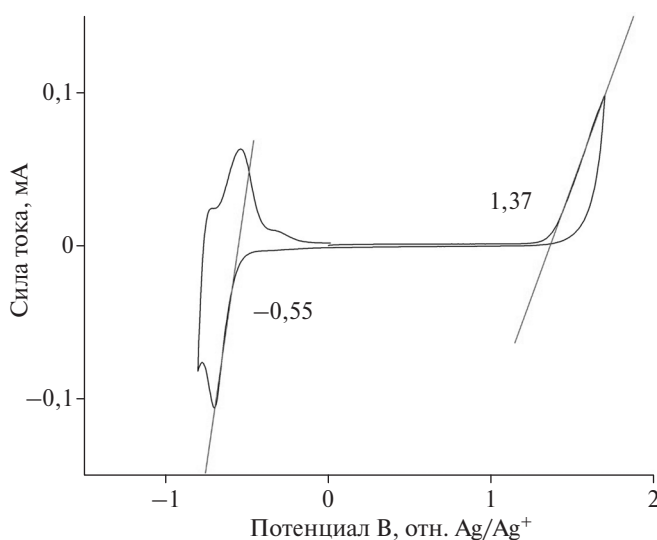


Рис. 3. Циклическая вольтамперограмма соединения **8** в 0,1 М ТВАРФ₆/CH₃CN, скорость сканирования 100 мВ/с.

$= E_{\text{восс}} + 4,44$ (эВ) и $E_{\text{г}}^{\text{эх}} = E_{\text{ВЗМО}} - E_{\text{НСМО}}$ (эВ). Энергии ВЗМО/НСМО равны $-5,81$ эВ/ $-3,89$ эВ, а величина $E_{\text{г}}^{\text{эх}}$ составляет 1,92 эВ.

Полученное соединение **8** обладает достаточно низкими энергиями ВЗМО/НСМО, что позволяет использовать его в качестве акцепторного соединения в составе нефуллереновых полимерных солнечных фотоэлементов (ПСФ). Обладая интенсивным поглощением в видимой области, соединения данного типа потенциально способны вносить значительный вклад в суммарный ток, генерируемый ПСФ. В настоящее время нами осуществляются исследования свойств фотоэлементов на основе нового акцептора **8**, результаты которых будут скоро опубликованы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты РФФИ № 18–53–53031, РФФИ № 18–53–45028, РФФИ БРИКС № 18–53–80066, РФФИ-18–29–23004-мк). Строение полученных соединений изучено с использованием оборудования Центра исследования строения молекул ИНЭОС РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lin Yu., Zhan X. // Mater. Horiz. 2014. V. 1. P. 470–488.
2. Li S., Ye L., Zhao W., Yan H., Yang B., Delong Liu D., Li W., Ade H., Hou J. // J. Amer. Chem. Soc. 2018. V. 140. № 23. P. 7159–7167.
3. Zhao J., Li Yu., Lin H., Liu Yu., Jiang K., Mu C., Ma T., Joshua Yuk Lin Lai, Hu H., Yu D., Yan H. // Energy Environ. Sci. 2015. V. 8. P. 520–525.

4. Liu J., Chen S., Qian D., Gautam B., Yang G., Zhao J., Bergqvist J., Zhang F., Ma W., Ade H., Inganäs O., Gundogdu K., Gao F., Yan H. // *Nat. Energy*. 2016. V. 1. P. 16089.
5. Li S., Liu W., Li C.-Zh., Liu F., Zhang Yi., Shi M., Chen H., Russell T.P. // *J. Mater. Chem. A*. 2016. V. 4. P. 10659–10665.
6. Duan Yu., Xu X., Yan H., Wu W., Li Z., Peng Q. // *Adv. Mater.* 2017. V. 29. 1605115.
7. Liu Yu., Lai J. Yu. L., Chen S., Li Yu., Jiang K., Zhao J., Li Zh., Hu H., Ma T., Lin H., Liu J., Zhang J., Huang F., Yu D., Yan H. // *J. Mater. Chem. A*. 2015. V. 3. P. 13632–13636.
8. Wang B., Liu W., Li H., Mai J., Liu S., Lu X., Li H., Shi M., Li C.-Zh., Chen H. // *J. Mater. Chem. A*. 2017. V. 5. P. 9396–9401.
9. Lee J., Singh R., Sin D.H., Kim H.G., Song K.C., Cho K. // *Adv. Mater.* 2016. V. 28. P. 69–76.
10. Singh R., Lee J., Kim M., Keivanidis P.E., Cho K. // *J. Mater. Chem. A*. 2017. V. 5. P. 210–220.
11. Zhang A., Li C., Yang F., Zhang J., Wang Zh., Wei Zh., Li W. // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2017. V. 56. P. 2694–2698.
12. Wu Q., Zhao D., Schneider A.M., Chen W., Yu L. // *J. Am. Chem. Soc.* 2016. V. 138. № 23. P. 7248–7251.
13. Кештов М.Л., Позин С.И., Марочкин Д.В., Перева-лов В.П., Петровский П.В., Благодатских И.В., Хохлов А.Р. // *ДАН*. 2012. Т. 442. № 6. С. 759–765.
14. Davis N.J.L.K., MacQueen R.W., Roberts D.A., Danos A., Dehn S., Perrier S., Schmidt T.W. // *J. Mater. Chem. C*. 2016. V. 4. P. 8270–8275.
15. Rajasingh P., Cohen R., Shirman E., Shimon L.J.W., Rybtchinski B. // *J. Org. Chem.* 2007. V. 72. № 16. P. 5973–5979.

NEW 4,5-DIAZA-9,9'-SPIROBIFLUORENE DERIVATIVE — PROMISING ELECTRON ACCEPTOR FOR NONFULLERENE POLYMER SOLAR CELLS

S. A. Kuklin¹, I. O. Konstantinov¹, A. S. Peregudov¹, I. E. Ostapov²,
A. G. Buyanovskaya¹, I. Yu. Toropygun³, Academician of the RAS A. R. Khokhlov¹,
Y. Zou⁴, D. Yu. Godovskii¹, M. L. Keshtov¹

¹ Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

³ Orekhovich Institute of Biomedical Chemistry, Moscow, Russian Federation

⁴ Central South University, Changsha, China

Received November 30, 2018

New 4,5-diaza-9,9'-spirobifluorene derivative **8** with two electron-accepting perylene diimide moieties has been prepared. The compound **8** was characterized by NMR spectroscopy, elemental analysis, UV-spectroscopy and cyclic voltammetry. Energies of HOMO/LUMO levels are of –5.81 eV/–3.89 eV; Egopt and Egech values are of 1.75 eV and 1.92 eV, respectively. Low-lying energy levels and strong absorption in the visible region of UV-spectrum indicate the potential use of the compound **8** as a new promising electron acceptor in nonfullerene polymer solar cells.

Keywords: polymer solar cells, nonfullerene acceptors, perylene diimide derivatives, narrow bandgap polymers, cyclic voltammetry, UV-vis spectroscopy, Stille cross-coupling.