

# Планарный электрооптический модулятор на основе теплостойких упорядоченных полимеров

С.Л. Микерин<sup>1,2,\*</sup>, [А.И. Плеханов]<sup>1</sup>, А.Э. Симанчук<sup>1,2</sup>, А.В. Якиманский<sup>3</sup>,  
В.В. Шелковников<sup>2</sup>, Н.А. Валишева<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт автоматики и электрометрии СО РАН

<sup>2</sup>Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН

<sup>3</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН

<sup>4</sup>Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

\*E-mail: [mikerinsl@iae.sbras.ru](mailto:mikerinsl@iae.sbras.ru)

DOI:10.31868/RFL2018.185-186

Рост объемов передачи информации по оптоволоконным линиям связи привел к необходимости развивать скоростные устройства модуляции несущего излучения. Одними из наиболее перспективных сред для ЭО модуляторов являются хромофорсодержащие полимеры, упорядоченные на стадии изготовления. Такие среды демонстрируют квадратичную оптическую нелинейность на один-два порядка выше, чем неорганические кристаллические среды [1, 2], и позволяют лучше согласовать оптическую и СВЧ волны, что особенно важно для расширения рабочей полосы. Дополнительным преимуществом таких сред является их композитность, позволяющая осуществлять направленный поиск компонентов с целью получить необходимые свойства. Нелинейно-оптический компонент в таких материалах представляет собой хромофор – органический комплекс с большой резонансной гиперполяризуемостью [1]. Полимерная матрица играет роль фиксирующего остова и определяет основные оптические, физико-химические, электрические свойства и, что очень важно, термическую стабильность результирующей композиции. Синтез оригинальных хромофоров в первую очередь решает проблему доступности полимерных ЭО материалов для широкого применения. Использование термо- и теплостойких полимеров открывает новые возможности для ЭО материалов с высокой температурной и временной устойчивостью нелинейного отклика. В данной работе представлены результаты разработки и реализации технологии изготовления планарных ЭО модуляторов на основе синтезированных оригинальных теплостойких полиимидов, а также результаты применения оригинальных синтезированных оптически активных хромофоров.

В настоящей работе использовался один из этого ряда оригинальных полиимидов с высокой температурой стеклования, исследованных нами ранее [3-6] – полиимид на основе 3,3'-дигидрокси-4,4'-диаминодифенилметана и 4,4'-(фенилен-1,3-диокси)дифталевого ангидрида с ковалентным присоединением хромофора DR13. Оригинальный синтезированный пиразолиновый хромофор 5-PIP-NET<sup>1</sup> [7] для применения в модуляторе смешивался в соотношении 5/95 масс. % с аморфным поликарбонатом (Aldrich Chemistry). Тонкие пленки на подложках различного типа получались методом центрифугирования (около 600 об/мин) из растворов полимерных композиций. Для получения ЭО отклика пленочные структуры подвергались полингу методом, описанным в [8].

Для создания полностью полимерной волноводной структуры был выбран УФ-отверждаемый полимер (стандартный фоторезист SU-8), который наносился на кремниевую подложку с общим электродом в два слоя: базовый (толщина 2

<sup>1</sup> 2-(5-оксо-3-циано-1-этил-4-(4-(3-фенил-5-(2,3,5,6-тетрафтор-4-(пиперидин-1-ил)фенил)-4,5-дигидро-1H-пиразол-1-ил)-стирил)-1H-пиррол-2(5H)-илиден)-малонитрил

мкм) и структурированный (1 мкм), обрабатываемый с помощью маски. В целом эти слои составляли нижнюю обкладку оптической волноводной структуры, в которой был сформирован массив разных вариантов волноводных каналов как фазовых модуляторов, так и амплитудных (интерферометр Маха-Цендера). ЭО полимер заполнял сформированные каналы, образуя световедущую жилу толщиной 1,5-2 мкм. Верхняя обкладка волноводной структуры (5 мкм) изготавливалась из коммерческого УФ-отверждаемого полимера NOA 61. Качество созданных структур оценивалось с помощью оптической и сканирующей электронной микроскопии. После отбраковки каналов на поверхности структуры над активными участками волноводов формировались управляющие электроды.

Модулирующие свойства волноводных структур изучались при частоте управляющего напряжения  $\sim 1$  кГц. Излучение одномодового лазера (длина волны 1,3 мкм) заводилось через торец волноводной структуры на сколотой подложке с помощью волокна с сохранением поляризации и концевой линзы. Выходное излучение регистрировалось фотодатчиком через объектив 20х.

Общие потери излучения на ввод-вывод и распространение в созданных модуляторах не превысили 19 дБ. Амплитудные модуляторы в созданном массиве на основе полиимида с DR13 демонстрировала полуволновое напряжение от 24 до 38 В. Минимальное значение параметра  $L \cdot V_{\pi} = 31$  см·В при длине активной части  $L = 1,3$  см. Фазовый модулятор на основе хромофора 5-PIP-NET в поликарбонате показал сравнительно низкий параметр  $L \cdot V_{\pi} = 87$  см·В. Это указывает на близость данного хромофора и DR13 по ЭО отклику, учитывая различие в концентрации хромофоров в поликарбонате и полиимиде. При этом ЭО отклик в полиимиде сохраняется при температурах до 120 °С, а в поликарбонате – до 100 °С.

Таким образом, синтезированы оригинальные хромофорсодержащие теплостойкие полиимиды и хромофор, разработаны технологические подходы, подобраны материалы для создания фазовых и амплитудных планарных модуляторов на их основе. Созданы компактные волноводные модуляторы, демонстрирующие параметр  $L \cdot V_{\pi}$  31 см·В и низкие оптические потери.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Спектроскопия и оптика» (<http://ckp-rf.ru/ckp/3046/>) при финансовой поддержке РНФ (грант 16-13-10156).

## Литература

- [1] L.R. Dalton, W.H. Steier, B.H. Robinson et al, *J. Mater. Chem.* **9**, 1905-1920 (1999)
- [2] L.R. Dalton, P.A. Sullivan, and Bale D. H. *Chem. Rev.* **110**, 25-55 (2010)
- [3] G.I. Nosova, I.G. Abramov, N.A. Solovskaya et al, *Polym. Sci. Ser. B3* **53**, 73 (2011)
- [4] A.V. Yakimansky, G.I. Nosova, N.A. Solovskaya et al, *Chem. Phys. Lett.* **510**, 237-241 (2011)
- [5] A.I. Gorkovenko, A.I. Plekhanov, A.E. Simanchuk et al, *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing.* **50**, No. 1, 96-101 (2014) DOI: 10.3103/S8756699014010129.
- [6] A.I. Gorkovenko, A.I. Plekhanov, A.E. Simanchuk et al, *J. Appl. Phys.* **116**, 223104 (2014) DOI: 10.1063/1.4904194
- [7] К.Д. Ерин, И.Ю. Каргаполова, Н.А. Орлова и др. *Сборник тезисов докладов (Ш:У-9): Объединённая международная конференция по органической химии «Байкальские чтения-2017» (Иркутск, 27 августа – 2 сентября)*, 129 (2017).
- [8] S.N. Atutov, S.L. Mikerin, A.I. Plekhanov et al, *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing.* **54**, No. 1, 39-45 (2018) DOI: 10.3103/S8756699018010077