

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА В ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛНОВОДАХ С ВНЕДРЕННЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ, ЛЕГИРОВАННЫМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

К.В. Хайдуков¹, А.С. Ахманов¹, Н.В. Марусин², В.Я. Панченко¹, А.Г. Савельев¹,
В.И. Соколов¹, И.В. Соколова¹, Е.В. Хайдуков¹

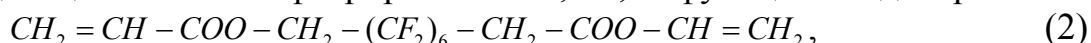
¹ *Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН;* ² *Волгоградский
Государственный Университет*
E-mail: khaydukov@mail.ru

В настоящее время значительное внимание уделяется методам формирования полимерных волноводов на печатной плате с целью создания оптической шины для обмена данными между СБИС в микропроцессорных вычислительных устройствах [1, 2]. Фторсодержащие полимерные материалы благодаря их высоким функциональным возможностям и технологичности перспективны для создания таких волноводов. В отличие от обычных углеводородных полимеров, они обладают более низким поглощением во всех трех «телекоммуникационных областях» длин волн вблизи 0,85, 1,3 и 1,55 мкм [3]. Фторполимеры обладают низким показателем преломления n , что позволяет путем сополимеризации фторсодержащих и углеводородных мономеров, имеющих высокий n , варьировать показатель преломления полимерных материалов в широких пределах. Фторсодержащие полимеры имеют более высокую термостабильность и менее склонны к пожелтению, т.к. энергия С-Ф связи больше, чем энергия связи С-Н.

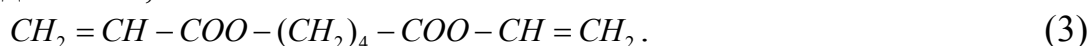
Для создания полимерных волноводов на печатной плате мы использовали следующие мономеры: монофункционал 2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7 – додекафторгептил



обладающий степенью фторирования 66,7%, бифункционал диакрилат



со степенью фторирования 54,5%, и углеводородный бифункционал диакрилат бутандиола - 1,4



Мономеры (1) - (3) представляют собой прозрачные бесцветные жидкости, которые хорошо растворяются друг в друге и сополимеризуются. В дата-коммуникационном диапазоне длин волн вблизи 850 нм мономеры (1) - (3) имеют как области прозрачности, так и полосы поглощения, обусловленные обертонами валентных колебаний С-Н связей [4, 5]. На длине волны 850 нм коэффициент поглощения мономеров составляет $\alpha = 0,019, 0,025, 0,04$ дБ/см соответственно. Таким образом, наименьший коэффициент поглощения имеет мономер (1), обладающий более высокой степенью фторирования.

С использованием мономеров (1) - (3) были изготовлены композиции с высоким и низким показателем преломления, способные к радикальной фотополимеризации. Композиция с более высоким показателем преломления

использовалась для формирования световедущей жилы, а композиция с низким показателем преломления – для создания буферного и покровного слоев. Для инициирования реакции радикальной полимеризации в композиции добавлялся фотоинициатор Irgacure 651 в количестве 1 - 2%.

Формирование полимерных волноводов методом контактной УФ фотолитографии является трехступенчатым процессом, см. Рис. 1. Первый этап состоит в создании на печатной плате буферного полимерного слоя с низким показателем преломления. Во время второго этапа на буферном слое формируются световедущие жилы волноводов путем освещения слоя жидкой композиции с высоким показателем преломления через фотошаблон. На третьем этапе световедущие жилы зарациваются покровным полимерным слоем с низким показателем преломления.

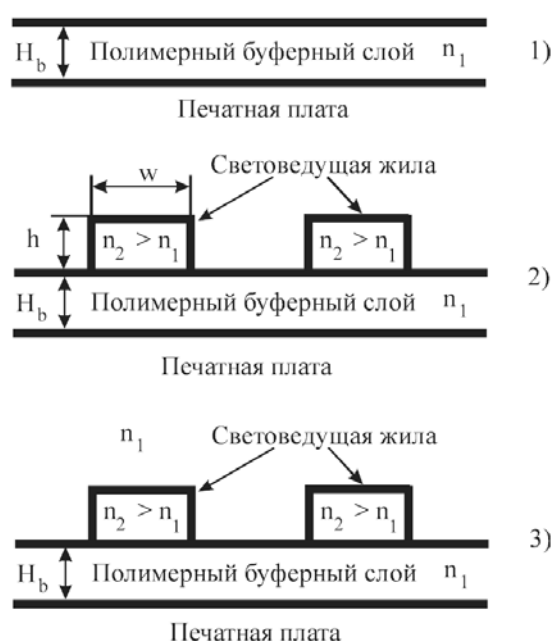


Рис. 1. Этапы процесса формирования полимерных волноводов методом контактной УФ фотолитографии. 1) Создание на печатной плате буферного полимерного слоя с толщиной H_b и низким показателем преломления n_1 . 2) Формирование на буферном слое световедущих жил волноводов с шириной w и высотой h из композиции с высоким показателем преломления $n_2 > n_1$. 3) Зарацивание световедущих жил покровным полимерным слоем с показателем преломления n_1 .

Особенность использованного нами метода контактной фотолитографии заключается в том, что для формирования световедущих жил волноводов применяется коротковолновое УФ излучение с длиной волны от 250 до 320 нм. Это позволило повысить контраст фотополимеризации в освещенных и темновых областях за счет уменьшения влияния рассеянного УФ излучения. Конкретный выбор длины волны актинического излучения проводился с учетом коэффициента поглощения света в композиции таким образом, чтобы эффективная глубина проникновения УФ света в композицию равнялась целевой высоте волновода.

Для создания актинического излучения в требуемом спектральном диапазоне использовалась газоразрядная лампа OSRAM Supratec htt 150-211

мощностью 150 Вт и полосовые интерференционные УФ фильтры производства фирмы Semrock.

На Рис. 2 приведена фотография массива полимерных волноводов, изготовленных на печатной плате методом УФ фотолитографии. Волноводы имеют ширину $w = 9$ мкм, высоту $H = 50$ мкм, расстояние между волноводами равно 60 мкм. Таким образом, аспектное отношение волноводов составляет $H/w = 5,5$.

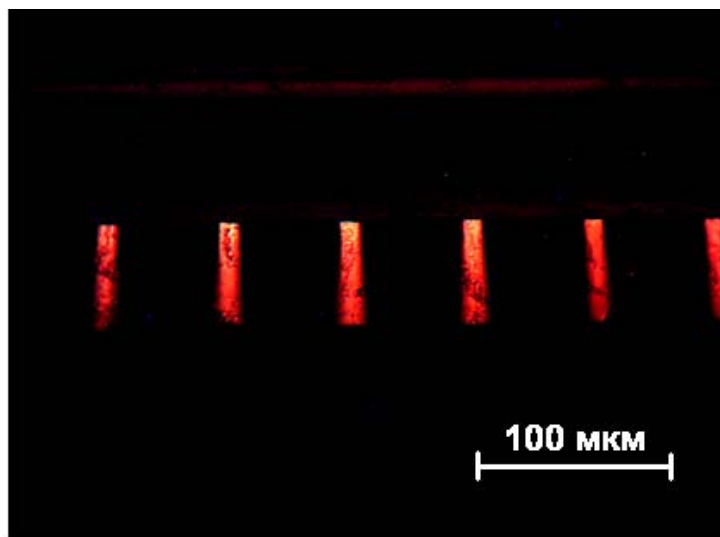


Рис. 2. Фотография массива полимерных волноводов на печатной плате. Вид с торца.

Предложен способ визуализации ИК излучения при его распространении в полимерном волноводе. Визуализация обеспечивается введением в волновод наночастиц $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}\text{Er}^{3+}$, обладающих сильной люминесценцией в зеленой области спектра при возбуждении ИК светом с длиной волны 0,75 – 1,1 мкм. На Рис. 3 приведена ТЕМ фотография наночастиц $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}\text{Er}^{3+}$ и их спектр фотолюминесценции при возбуждении излучением диодного лазера с длиной волны 980 нм. Как видно из Рис. 3б, в спектре фотолюминесценции хорошо различимы девять спектральных линий, сгруппированных в три полосы зелёного и красного цветов.

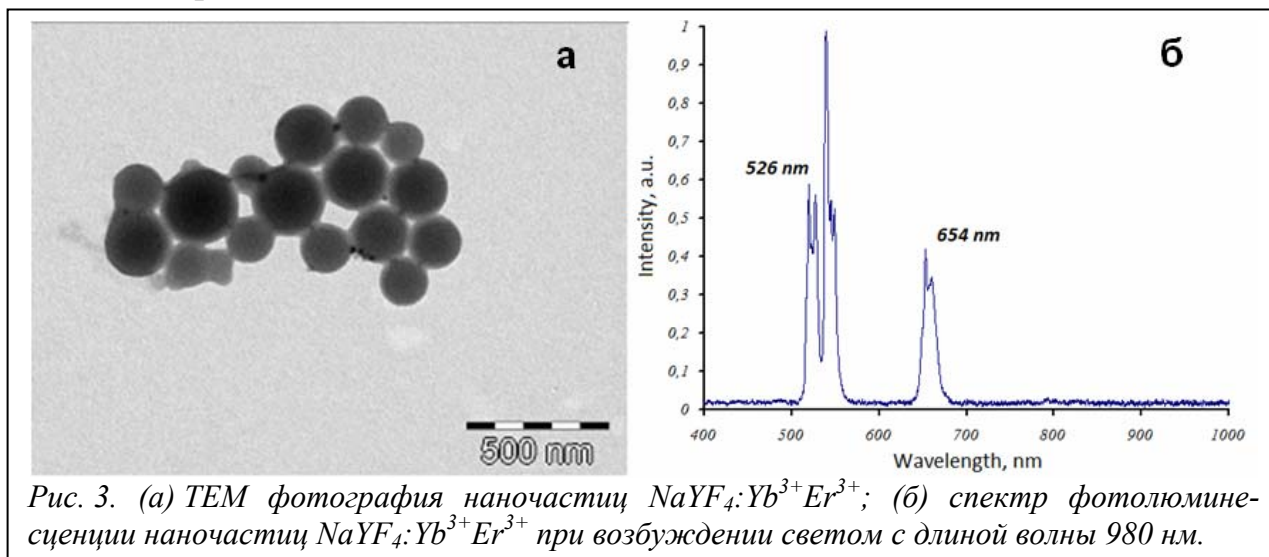


Рис. 3. (а) ТЕМ фотография наночастиц $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}\text{Er}^{3+}$; (б) спектр фотолюминесценции наночастиц $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}\text{Er}^{3+}$ при возбуждении светом с длиной волны 980 нм.

Наночастицы $\beta\text{-NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}\text{Er}^{3+}$ размером от 10 до 50 нм вводились в жидкую композицию для световедущей жилы в концентрации 0.005%. Для предотвращения агломерации наночастицы предварительно растворялись в хлороформе на ультразвуковой бане. Смесь добавлялась в композицию при непрерывном перемешивании и выдерживалась при 40°C до полного испарения хлороформа. Получившаяся композиция использовалась для формирования световедущих жил волноводов.

На Рис.4 представлена фотография изогнутого полимерного волновода на печатной плате (вид сверху) в который заводилось ИК излучение с длиной волны 980 нм. Отчетливо виден трек излучения в «зеленой» области спектра вблизи 540 нм, возбуждаемый распространяющимся по волноводу ИК светом. Таким образом, введение в полимерный волновод антистоксовых наночастиц позволяет визуализировать распространение в нем ИК света.

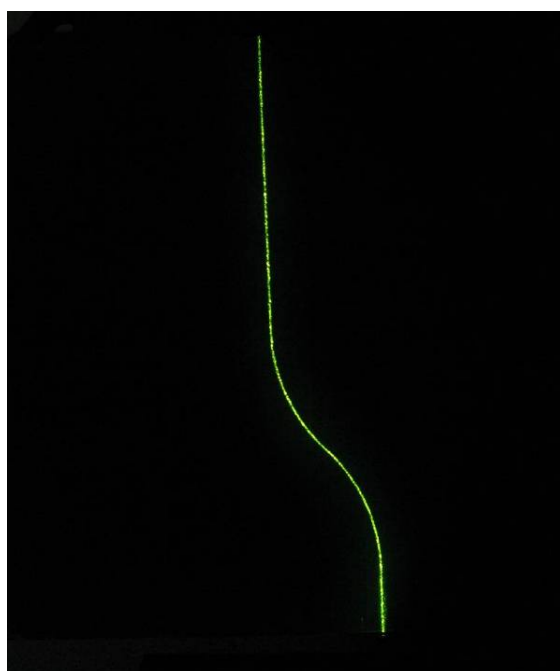


Рис.4. Фотография трека излучения в изогнутом волноводе с внедренными наночастицами $\beta\text{-NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}\text{Er}^{3+}$.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 12-02-31773 мол_А, 12-07-31223 мол_А и 11-07-12005-офи-м-2011.

1. B.J Offrein, C.Berger, R.Beyeler, R.Dangel, L,Dellmann, F.Horst, T.Lamprecht, N.Meie, R.Budd, F.Libsch, J.Kash, Parallel Optical Interconnects in Printed Circuit Boards // Proc. of SPIE. Vol. 5990. pp. 59900E-1 -59900E-9, 2005.
2. А.С. Ахманов, О.Е. Наний, В.Я. Панченко, Оптическая передача информации в супер - эвм и микропроцессорных системах // Lightwave (Russian edition). № 3. с. 46–53, 2008.
3. W. Groh, Overtone absorption in macromolecules for polymer optical fibers // Macromolecular Chemistry and Physics. Vol. 189. pp. 2861-2874, 1998.
4. Молчанова С.И., Китай М.С., Соколов В.И., Троицкая Е.В. «Оптические свойства фторсодержащих акриловых мономеров и полимеров в телекоммуникационной области длин волн вблизи 0,85 мкм». Сборник докладов XII Международной научной конференции «Физико - химические процессы при селекции атомов и молекул в

лазерных, плазменных и нано-технологиях», Ершово, Московская область, 2008, с. 209-214.

5. Певцова Л.А., Шашкова В.Т., Баум О.И., Соколов В.И., Западинский Б.З. «Новые оптические полимерные материалы с низким поглощением в телекоммуникационной области длин волн вблизи 1500 нм». Сборник тезисов научной конференции «Полимеры 2005», Звенигород. февраль-март 2005. с. 8.