

# МОДИФИКАЦИЯ ВОЛНОВОДНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОГО ЖК СЛОЯ ПРИ УФ ОБЛУЧЕНИИ

В.В. Могильный, Е.В. Манкевич, А.И. Станкевич  
Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Беларусь, [mogilny@bsu.by](mailto:mogilny@bsu.by)

Изготовлены и исследованы анизотропные полимерные волноводы на основе фотополимеризуемого ЖК мономера. Обнаружено изменение их волноводных параметров при УФ облучении. Предложено использовать эффект фотохимических превращений полимерного ЖК слоя для оптимизации условий синхронного распространения волноводных мод.

## Введение

Синхронное распространение световых пучков в оптических волноводах обеспечивает обмен энергией между ними, контролируемое изменение состояния поляризации пучков утечки, нелинейные преобразования световых характеристик. Условия для создания фазового синхронизма могут быть выполнены в волноводных структурах из оптически анизотропных материалов. Анизотропные планарные волноводы (плоские и полосковые) из неорганических кристаллических материалов изготавливают в сложных и энергоемких технологических процессах, что ведет к высокой стоимости изделий и негативным экологическим последствиям. Альтернативой могут служить полимерные материалы с жидкокристаллической (ЖК) структурой на основе фотоотверждаемых ЖК мономеров [1, 2]. Процесс изготовления полимерного ЖК волновода включает нанесение на подложку тонкого ориентирующего ЖК молекулы слоя, последующее нанесение на ориентирующий слой раствора ЖК мономера, сушку последнего, в ходе которой осуществляется ориентация молекул мономера и образование монокристаллической ЖК пленки и, наконец, полимеризацию этой пленки под действием УФ облучения (фотоотверждение). В результате образуется двулучепреломляющий слой с оптической осью, лежащей в его плоскости и по направлению совпадающей с директором ЖК материала. Величина двулучепреломления лежит в диапазоне 0.1 – 0.2 [1-4].

Поскольку свет распространяется в волноводе в виде волноводных мод, синхронизм световых пучков выражается в равенстве волноводных показателей преломления тех мод, в виде которых эти пучки распространяются. При произвольном направлении распространения по отношению к оптической оси моды анизотропного слоя имеют гибридный характер, т.е. не являются поперечными электрическими (ТЕ) или поперечными магнитными (ТМ) в чистом виде. В настоящей работе мы ограничимся случаем волноводного распространения в направлении, перпендикулярном оптической оси, когда моды могут быть однозначно отнесены к ТЕ или ТМ типу. При этом формирование ТЕ мод определяется «необыкновенным» показателем преломления  $n_e$ , тогда как для ТМ мод ту же роль выполняет «обыкновенный» показатель преломления  $n_o$ . Поскольку  $n_e$  больше  $n_o$  на величину двулучепреломления в описываемом случае, при определенных толщинах волноводного слоя может выполняться равенство фазовых скоростей ТЕ и ТМ мод различных поряд-

ков. Отклонение толщины от заданного значения, практически неизбежное при изготовлении волноводного слоя, ухудшает синхронизм. В работе [5] для композиций ЖК мономер-бензальдегидный полимер обнаружено фотонаведенное двулучепреломление, создаваемое под действием линейно-поляризованного УФ облучения. Это явление свидетельствует о фоточувствительности мезогенных групп мономера, которая могла бы позволить с помощью УФ облучения модифицировать  $n_o$  и  $n_e$  волноводного слоя из отвержденного ЖК мономера и корректировать условия синхронизма при отклонении толщины слоя от оптимального значения.

Цель настоящей работы заключается в экспериментальном исследовании волноводных свойств фотоотвержденных слоев ЖК мономера и их изменения при УФ облучении.

## Эксперимент

Волноводные пленки формировались на кварцевых подложках из ЖК мономера RMM491, Мерк. В качестве ориентанта использовали бензальдегидный полимер М-15, слой которого толщиной 0.08-0.09 мкм наносили из раствора методом центрифугирования на подложку, натирали тканью в определенном направлении и облучали УФ светом. Затем на поверхность ориентирующего слоя также центрифугированием наносили раствор RMM491. В процессе удаления растворителя происходила ориентация ЖК мономера, который затем фотополимеризовался в вакууме. Волноводные показатели преломления мод  $N$  полученных анизотропных слоев измеряли с помощью призмы, прижатой к волноводу, методом  $m$ -линий [6], источником излучения служил гелий-неоновый лазер ( $\lambda=0.633$  мкм). По измеренным значениям  $N$  вычисляли показатели преломления  $n_o$  (ТМ моды) и  $n_e$  (ТЕ моды), а также толщину волноводного слоя  $h$ . Для этого решали систему уравнений поперечного резонанса (1) для двух мод одной поляризации, но различного порядка  $m$ .

$$\frac{2\pi h \sqrt{n_e^2 - N^2}}{\lambda} - \arctg\left(\frac{N^2 - n_o^2}{\sqrt{n_e^2 - N^2}}\right) - \arctg\left(\frac{N^2 - n_e^2}{\sqrt{n_e^2 - N^2}}\right) = m\pi$$

$$\frac{2\pi h \sqrt{n_o^2 - N^2}}{\lambda} - \arctg\left(\frac{n_o^2}{n_s^2} \sqrt{\frac{N^2 - n_s^2}{n_o^2 - N^2}}\right) - \arctg\left(\frac{n_o^2}{n_c^2} \sqrt{\frac{N^2 - n_c^2}{n_o^2 - N^2}}\right) = m\pi \quad (1)$$

Здесь  $n_c=1$ -показатель преломления покровного слоя (воздух),  $n_s=1.46$ -показатель преломления кварцевой подложки. Облучение волноводного слоя с целью фотомодификации его показателей

преломления вели светом лампы ДРШ-250, прошедшим фильтр БС5.

### Результаты и их обсуждение

Изготовленные полимерные волноводы направляли несколько мод ТЕ и ТМ поляризации. Их волноводные показатели преломления вместе с рассчитанными величинами  $n_o$  и  $n_e$  приведены в таблице. Вычисленная по этим данным толщина волноводного слоя  $h=1.77$  мкм, что соответствует результатам измерения с помощью интерференционного микроскопа. Найденные величины показателей преломления позволили с помощью выражений (1) рассчитать дисперсионные кривые в виде зависимостей волноводного показателя преломления мод от толщины волноводного слоя (рис. 1, кривые 0, 1, 2). Семейство дисперсионных кривых показывает, что для толщин волноводного слоя, соответствующих равенству волноводных показателей различных мод (точки пересечения), происходит синхронное распространение этих мод.

Таблица. Параметры полимерного ЖК волновода

m	$N_{TE}$	$N_{TM}$
0	1.665	1.524
1	1.639	1.501
2	1.594	1.461
3	1.533	-
4	1.462	-
Рассчитанные показатели преломления волноводного слоя	$n_e=1.675$	$n_o=1.532$

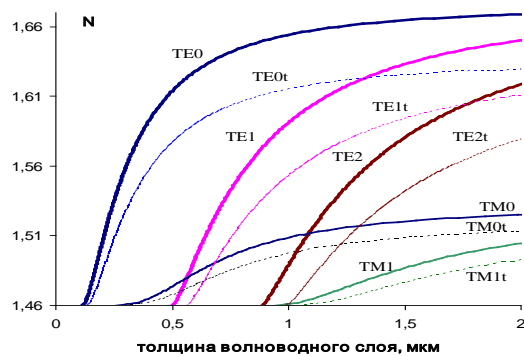


Рис. 1. Дисперсионные кривые для необлученного (0, 1, 2) и УФ облученного (0t, 1t, 2t) волновода

В процессе УФ облучения наблюдается смещение линий m-спектра, свидетельствующее об уменьшении показателей преломления волноводного слоя и согласующееся с представлениями о фотолизе мезогенных фрагментов ЖК полимера. Из рисунка видно, что толщины, обеспечивающие синхронизм мод, посредством облучения могут быть изменены на десятые доли микрона. Этого вполне достаточно для компенсации отклонений толщины получаемого слоя от заданной.

Рис. 2 показывает зависимости от времени облучения рассчитанных значений  $n_e$  (верхняя кривая) и  $n_o$  (нижняя кривая).

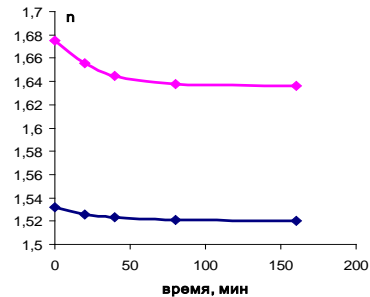


Рис. 2. Изменение показателей преломления волноводного слоя при УФ облучении

### Заключение

Исследованные анизотропные полимерные волноводы на основе фотоотверждаемого ЖК мономера продемонстрировали изменение волноводных параметров при УФ облучении, которое можно использовать для оптимизации условий синхронного распространения волноводных мод, а также для создания полосковых волноводных структур.

### Список литературы

1. Trofimova A. et al. // SID Symposium Digest of Technical Papers. 2013. № P16.2. P. 258 – 261.
2. Trofimova A., Mahilny U. // J.Opt.Soc.Am.B. 2014. V. 31. № 5. P. 948-952.
3. Могильный В.В., Станкевич А.И., Трофимова А.В. // Вестник БГУ. Сер.1. 2014. № 2. С. 17–22.
4. Могильный В.В., Станкевич А.И., Трофимова А.В. // Взаимод. излучений с твердым телом: Материалы 11 Международной конференции. - Мн., 2015. С.254-255.
5. Могильный В.В., Станкевич А.И., Трофимова А.В. // Вестник БГУ. Сер.1. 2015. № 1. С. 9.13.
6. Ulrich R., Torge R. // Appl.Opt. 1973. V. 12. № 12. P. 2901 – 2908.

## MODIFICATION OF WAVEGUIDE PROPERTIES OF A POLYMERIC LC LAYER UNDER UV RADIATION

Uladzimir Mahilny, Katsiaryna Mankevich, Aliaksandr Stankevich  
Belarusian State University, 4 Nesavisimosti ave., 220030 Minsk, Belarus, mogilny@bsu.by

Anisotropic polymer waveguides based on a photopolymerizable LC monomer were fabricated and investigated. A change in their waveguide parameters with UV irradiation was observed. It is proposed to use the effect of photochemical transformations of the polymer LC layer to optimize the conditions for the synchronous propagation of waveguide modes.