

НИЗКОВОЛЬТНЫЙ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ МОДУЛЯТОР НА БАЗЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КРИСТАЛЛОВ DAST

Денисюк И. Ю., Бурункова Ю. Э.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий механики и оптики»
Кронверкский пр., 49, Санкт-Петербург, 197101, Россия
тел./факс: 7(812) 325-13-70, e-mail: denisiuk@mail.ifmo.ru

Аннотация – Разработан метод получения планарных монокристаллических пленок молекулярных нелинейно-оптических кристаллов DAST 4-dimethylamino-N-methylstilbazolium tosylate. На базе монокристаллической пленки сформирована структура низковольтного электрооптического модулятора света, обеспечивающего 60 % модуляцию света при напряженности электрического поля 0,7 В/мкм измерены его характеристики на частотах до десятков мегагерц.

I. Введение

В настоящее время интенсивно развиваются целый ряд перспективных телекоммуникационных и СВЧ систем, основанных на электрооптических полимерах: интегрально-оптические телекоммуникационные системы WDM, переключатели и модуляторы, сверхбыстродействующие оптоэлектронные АЦП гигагерцового диапазона, оптоэлектронные элементы формирования и обработки СВЧ сигналов фазированных антенных решеток РЛС и систем спутниковой связи. Их интенсивное развитие связано с появлением дешевых полимерных материалов и технологий получения интегрально-оптических структур на их основе. Несмотря на выдающиеся параметры электрооптических полимеров, достигнутые в 1998 – 2004 г.г., они имеют ряд недостатков и нерешенных проблем, которые не преодолены и сегодня [1]. В частности, окончательно не решен вопрос температурной устойчивости наведенной анизотропии и старения, связанный с разориентированием молекул хромофор в полимере при повышенных температурах эксплуатации (+90°C). Введение хромофор в полимер в высокой концентрации приводит к повышенному светорассеянию, что в свою очередь является причиной потерь порядка 0,5 – 1 дБ/см. Электрооптическая чувствительность пропорциональна концентрации хромофор в полимере, однако при превышении некоторого порогового значения концентраций, составляющего порядка 20 об.%, наблюдается исчезновение нелинейно-оптической восприимчивости материала в результате агрегации хромофор в коллоидные частицы, имеющие нулевой дипольный момент. Последнее объясняется диполь-дипольным взаимодействием хромофор и их агрегацией по схеме «голова к хвосту», что приводит к взаимной компенсации дипольных моментов и исчезновению нелинейно-оптической восприимчивости агрегата. Поэтому реальная величина электрооптического коэффициента этих материалов не превышает 100 пм/В, что в три раза больше по сравнению с ниобатом лития, но далеко от теоретического предела для молекулярного кристалла (3000 пм/В).

Возможность существенного повышения электрооптических параметров связана с разработкой принципиально новых сред, имеющих более высокие параметры по сравнению с электрооптическими полимерами и основанных на совершенно новых принципах построения структур. В данной работе разработан метод получения тонкопленочных планарных монокристаллов DAST (4-dimethylamino-N-methylstilbazolium tosylate). Электрооптический коэффици-

ент которых составляет 400 – 500 пм/В. Подобные работы по созданию планарных молекулярных кристаллов ведутся за рубежом, начиная с 1999 г., однако пока результаты их хотя и многообещающие, но еще весьма далеки от возможности промышленного применения по причине сложности технологии этих новых материалов. Метод создания таких кристаллов, предложенный в данной работе является еще одним шагом в направлении создания материала для электрооптического низковольтного модулятора света гигагерцового диапазона, работающего при напряжениях единицы вольт.

Необходимо отметить помимо высокого электрооптического коэффициента и ряд других положительных свойств органических молекулярных кристаллов:

- низкая диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 5,2$, в то время как ϵ электрооптических полимеров порядка 10, а ниобата лития – 30;
- хромофоры малой длины снимают частотные ограничения и позволяют использовать эти материалы вплоть до ТГц области;
- высокая термостойкость и стабильность органических кристаллов DAST (до 300°C), обеспечивает возможность их применения в устройствах с высокой коммутируемой мощностью, что важно для применения в волноводной технике.

II. Основная часть

Ниже рассмотрен разработанный нами метод выращивания тонкопленочных кристаллов DAST. Возможность формирования тонких монокристаллических пленок на основе DAST определяется особенностью роста этого кристалла. Скорость роста DAST по одной из кристаллических осей превышает скорости роста по двум другим осям на порядок и на два порядка соответственно. Если ввести дополнительный фактор, обеспечивающий ориентацию растущего кристалла вдоль поверхности, можно добиться ориентированного роста кристаллов. Например, для молекул DAST, являющихся по сути органической солью, ориентирующим фактором может служить взаимодействие с полимерами, имеющими кислотные или OH⁻ группы на поверхности.

В наших экспериментах для ориентированного роста кристалла DAST были использованы одноосно ориентированные пленки поливинилового спирта, имеющего OH⁻ группы на поверхности, и УФ-отверждаемые полимеры, имеющие кислотные группы. Ориентированные пленки были размещены на стеклянной подложке на дне бюкса с пересыщенным раствором DAST в изопропиловом либо метиловом спирте. В процессе медленного испарения изопропилового спирта раствор пересыщался, и из него начиналась медленная кристаллизация пленки DAST расположенной в плоскости подложки, либо образование друз кристаллов, если ориентирующее действие подложки отсутствовало.

При использовании ориентирующей одноосно вытянутой пленки из поливинилового спирта наблюдалась эффективная ориентация: образующиеся кристаллы имели малую толщину (5 мкм) и располагались только в плоскости пленки в направлении ее ориентации. При малой скорости роста образование крупных кристаллов одновременно с тонкопленочными не наблюдалось, что свидетельствует о преимущественном росте кристалла DAST на поверхности ориентированного полимера, что и требовалось для нашей задачи. В течение недели сформировалась пленка DAST толщиной ~ 5 мкм, имеющая значительное двулучепреломление.

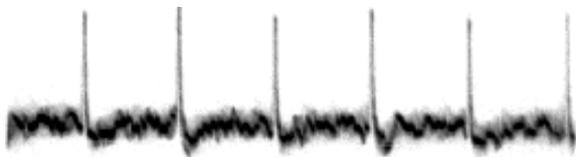
При росте DAST в тех же условиях на поверхности полимера, имеющего кислотные группы, наблюдалось образование крупных кристаллов правильной формы красной модификации. Размер кристалла достигал 2 x 1 мм при толщине 10 мкм. Кристалл располагался в плоскости полимера. Форма кристалла соответствовала известной из литературы. Вопросы получения кристаллов подробно рассмотрены в наших работах [2, 3].

Исследования планарных кристаллов показали их высокие электрооптические свойства, что позволило создать на базе этих кристаллов низковольтные модуляторы света. Лабораторный образец модулятора в виде планарного кристалла, расположенного на электродах приведен на Рисунке. Расстояние между электродами 45 мкм, длина волны модулируемого света 633 нм.



При приложении напряжения к электродам происходит сдвиг фазы проходящего через кристалл света. Для обеспечения амплитудной модуляции кристалл был расположен между двух скрещенных поляризаторов, которые обеспечивали полное гашение света при отсутствии напряжения.

На рисунке ниже приведена осциллограмма модуляции света короткими (1 мкс) импульсами.



Проведенные эксперименты показали, что 50 % модуляция света может быть получена при напряженности управляющего сигнала на уровне 0,7 В/мкм, что обеспечивает работу при напряжении 1,5 В при межэлектродном зазоре 2 мкм.

Сравнение модулятора с аналогичным модулятором на базе кристалла ниобата лития Z-среза (все параметры модуляторов одинаковы) показало, что электрооптическая эффективность кристаллов DAST в 42 раза больше, чем у ниобата лития Z-среза.

На базе кристалла DAST могут быть получены и другие элементы: переключатели, дефлекторы при соответствующей электродной структуре, нанесенной на кристалл. Исследованный модулятор вероятно может обеспечивать модуляцию света до ГГц диапазона, но возможности нашей измерительной аппаратуры позволили его проверить только до 20 МГц. Спад эффективности на этих частотах не замечен.

III. Заключение

В работе показано, что кристаллы DAST имеют преимущество по электрооптической эффективности в сравнении с кристаллами ниобата лития Z – среза примерно в 40 раз и перспективны для применения в различных схемах оптоэлектроники как модуляторы с низким управляющим напряжением. Разработаны способы получения планарных кристаллических пленок с однородной кристаллической структурой на базе которых сформированы образцы низковольтных модуляторов света.

Работа выполнялась при поддержке по гранту РФФИ офи-п № 05-02-08048 и проекту Рособразования № 01.03.06.

IV. Список литературы

- [1] Kimberly A. Firestone, Reid Philip, Lawson Rhys, Jang Seihum, Larry R. Dalton. Advances in organic electro-optic materials and processing *Inorganica Chimica Acta*, 2004, p. 3957–3966
- [2] Денисюк И. Ю.; Бурункова Ю. Э.; Смирнова Т. В. Новые электрооптические материалы на основе тонких пленок молекулярных кристаллов - преимущества и перспективы использования *Оптический журнал*, 2007 г., т. 74, № 2, с. 63-69.
- [3] Yu. Igor Denisyuk, Julia E. Burunkova Molecular organic crystals DAST and POM in the form of thin crystalline film and nanocrystals composition – the new and promising medium for NLO application *Ukrainian Physical Journal* 2007, Т. 52, № 4, с. 407 - 413.

LOW-VOLT ELECTRO-OPTICAL LIGHT MODULATOR BASED ON THIN MONOCRYSTALLINE DAST FILM

Denisyuk I. Y., Burunkova Yu. E.
*State University of Information Technologies
 Mechanics and Optics, Department of Optic of Quantum
 Sized Systems*
 49, Kronverskii Str., Saint-Petersburg, 197101, Russia
 Phone/fax 7(812) 325-13-70
 e-mail: denisiuk@mail.ifmo.ru

Abstract – The process of “red” thin crystalline films of DAST 4-dimethylamino-N-methyl-stilbazolium tosylate was investigated by impregnation methods. Low volt-light modulator based on material was investigated. 60% dept of light modulation was obtained at 0.7V/um driving voltage. Modulator properties were measured up to dozens of MHz.