

05;07

## **Тонкопленочные поляризаторы для видимого диапазона спектра с наноструктурированной поверхностью на основе углеродных нанотрубок**

© Н.В. Каманина, П.Я. Васильев, В.И. Студенов

Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова,  
Санкт-Петербург

Санкт-Петербургский государственный технический университет „ЛЭТИ“  
Санкт-Петербургский государственный университет информационных  
технологий, механики и оптики „ИТМО“

E-mail: nvkamanina@mail.ru

*Поступило в Редакцию 12 марта 2010 г.*

Кратко рассмотрен вопрос о влиянии углеродных нанотрубок на спектральные и прочностные свойства йодно-поливинилспиртовых поляризационных пленок, функционирующих в видимой области спектра. Установлено увеличение пропускания в диапазоне длин волн 200–750 nm и повышение поверхностной механической прочности изучаемых структур.

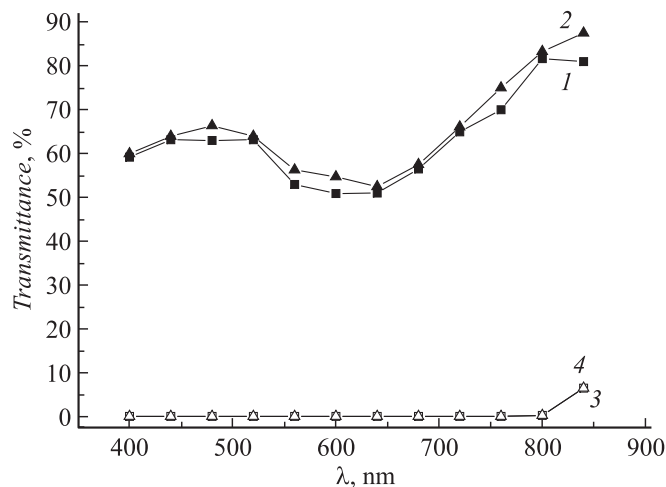
Функционирование различных оптоэлектронных устройств предполагает использование поляризационных элементов [1–3]. Известно, что работа поляризационных элементов связана с поперечностью электромагнитных волн. Основа работы такого поляризационного устройства обусловлена его способностью пропускать одну из компонент естественного света, параллельную оси поляризатора, и задерживать другую, ортогональную компоненту. Существуют два основных способа создания таких поляризационных тонкопленочных устройств. Первый основан на напылении металлических полос на полимерную основу. Соответственно металлический слой отражает излучение, а полимерный слой пропускает, частично поглощая, падающее излучение. Таким образом проходит излучение только определенной поляризации. Второй основан на создании, например, полимерных йодно-поливинилспиртовых поляризационных пленок, пропускающих соответственно параллельную компоненту падающего света и поглощающих —

ортогональную компоненту. Таким образом, принцип действия йодно-поливинилспиртового пленочного поляризатора основан на дихроизме поглощения анизотропных комплексов поливиниловый спирт–йод [4,5].

В настоящей работе, при использовании углеродных нанотрубок, рассмотрено усовершенствование спектральных и прочностных свойств йодно-поливинилспиртовых пленочных поляризаторов, которые могут быть пригодны для области оптического приборостроения, лазерной, телекоммуникационной, дисплейной и медицинской техники, а также полезны в приборах защиты глаз сварщиков, пилотов самолетов, в применении жидкокристаллических элементов, функционирующих в скрещенных поляроидах — поляризационных пленках.

Поляризатор представлял собой структуру, состоящую из пленки йодированного поливинилового спирта [4,5] толщиной 60–80  $\mu\text{m}$  и нанесенных с двух сторон слоев углеродных одностенных нанотрубок толщиной  $\sim 0.05 \mu\text{m}$ . При функционировании данного поляризатора использовались поляризационные пленки как в параллельном, так и в скрещенном положении в зависимости от необходимости получения изначально светлого или черного поля. В результате структурирования поверхности пленок углеродными нанотрубками, с одной стороны, наблюдалось некоторое увеличение пропускания света для параллельной компоненты (см. рисунок, кривая 2 в сравнении с кривой 1) и сохранение минимального пропускания для ортогональной компоненты (см. рисунок, кривые 3 и 4). Углеродные нанотрубки напылялись на поверхность пленок в вакууме лазерным способом при применении квазинепрерывного  $\text{CO}_2$ -лазера с  $p$ -поляризованным излучением, при приложении ориентирующего электрического поля напряженностью 50–200 В/м. Способ лазерного нанесения углеродных нанотрубок на органические и неорганические подложки описан в патенте [6]. Измерения пропускания пленок были сделаны с помощью спектрофотометра СФ-26, функционирующего в диапазоне длин волн 200–1200 нм. Для контроля спектральных измерений были использованы калиброванные фильтры. Ошибка в измерениях спектров составляла около 0.2%.

Видно, что структурирование поверхности поляризационных пленок углеродными нанотрубками привело к увеличению пропускания на 2–5% в видимой области спектра для параллельной компоненты света и сохранению минимального пропускания для ортогональной компоненты света. Полученный результат обусловлен, по-видимому, тем, что нанесение на поверхность поляризационных пленок углеродных нанотрубок изменяет свойства границы раздела сред воздух–поляризационная



Зависимости пропускания от длины волны для параллельно (кривые 1 и 2) и ортогонально (кривые 3 и 4) поляризованного света, без структурирования поверхности (кривые 1 и 3) и с наноструктурированной поверхностью (кривые 2 и 4).

пленка и уменьшает потери на отражение за счет эффекта Френеля, что связано с малостью показателя преломления углеродных нанотрубок, близкого к значению  $n \sim 1.1$ . В спектральной области длин волн 400–750 nm пленки обеспечивают пропускание параллельной компоненты света на уровне 55–80%.

Кроме того, в противовес стандартному способу предотвращения царапин и изгибов полимерной поляризационной пленки, при котором ее обычно заклеивают между стеклянными поверхностями силикатного стекла крон К8 или запрессовывают в триацетатцеллюлозу [4,5], применен новый способ нанесения наноструктур на обе поверхности поляризационных пленок. Способ нанесения углеродных нанотрубок на поверхность разных материалов, включая „мягкие“ материалы УФ- и ИК-диапазона, полупроводники, пластики и прозрачные проводящие покрытия, был кратко описан в работах [7,8]. Процесс наноструктурирования позволяет сохранить форму пленок, что немаловажно в оптоэлектронных схемах для снижения aberrаций в оптических каналах и получения неискаженного сигнала при работе дисплейных пикселей. Повышение поверхностной механической прочности обусловлено, по-

видимому, ковалентной привязкой углеродных нанообъектов к поверхности пленок, что обеспечивает упрочнение поверхности за счет встраивания в поверхность большого количества труднорастворимых С–С связей нанотрубок. Замена ламинирования поляризационных пленок при их заклеивании в стекло К8 или запрессовывании в триацетатцеллюлозу процессом лазерного нанесения ориентированных в электрическом поле углеродных нанотрубок обеспечивает отсутствие царапин и дефектов на поверхности пленок, что делает их более функционально пригодными в лазерных системах коррекции aberrаций, дисплейной и медицинской технике.

Таким образом, исследованный способ нового усовершенствования и оптимизации спектральных и прочностных свойств йодно-поливинилспиртовых тонкопленочных поляризаторов позволяет расширить область применения пленок в системах записи–считывания оптической информации, переключения и ограничения потоков излучения, частотного преобразования излучения — в телекоммуникационных, дисплейных и медицинских системах и комплексах. Работа требует продолжения исследований с целью более детального изучения „привязки“ нанообъектов к поверхности поляризационной пленки на основе квантово-химических расчетов и атомно-силового анализа.

Авторы данного исследования благодарят докт. физ.-мат. наук А.В. Крестинина (зав. гр. Дисперсных углеродных материалов, Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Московская обл.) за предоставление одностенных углеродных нанотрубок.

Работа была выполнена в отделе „Фотофизика сред с нанообъектами“ ФГУП НПК „ГОИ им. С.И. Вавилова“. Частично работа финансировалась из средств комплекса НИР „Перспектива“ НПК „ГОИ им. С.И. Вавилова“ (2008–2010 гг.), а также гранта РФФИ № 10-03-00916 (2010–2012 гг.).

## Список литературы

- [1] *Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В.* Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987. 320 с.
- [2] *Каманина Н.В., Сомс Л.Н., Тарасов А.А.* // Оптика и спектроскопия. 1990. Т. 68. № 3. С. 691–693.
- [3] *Жаркова Г.М., Сонин А.С.* Жидкокристаллические композиты. Новосибирск: ВО „Наука“, 1994. 214 с.

- [4] Савко С.С., Игольникова Л.М. // ОМП. 1981. № 1. С. 6–9.
- [5] Виноградова О.В., Гапоненко И.М., Налбандян Ю.Е., Савко С.С., Студенов В.И., Учанов Ю.Е. // ОМП. 1989. № 11. С. 41–43.
- [6] Каманина Н.В., Васильев П.Я. Оптическое покрытие на основе углеродных нанотрубок для оптического приборостроения и наноэлектроники. Патент России № 2355001 (RU 2 355 001 C2), приоритет от 09.01.2007; зарегистрирован в ГРИ РФ 10.05.2009.
- [7] Каманина Н.В., Васильев П.Я. // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. В. 18. С. 8–13.
- [8] Каманина Н.В., Васильев П.Я., Студенов В.И. // Оптический журнал. 2008. Т. 75. № 12. С. 57–60.