

М.В. Бобкова, В.В. Пекаревич, Е.А. Мельникова, А.Л. Толстик
УО «Белорусский государственный университет», Минск, Беларусь

ФАЗОВО-ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО СТРУКТУРИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Введение

В настоящее время анизотропные жидкокристаллические (ЖК) среды широко применяются как эффективные функциональные материалы в оптических системах отображения информации, а также в многочисленных устройствах для управления световыми пучками и их преобразования. Повышенный интерес к таким веществам связан с технологичностью их производства, низкими управляющими напряжениями, малой стоимостью и массогабаритными характеристиками.

Актуальными являются задачи формирования и преобразования световых полей с заданной поляризационной и фазовой структурой. Световые пучки со сложной топологией фазы и поляризации широко используются для лазерной обработки материалов [1, 2], эффективно применяются в оптических пинцетах [3] и в устройствах оптической обработки информации [4].

В настоящей работе показана возможность управления фазовой и поляризационной структурой световых пучков с использованием электрически управляемых пространственно структурированных ЖК элементов.

1. Структура жидкокристаллических элементов и технология их создания

Как известно, электрооптические свойства ЖК сред зависят от ориентации молекул на ограничивающих стенках подложек ЖК ячейки, а направление оптической оси в планарно ориентированном слое нематического жидкого кристалла определяется направлением директора молекул ЖК и может изменяться при воздействии внешнего электрического поля [5]. С применением современных методов ориентации ЖК молекул можно формировать сложное распределение ЖК директора на подложках ячейки, которое нельзя реализовать с помощью традиционных методов, таких как метод натирания полимеров.

В настоящей работе анизотропная жидкокристаллическая струк-

тура ЖК элементов образовывалась в результате пространственно-неоднородной ориентации ЖК молекул фотоориентирующим покрытием при экспонировании тонкой пленки ориентанта излучением с длиной волны λ , соответствующей синей области видимого спектра, с заданным пространственным распределением интенсивности и поляризации. Образец разбивался на 180 секторов, каждый сектор засвечивался излучением с заданной поляризацией, длиной волны 440 нм и интенсивностью 15 мВт/см² в течение 20 секунд. Время экспонирования всего элемента составило 1 час 20 минут. В качестве фотоориентирующего покрытия использовался азокраситель AtA-2, разработанный в институте химии новых материалов НАН Республики Беларусь. Этот азокраситель имеет высокую энергию сцепления с ЖК молекулами, обладает термо- и фотостабильностью [6]. Топология ориентации ЖК директора в элементах представлена на рисунке 1.

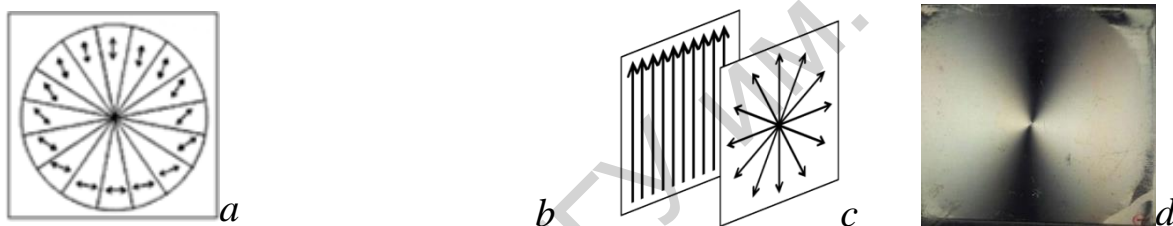


Рисунок 1 – Топология распределения ЖК директора (*a* – планарная структура, *c* – твист структура) и изображение соответствующих элементов при наблюдении в скрещенных поляризаторах (*b*, *d*)

В первом элементе (рисунок 1, *a, b*) в местах засветки фотоориентанта пространственно модулированным излучением создается соответствующая планарная ЖК структура (*S*-деформация ЖК молекул). Такой элемент при значениях набеге фазы между обыкновенным и необыкновенным лучами равным $\Delta\Phi=\pi(2m+1)$ функционирует как полуволновая пластинка с пространственно неоднородной ориентацией оптической оси. Управление величиной фазового набеге производится посредством изменения внешнего напряжения. Во втором элементе ориентация молекул на двух подложках ячейки различна (рисунок 1, *c, d*), в результате чего в объеме ЖК среды формируется «твист»-структура (*T*-деформация) ЖК молекул.

2. Оптические свойства жидкокристаллических элементов

С использованием полученных элементов можно обеспечить формирование как азимутальной, так и радиальной поляризации – в зависимости от взаимной ориентации векторов, определяющих поляризацию входного излучения и ориентацию ЖК элемента.

Профиль распределения интенсивности в сечении линейно поляризованного светового пучка на выходе первого ЖК элемента (рисунок 1, *a, b*) может быть различным и зависит от приложенного к системе внешнего напряжения (рисунок 2, напряжение указано в вольтах).

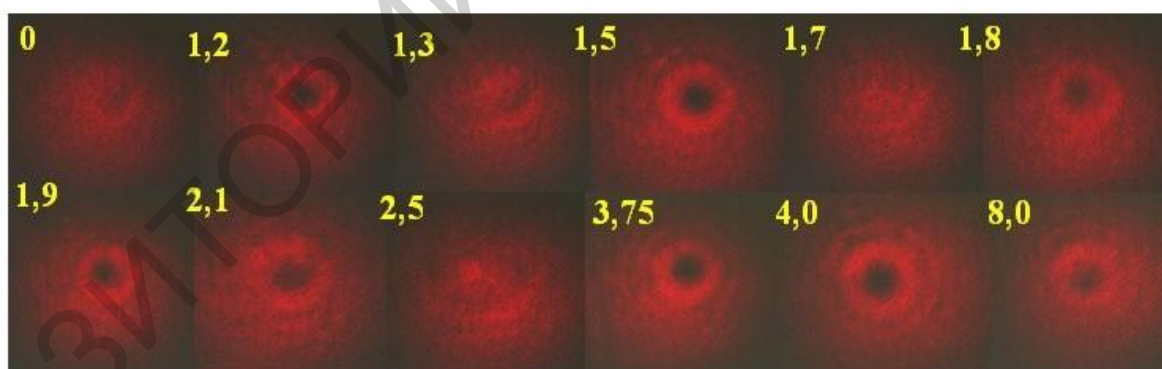


Рисунок 2 – Поперечное сечение линейно поляризованного гауссова светового пучка на выходе ЖК элемента при различных значениях напряжения

При значениях напряжения, которые соответствуют формированию азимутальной (или радиальной) поляризации светового поля, интерференционные картины исследуемого и гауссова пучков имеют «вилкоподобную» структуру, а расщепление интерференционной по-

лосы происходит в месте образования винтовой дислокации (рисунок 3). Топологический заряд оптического вихря равен +1.

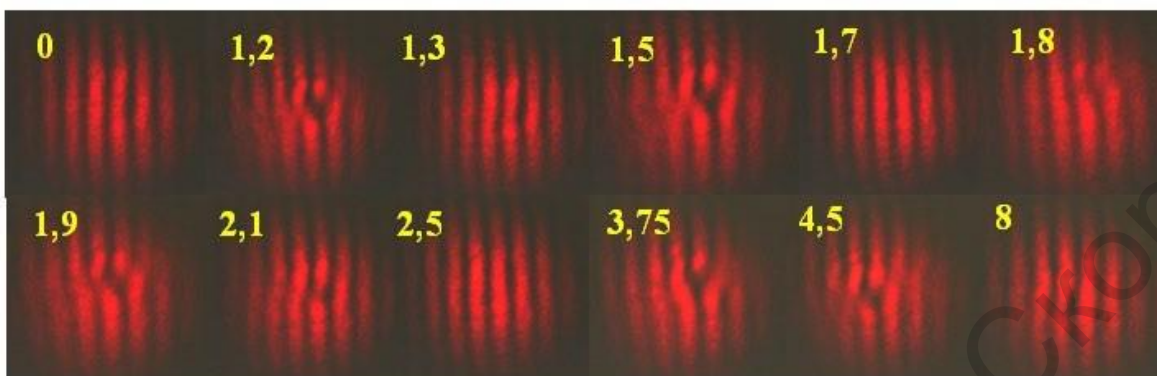


Рисунок 3 – Результаты исследования сингулярности линейно поляризованного светового пучка на выходе ЖК элемента

Твист-ЖК элемент (рисунок 1 *c, d*) преобразует линейно поляризованный входной пучок в пучок с радиальной (азимутальной) поляризацией вне зависимости от фазового набега. При подаче на такой элемент напряжения, соответствующего интервалу от 0 до 2,4 В, в профиле сечения как линейно поляризованного, так и циркулярно поляризованного гауссова пучка, на выходе ЖК ячейки наблюдаются черные полосы, обусловленные рассеянием света на дисклинациях (рисунок 4).

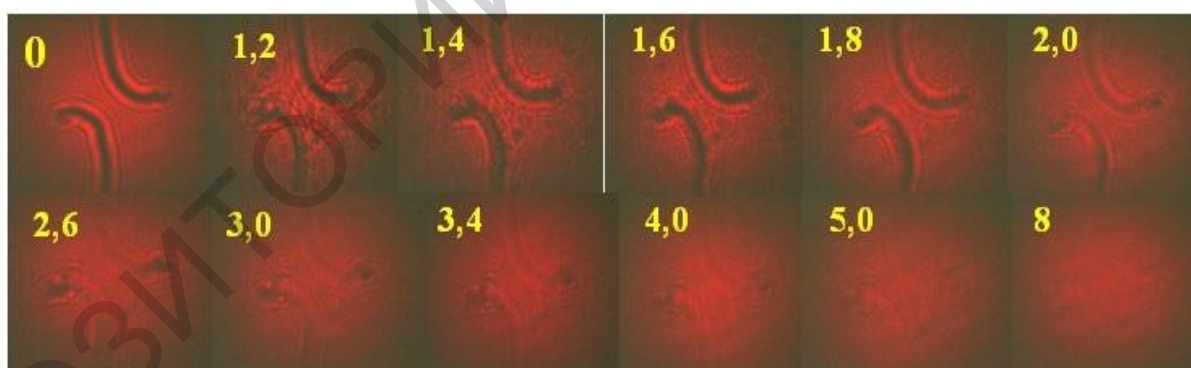


Рисунок 4 – Поперечное сечение циркулярно поляризованного гауссова светового пучка на выходе ЖК элемента при различных значениях напряжения

При напряжениях, соответствующих интервалу от 2,4 до 3,4 вольт в сечении пучков появляются два выраженных провала интенсивности. На интерферограммах наблюдается расщепление двух интерференционных линий – образование двух оптических вихрей, топологический заряд которых равен +1 (рисунок 5).

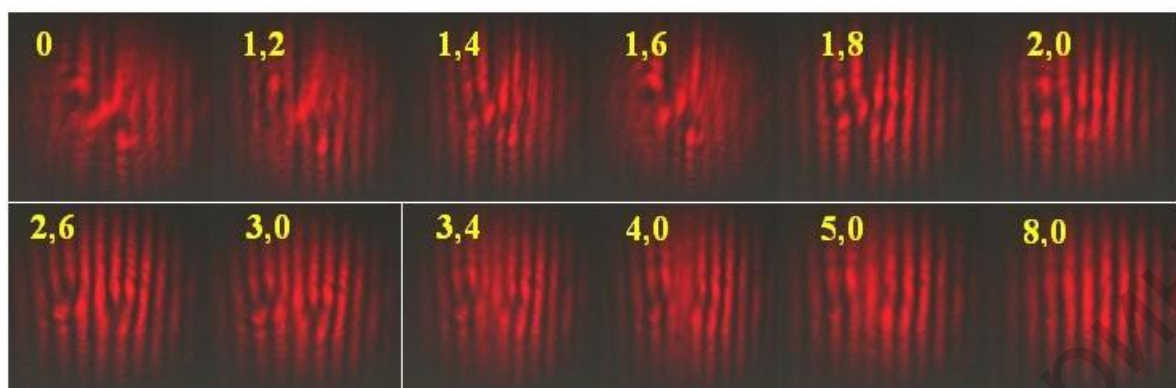


Рисунок 5 – Результаты исследования сингулярности циркулярно поляризованного светового пучка на выходе ЖК элемента

Заключение

Таким образом, полученные жидкокристаллические элементы со сложным начальным распределением ЖК молекул могут применяться в целях электрически управляемого преобразования фазово- поляризационной структуры лазерного излучения.

Литература

1. Niziev, V.G. Influence of beam polarization on laser cutting efficiency / V.G. Niziev, A.V. Nesterov // J. Phys. – 1999. – Vol. 32. – P. 1455–1461.
2. Nesterov, A.V. Laser beams with axially symmetric polarization / A.V. Nesterov, V.G. Niziev // J. Phys. – 2000. – Vol. 33. – P. 1817–1822.
3. Абраамян, В.К. Применение аксиально-симметричной фазовой и круговой дифракционной волновой пластин в оптических пинцетах / В.К. Абраамян // Известия НАН Армении, Физика. – 2015. – Т. 50, № 3. – С. 321–330.
4. Molina-Terriza G. Twisted photons / G. Molina-Terriza, J.P. Torres, L. Torner // Nat. Phys. 3(5). – 2007. – P. 305–310.
5. Блинов, Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов / Л.М. Блинов. – М.: Наука, 1928. – 384 с.
6. Mikulich, V.S. Influence of Methyl Substituents on Azo-Dye Photoalignment in Thin Films / V.S. Mikulich, An.A. Murauski, Al.A. Muravsky, V.E. Agabekov // J. Appl. Spectr. – 2016. – Vol. 83, № 1. – P. 115–120.