

Поляризационные свойства электрически управляемых жидкокристаллических дифракционных структур

К.Г. Комяк, О.С. Кабанова, Е.А. Мельникова, И.И. Рушнова, А.Л. Толстик
Белорусский государственный университет
fiz.komyak@bsu.by

Одно из перспективных и активно развивающихся направлений оптики – разработка и создание управляемых дифракционных элементов на основе жидких кристаллов (ЖК), формирующих световое поле с заданными характеристиками. Такой повышенный интерес объясняется уникальными свойствами ЖК-элементов: тонкий оптический слой, низкое рабочее напряжение, высокая анизотропия [1]. В работе рассмотрены поляризационные свойства дифракционной структуры, изготовленной методом текстурированной фотоориентации нематического жидкого кристалла.

Функциональную основу дифракционных структур составили тонкопленочные слои нематического ЖК-материала (ЖК 1282, НИОПИК, Россия: $n_o=1,678$ $n_e=1,509$) с многодоменной ориентацией. В качестве фотоориентируемого материала был выбран светочувствительный азокраситель AtA-2 [2]. Толщина слоя жидкого кристалла составила 20 мкм, ориентация молекул ЖК твист-планарная.

На рисунке 1 представлен график зависимости пропускания твист-ячейки в скрещенных поляризаторах от приложенного напряжения. Из графика следует, что можно выделить три режима работы твист-ячейки: при малых напряжениях (до 1,5 В), при напряжениях от 1,5В до 3В и при напряжениях больше 3В.

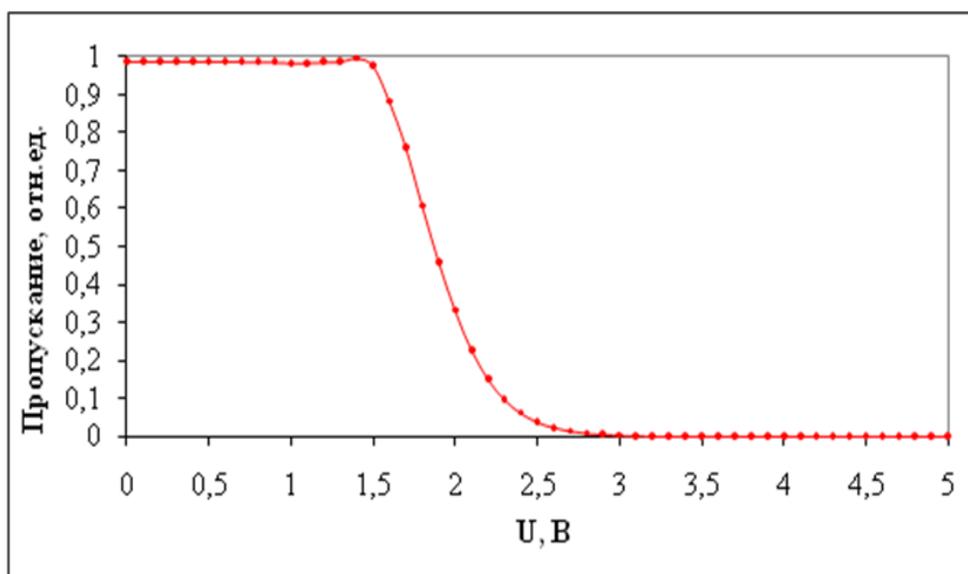


Рис. 1. График зависимости пропускания твист-ячейки в скрещенных поляризаторах в зависимости от приложенного напряжения.

Для изучения поляризационных свойств изготовленных ЖК-структур использовался *He-Ne*-лазер, генерирующий узконаправленный луч линейно поляризованного света с длиной волны 632,8 нм, фотодетектор и анализатор. Было исследовано состояние поляризации прошедшего через ЖК-ячейку излучения в отсутствие напряжения и при приложенном напряжении $U = 3В$. Ожидалось, что в выключенном состоянии ячейка будет представлять собой комбинацию двух амплитудных решеток, т.к. благодаря волноводному режиму Могена поляризация

проходящего излучения поворачивается вслед за директором молекул ЖК. Напряжение 3В было выбрано исходя из условия максимума дифракционной эффективности [2]. В диапазоне приложенного напряжения от 1,5В до 2,5В излучение на выходе ЖК ячейки будет иметь эллиптическую поляризацию.

На рисунке 2 представлена послойная ориентация молекул ЖК в изготовленной ячейке. Красными стрелками указано состояние поляризации падающего излучения, а синими – прошедшего через слой ЖК.

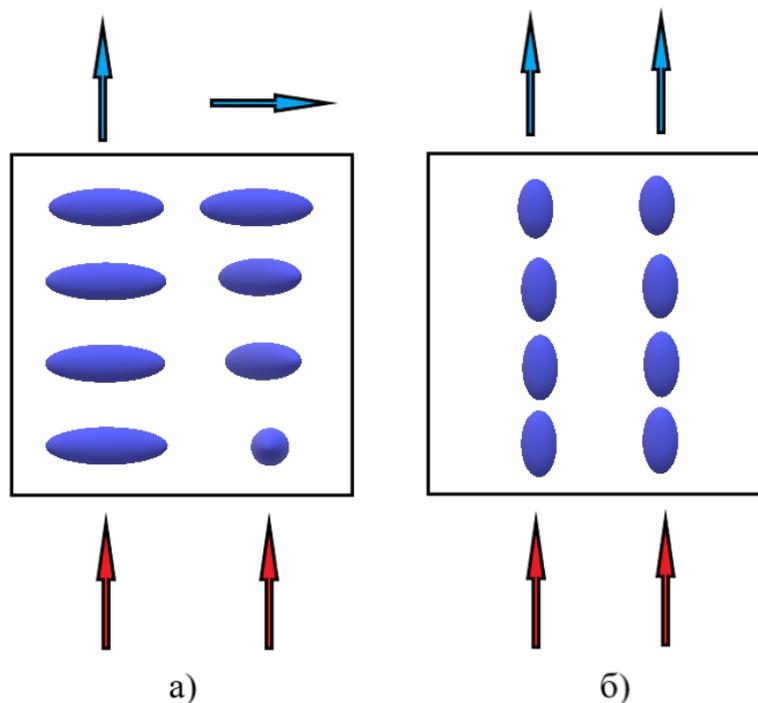


Рис. 2. Послойная ориентация молекул жидкого кристалла и состояние поляризации излучения при а) $U = 0В$, б) $U = 3В$.

Как было отмечено выше, в отсутствие напряжения ЖК-ячейка ведет себя как две амплитудные дифракционные решетки. Если падающее излучение имеет вертикальную линейную поляризацию, то на выходе должна быть зарегистрирована суперпозиция двух волн с линейными ортогональными поляризациями. В этом случае вектор поляризации прошедшего излучения должен быть повернут относительно вектора поляризации падающего излучения на 45° . При приложенном напряжении 3В молекулы жидкого кристалла переориентируются вдоль силовых линий электрического поля. При такой геометрии ЖК-структура перестает поворачивать плоскость поляризации.

Стоит также отметить, что для области с планарной ориентацией молекул ЖК и закрученной твист-ориентацией пороговое значение напряжения, при котором начинается раскрутка директора, различается. Это связано с тем, что для твист-области значение $U_{\text{пор}}$ определяется тремя коэффициентами упругости, которые характеризуют S-, В- и Т-эффект, а для планарной области – только одним коэффициентом, который описывает S-эффект.

На рисунке 3 приведены результаты исследования состояния поляризации прошедшего излучения для нулевого и первого порядков дифракции. Красным цветом обозначена поляризация падающего излучения, синим – прошедшего.

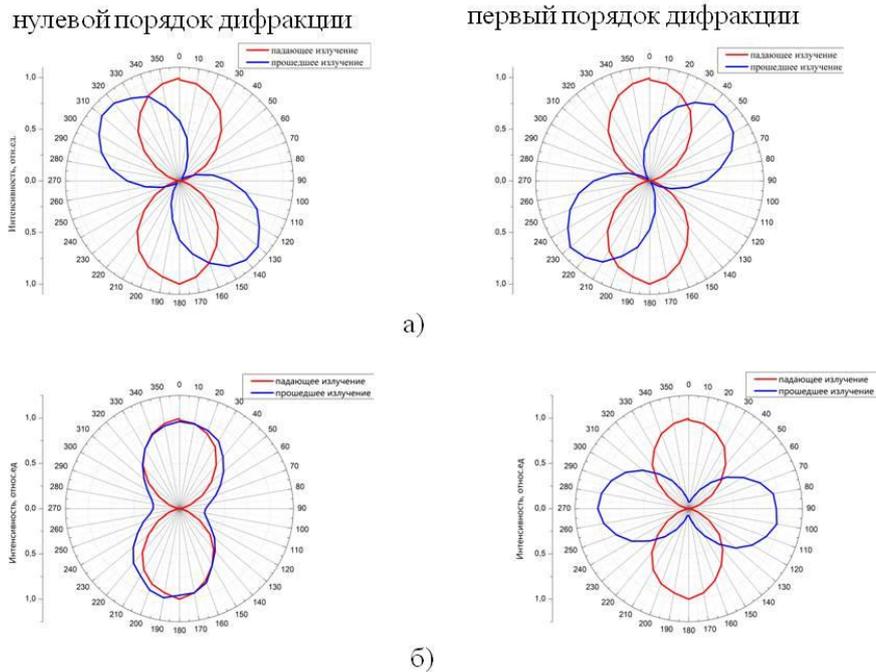


Рис. 3. Состояние поляризации излучения, прошедшего через ЖК-ячейку при приложенном напряжении а) $U = 0\text{В}$, б) $U = 3\text{В}$.

Как видно из рисунка 3, полученные результаты соответствуют предложенной феноменологической модели. В отсутствие напряжения прошедшее излучение (нулевой порядок дифракции) имеет линейную поляризацию, повернутую на 45° относительно излучения на входе в ЖК ячейку. При напряжении 3В направление поляризации прошедшего излучения совпадает с поляризацией падающего излучения. В то же время поляризация излучения, дифрагированного в первый порядок имеет линейную поляризацию, ортогональную нулевому порядку. Ортогональность состояний поляризации в соседних порядках дифракции является характерной для поляризационных решеток [3, 4].

Таким образом, можно сделать вывод, что ЖК-ячейка с твист-планарной ориентацией директора может быть использована как поляризационный разветвитель, разделяющий падающий световой пучок на составляющие с различной поляризацией. Состоянием поляризации прошедшего излучения можно управлять с помощью внешнего напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. V. Chigrinov, A. Kudreyko, Q. Guo // Crystals. 2021. V. 11, No 2. P. 84.
2. K.G. Kamiak et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2021 V. 85, No 12. P. 1496–1500.
3. Ш.Д. Какичашвили // Опт. и спектр. 1972. Т. 33. С. 324–327.
4. D.V. Gorbach, S.A. Nazarov, O.G. Romanov, A.L.Tolstik // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2015. V.18, No 2. P. 149–156.