

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЖИДОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ СО СКРУЧЕННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ МОЛЕКУЛ

Эгамов М.Х.

Горно-металлургический институт Таджикистана, Бустон, Республика
Таджикистан, egamov62@mail.ru

Жидкокристаллические материалы широко применяются в портативных компьютерах, цифровых часах, микроволновых печах, и в электронных устройствах специального назначения. Пространственные жидкокристаллические (ЖК) модуляторы света используются при промышленном изготовлении проекторов. Функционирование таких устройств основано на принципе изменения состояния поляризации падающего светового излучения с помощью управляющего напряжения. На основе жидких кристаллов разработаны также другие устройства управления оптическим путем для целей межкомпонентных соединений, создания проекционных дисплеев, изготовления перестраиваемых линз и обработки изображений. Наиболее перспективными из таких устройств являются устройства призматического типа. Известно, что тщательно подобранная ЖК-решетка может давать в первом порядке дифракции 100%-ную эффективность [1]. Поэтому они претендуют на ведущую роль там, где требуются селекция длин волн и высокоэффективное управление лазерными пучками. Существует множество трюков и методов изготовления ЖК-призм и дифракционных решеток. Однако изготовление таких дефлекторов и механизмы управления ими являются достаточно сложными [2]. В настоящей работе предлагается простой способ применения жидкокристаллической ячейки со скрученной ориентацией молекул нематика в качестве спектрального секционного элемента, где используются только его поляризационные свойства.

Нематическая структура со скрученной ориентацией состоит из тонкой жидкокристаллической пленки, диспергированной между двумя параллельными стеклянными пластинками. Поверхности этих пластинок обрабатывались таким способом, чтобы молекулы в пленке были ориентированы параллельно этим поверхностям, но чтобы в пределах толщины пленки поворачивались на 90° . Когда на пленку падает световое излучение с поляризацией, параллельной выделенному на входной поверхности направлению, то после прохождения пленки по всей ее толщине плоскость поляризации светового излучения также поворачивается на 90° . В случае, когда напряжение к ячейке не подается ($E=0$), то свет поляризуется таким способом, чтобы он мог пройти сквозь эту ячейку. При приложении напряжению ($E>0$), молекулы в ЖК-ячейках изменяют свою ориентацию пропорционально приложенному напряжению вплоть до углов в 90° , блокируя тем самым прохождение светового излучения. Путем варьирования подачи соответствующего напряжения, можно получить любую степень пропускания света. Оптические характеристики определялись в виде переменной φ , характеризующей комплексной степени поляризации и зависящей от начальной поляризации светового излучения φ_0 и пути прохождения света через пленки z следующей формулой:

$$\varphi(z, \varphi_0) = \frac{(\beta - i\alpha \cdot \operatorname{tg} \beta z) \varphi_0 + (-jg_0 \cdot \operatorname{tg} \beta z)}{(-jg_0 \cdot \operatorname{tg} \beta z) \varphi_0 + (\beta + j\alpha \cdot \operatorname{tg} \beta z)} \cdot \exp j2\alpha z \quad (1)$$

где

$$\alpha = \frac{2\pi}{p}$$

$$\beta = \frac{\Delta k}{2} \left\{ \left(\frac{2d}{k} \right)^2 + 1 \right\}^{1/2}$$

$$g_0 = \frac{\Delta k}{2}$$

p – шаг спиральной структуры скрученной ориентации ЖК-молекул; k – постоянная распространения световой волны через ячейки; Δk – разность между главными значениями постоянных распространения НЖК. Для скрученной НЖК при линейной поляризации падающего светового излучения принимаем $\varphi_0 = -1$, тогда для структуры со скручиванием на прямой угол $\pi/2$ поляризация на выходе ячейки может быть получена путем приравнивания z к толщине пленки:

$$z = \frac{p}{4} = d$$

Тогда получаем

$$\varphi = \frac{(1+x^2)^{1/2} - j(1+x) \operatorname{tg} \frac{\pi}{2}(1+x^2)}{(1+x^2)^{1/2} + j(1-x) \operatorname{tg} \frac{\pi}{2}(1+x^2)^{1/2}} \cdot (-1) \quad (2)$$

где

$$x = \frac{d\Delta k}{\pi} = \frac{2d\Delta n}{\lambda}$$

и Δn – разность между главными значениями показателя преломления НЖК. Выражение (2) задает эллиптическую поляризацию светового излучения. Предположим, что $\varphi = Z + jY$ описывает параметры эллипса поляризации с эллиптичностью ε , который наклонен под углом θ к направлению, повернутому на прямой угол 90° , тогда

$$\theta = \frac{1}{2} \arg \varphi = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{Y}{X} \quad (3)$$

и

$$\varepsilon = \frac{|\varphi| - 1}{|\varphi| + 1} = \frac{(X^2 + Y^2)^{1/2} - 1}{(X^2 + Y^2)^{1/2} + 1} \quad (4)$$

Зная геометрию эллипса, получим отношение интенсивностей компонент светового излучения, поляризованных параллельно и перпендикулярно направлению директора (преимущественная ориентация молекул жидкого кристалла):

$$R = \operatorname{tg} \left[0,5 \operatorname{arccos} \left\{ \frac{1 - \sin^2 2(\operatorname{ctg} \varepsilon)}{1 + \operatorname{tg}^2 2\theta} \right\}^{1/2} \right] = \frac{\sin^2 \frac{\pi}{2}(1+x^2)^{1/2}}{(1+x^2) - \sin^2 \frac{\pi}{2}(1+x^2)^{1/2}} \quad (5)$$

тогда коэффициент пропускания для светового излучения, поляризованного параллельно направлению директора, определяется формулой,

$$T = \frac{\sin^2 \frac{\pi}{2}(1+x^2)^{1/2}}{1+x^2} \quad (6)$$

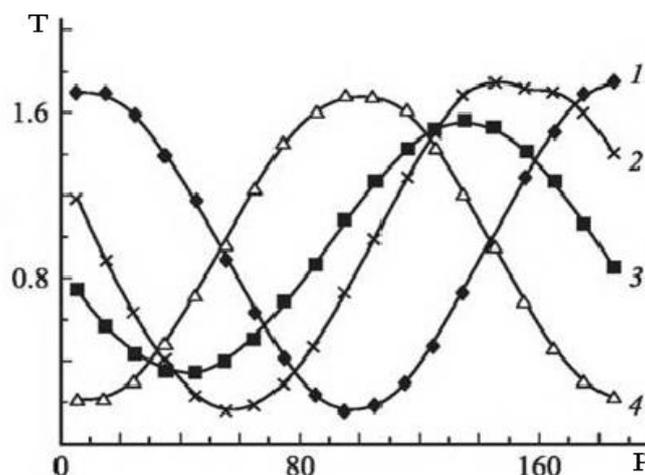


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента светопропускания скрученной ЖК от степени поляризации при различных значениях напряжения: 1–0В; 2–3В; 3–4В; 4–5В

В наших опытах была использована скрученная нематическая жидкокристаллическая ячейка с 90° -ной спиральной геометрией, толщиной 10 мкм и управляющим напряжением от 0 до 5В. Управляющее напряжение подавалось от лабораторного питающего устройства, которое обеспечивало ступенчатую регулировку напряжения с шагом 5 мВ. Источниками света служили He-Ne лазер, излучающий на длине волны 633 нм. ЖК-ячейка освещалась линейно поляризованным световым излучением от He-Ne лазера мощностью 5 мВт. Первоначально поляризация падающего лазерного излучения выбиралась при помощи поляроида такой, чтобы излучения не проходила сквозь ЖК-ячейки. В результате поляризация пучка лазерного излучения от He-Ne лазера устанавливалась вертикально, а поляризация на выходе ЖК-ячейки - горизонтально. Затем изучалось состояние поляризации светового излучения, прошедшего сквозь скрученную ЖК при различных напряжениях. С помощью анализатора при конкретном значении напряжения определялось состояние поляризации ЖК-ячейки. На рис.1 показана зависимость прошедшего сквозь скрученную ЖК-ячейки светового излучения с длиной волны 633 нм от степени поляризации разных значений напряжений. Как видно, поляризация подчиняется закону Малюса. Очевидно, что наши результаты согласуются с предсказаниями теории [3], в котором построена кривой зависимости коэффициента пропускания T от Θ , характеризуемой уравнением (6).

Литература

1. Ren H., Fan Y.H., Wu S.T. //Appl. Phys. Lett. - 2003. - Vol.82. – P. 3168-3170.
2. Wang X., Wilson D., Muller R., Psaltis D. //Appl. Opt. - 2000. - Vol. 39. – P. 6545-6555.
3. McMundy J.W., Crawford G.P., Jay G.D. // Mol.Cryst.Liq. Cryst. – 2007. - Vol.46. - P. 1896-1910.