

07; 12

© 1993

ЭФФЕКТ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ К НИЗКОЧАСТОТНЫМ КОЛЕБАНИЯМ ДАВЛЕНИЯ

В.А. Б а л а н д и н, Э.В. Г е в о р к я н,
С.В. П а с е ч н и к

Одной из особенностей нематических жидких кристаллов (НЖК) является их способность изменять исходную ориентацию под действием механических колебаний в широком интервале частот. Это обстоятельство позволяет использовать данные соединения в качестве рабочих тел датчиков механических колебаний. Новое применение НЖК, связанное с регистрацией малых градиентов давления, было предложено в работе [1], где описан принцип действия жидkokристаллического расходомера. Преимуществом данного устройства, работающего на принципе дифференциального манометра, является его высокая чувствительность к воздействию градиенту давления. Дальнейшее повышение этой чувствительности позволит существенно расширить область применения приборов данного типа. Один из способов достижения этой цели заключается в использовании дестабилизирующего электрического поля, прикладываемого к слою жидкого кристалла [2], однако при этом замедляется реакция последнего. Другой путь увеличения чувствительности разработан теоретически в работе [3].

Как было показано в этой работе, ортогональная ориентация светового луча, ячейки и исходной ориентации директора (локальной оптической оси жидкого кристалла), используемая, в частности, в акустооптических экспериментах, соответствует пороговым эффектам 2-го порядка. А для наблюдения более сильных беспороговых эффектов 1-го порядка необходимо либо использовать жидkokристаллическую ячейку с наклонной исходной ориентацией директора, либо осуществить наклонное падение света на ячейку.

Рассмотрим гомеотропный слой жидкого кристалла толщиной h , заключенный между прозрачными пластинами. В отсутствии течения он имеет однородную ориентацию директора по нормали к ограничивающим пластинам. При наличии течения, вызванного градиентом давления $\Delta p/L$, ориентация директора изменяется.

Величина показателя преломления N необыкновенного светового луча определяется формулой

$$N(\theta) = \left(\frac{\varepsilon_{\perp} \varepsilon_{\parallel}}{\varepsilon_{\parallel} \cos^2 \theta + \varepsilon_{\perp} \sin^2 \theta} \right)^{1/2} = \frac{N_o N_e}{(N_o^2 \cos^2 \theta + N_e^2 \sin^2 \theta)^{1/2}}, \quad (1)$$

где ε_{\parallel} и ε_{\perp} — значения высокочастотной (для данной длины световой волны) диэлектрической проницаемости вдоль и поперек директора, $N_e = \varepsilon_{\parallel}^{1/2}$ и $N_o = \varepsilon_{\perp}^{1/2}$ — главные показатели преломления, θ — угол между волновым вектором и директором. Поэтому разность фаз необыкновенного и обыкновенного линейно поляризованных лучей, описывающая двулучепреломление жидкокристаллического слоя, равна

$$\phi(t) = \frac{2\pi}{\lambda} \int [N(\theta) - N_o] dx, \quad (2)$$

где профиль ориентации директора $\theta(x, t)$ вместе с близким к паузейлевскому профилем скоростей $v(x, t)$ в слое определяется из решения нематико-гидродинамической задачи для конкретной временной зависимости перепада давления $\Delta p(t)$; например, для $\Delta p(t) = \Delta p_0 \cos \omega t$.

$$\Delta p(t) = \Delta p_0 \cos \omega t. \quad (3)$$

При больших градиентах давления ориентация приближается к однородной с углом

$$\theta = \theta_0 = \arctg \sqrt{\alpha_3 / \alpha_2}, \quad (4)$$

где α_2, α_3 — коэффициенты вязкости Лесли.

Интенсивность света, прошедшего сквозь жидкокристаллическую ячейку, помещенную между скрещенными под углом χ поляризаторами [3]:

$$I(t) = I_0 R \left[\cos^2 \chi - \sin 2\psi \sin 2(\varphi - \chi) \sin^2 \left(\frac{\phi(t)}{2} \right) \right], \quad (5)$$

где I_0 — интенсивность падающего света, φ — угол между плоскостями поляризации поляризатора и необыкновенной волны.

Проведенные вычисления показали, что зависимость амплитуды изменений интенсивности (5), вызванных низкочастотными колебаниями давления (3), от угла падения света ψ (поворота ячейки вокруг направления градиента давления) немонотонная и, в частности, имеет абсолютный минимум при $\psi = 0$ и резкие максимумы при углах $\psi = \psi_{1,2} \sim \pm 20^\circ$.

Ниже приводятся первые экспериментальные результаты, позволившие обнаружить предсказанный ранее эффект для оптического отклика жидкокристаллического слоя на воздействие низкочастотных колебаний давления.

Схема эксперимента показана на рис. 1. Свет от источника (светодиод) (1) через полярирд (2) поступает на жидкокристаллическую ячейку (3) и далее через анализатор (4) на фотоприем-

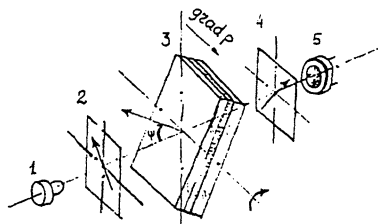


Рис. 1. Геометрия эксперимента

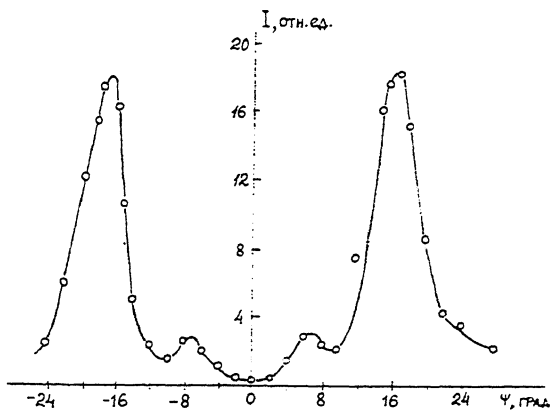


Рис. 2. Зависимость амплитуды выходного сигнала от угла ψ наклона ячейки ($h = 60$ мкм). Частота изменений разности давлений $f = 0.2$ Гц.

ник (5) (фотодиод). Сигнал с фотодиода регистрировался самописцем.

Ячейка представляла собой две стеклянные пластины, с заключенным между ними гомеотропно ориентированным слоем жидкого кристалла (ЖК-654), толщина которого h задавалась калиброванными прокладками. Ячейка загерметизирована по периметру, за исключением входного и выходного отверстий для подачи разности давлений.

Изменяющаяся по гармоническому закону (3) разность давлений, подаваемая на ячейку, приводит к течению жидкого кристалла, соответствующему изменению его оптических характеристик и появлению переменной составляющей электрического сигнала с фотодиода.

В ходе эксперимента исследовалась зависимость отклика ячейки от угла ψ между волновым вектором и нормалью к плоскости ячейки.

На рис. 2 показаны изменения амплитуды выходного сигнала при вариации угла ψ . Как видно из рисунка, при значениях угла $\psi = \pm 17^\circ$ наблюдается резкое возрастание чувствительности ячейки к воздействию разности давления. При углах $\psi = \pm 7^\circ$ также имеют место максимумы чувствительности, однако их величина существенно меньше. Отметим, что в электрическом поле данный эффект сохраняется.

Таким образом, изменяя угол ψ , можно в широких пределах управлять чувствительностью жидкокристаллической ячейки. При этом использование дополнительно стабилизирующего (для НЖК с $\Delta \xi > 0$) электрического поля позволяет существенно изменять амплитуду выходного сигнала при углах, соответствующих максимальной чувствительности ячейки, как это видно из данных таблицы.

Т а б л и ц а

Зависимость максимальной амплитуды I_{max} , мВ выходного сигнала от напряжения на ячейке

$U, В$	3	6	9	12	15	18	21	24
$I_{max}, мВ$	14.2	12.8	7.6	4.2	2.6	1.6	0.5	0.3

Полученные экспериментальные данные находятся в качественном согласии с предсказаниями теории [3].

Таким образом, исследованный эффект позволяет получить высокочувствительную управляемую жидкокристаллическую ячейку для использования в качестве чувствительного элемента датчиков механических колебаний, расходомеров, дифференциальных манометров, и других.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Орлов В.А., Баландин В.А., Пасечник С.В., Зоткин С.П. Строительство и архитектура. Экспресс-информация. Сер. Инженерное обеспечение объектов строительства. ВНИИТПИ Госстроя СССР. Вып. 5. 1991. С. 12
- [2] Езов С.Г., Пасечник С.В., Баландин В.А. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 8. С. 479.
- [3] Геворкян Э.В. // Акустический журнал. 1982. Т. 28. В. 3. С. 336.

Московский институт
приборостроения

Поступило в Редакцию
23 февраля 1993 г.