

Способный ход дисперсии в ионообменных стеклах подтверждает гипотезу низкотемпературного ($T < T_g$) ионообменного синтеза стекла нового состава в приповерхностном слое [9].

Сочетание же в пределах одного слоя, сформированного в монолитной подложке, областей с повышенной и пониженной относительной дисперсией может представить интерес с точки зрения возможностей создания апохроматов для планарной (интегральной) оптики.

Л и т е р а т у р а

- [1] Аникин В.И., Летов Д.А. - Оптика и спектроскопия, 1978, т. 44, в. 1, с. 184-188.
- [2] Золотов Е.М., Прохоров А.М., Черных В.А. - Квантовая электроника, 1980, т. 7, № 4, с. 843-848.
- [3] Ланда К.А., Петровский Г.Т. Аморфные планарные волноводы. Красноярск: Красноярск. ун-т, 1987. 196 с.
- [4] Tien P.K., Ulrich R., Martin R.J. - Appl. Phys. Lett., 1969, v. 14, N 9, p. 291-294.
- [5] White J.M., Heidrich P.F. - Appl. Opt., 1976, v. 15, N 1, p. 151-156.
- [6] Справочник технолога-оптика: Справочник / И.Я. Бубас, В.А. Вейденбах, И.И. Духопел и др., под общей ред. С.М. Кузнецова и М.А. Окатова. - Л.: Машиностроение, 1983. 414 с.
- [7] Полухин В.А. - ОМП, 1961, № 3, с. 14-17.
- [8] Физико-химические основы производства оптического стекла. Под ред. Л.И. Демкиной. - Л.: Химия, 1976. 456 с.
- [9] Ланда К.А., Ланда Л.М., Мишин А.В., Петровский Г.Т. - ДАН СССР, 1983, т. 269, № 6, с. 1355-1357.

Кузбасский политехнический институт, Кемерово

Поступило в Редакцию
1 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 13

12 июля 1988 г.

ИЗМЕРЕНИЕ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ В ГОМЕОПЛАНАРНЫХ ОБРАЗЦАХ НЕМАТИКОВ КАК МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ СЦЕПЛЕНИЯ

Л.М. Блинов, А.А. Сонин

Как известно, под энергией сцепления нематического жидкого кристалла (НЖК) с твердой поверхностью понимается изменение свободной поверхностной энергии НЖК, возникающее при полной

переориентации директора вблизи подложки. Существуют две энергии сцепления: энергия, характеризующая отклонение директора от нормали к подложке - W_θ , и энергия, характеризующая отклонение директора от направления исходной ориентации в плоскости подложки - W_φ . В настоящей работе мы будем определять W_θ , пользуясь простейшей аппроксимацией поверхностной свободной энергии, предложенной Рапини [1]:

$$F_s = \frac{W}{2} \sin^2 \theta_s. \quad (1)$$

Здесь под W понимается W_θ , θ_s - поверхностный угол между нормалью к подложке и директором НЖК.

В работе [2] предложен простой метод определения энергии сцепления НЖК, основанный на измерении двулучепреломления в гомеопланарных образцах нематиков. Схематическое распределение директора при такой ориентации НЖК изображено на вставке к рисунку. Пусть на одной из подложек задана планарная ориентация (жесткое сцепление), а на другой - гомеотропная (конечное W_r). При этом величина среднего по толщине двулучепреломления $\Delta \bar{n}$ будет возрастать с уменьшением толщины ячейки d от значения $\Delta \bar{n}_\infty$, характерного для гомеопланарной ориентации при $d \rightarrow \infty$, до значения $\Delta \bar{n}_n = n_e - n_o$ (n_o и n_e - показатели преломления НЖК соответственно для обыкновенного и необыкновенного лучей) для планарной ориентации [2]:

$$\Delta \bar{n} = \Delta \bar{n}_\infty \left(1 + \frac{K_{33}}{W_r d} \right), \quad (2)$$

где K_{33} - константа упругости продольного изгиба НЖК. Формула (2) справедлива для толщин слоя нематика $d \gg K_{33}/W_r$. При $d < d_c$ НЖК будет полностью планарно ориентированным, причем d_c определяется следующим образом [2]:

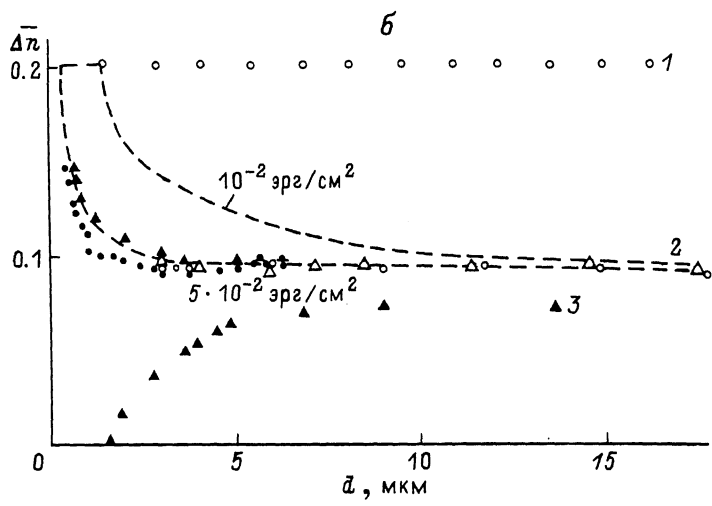
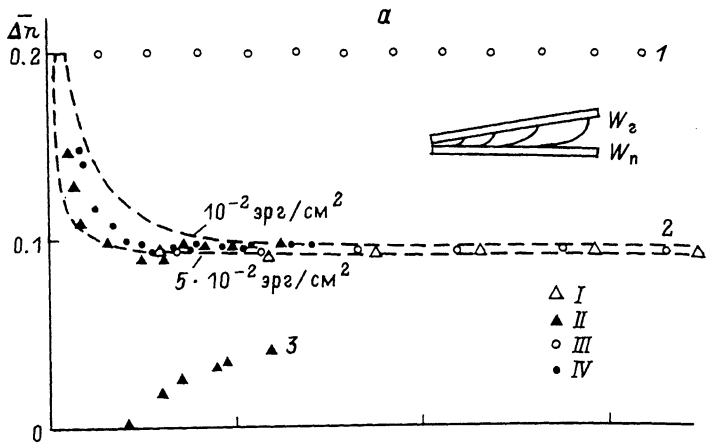
$$d_c = K_{11}/W_r, \quad (3)$$

где K_{11} - константа упругости поперечного изгиба НЖК. Итак, возможно определение W двумя путями: по зависимости $\Delta \bar{n}(d)$ и из прямого измерения критической толщины d_c .

Ситуация существенно усложняется, когда энергии сцепления для планарной и гомеотропной ориентаций одного порядка [3-5], однако этот случай в данной работе не рассматривается.

Преимуществом описанной методики определения W по сравнению с ее измерениями из перехода Фредерикса и флексоэлектрического эффекта (см., например, [6]), является отсутствие внешнего поля, что упрощает эксперимент.

Впервые попытка экспериментального определения W , по измерению критической толщины d_c предпринята в [7], где была опре-



Толщинные зависимости среднего двулучепреломления $\Delta \bar{n}$ для МББА (а) и 5СБ (б): 1 - планарная ориентация, 2 - гомеопланарная ($W_n \gg W_r$), 3 - гомеопланарная ($W_r \gg W_n$). Для слабой связи: чистое стекло (I, II), стекло, покрытое SnO_2 (III, IV); II, IV - измерения поляризационно-оптическим методом; I, III - поляризационный микроскоп. Теоретические кривые показаны пунктиром. На вставке: геометрия распределения директора при гомеопланарной ориентации.

делена энергия сцепления МББА для „слабой“ планарной ориентации, полученной легким натиранием стеклянных подложек пальцем ($W_n \sim 10^{-3}$ эрг/см²). Попытка воспроизвести результаты [7] оказалась неудачной, и нам представилось важным расширить круг исследуемых объектов.

Мы попытались оценить энергию сцепления гомеотропных слоев нематиков МББА и 5ЦБ с помощью методики гомеопланарной ориентации. Для этого одно из опорных стекол клиновидной ячейки (покрытое слоем SnO_2) готовилось под "сильную" планарную ориентацию с помощью обработки 1% раствором поливинилового спирта в изопропанолe и последующего натирания стекла ватой ($W_n \sim \sim 1$ эрг/см² [8]). Второе стекло обрабатывалось 0.04% раствором ди-стеарилхлорида хрома (хромолана) в изопропанолe под гомеотропную ориентацию. Нами также приготавливались клиновидные ячейки для чисто планарной ориентации директора для определения $\Delta \bar{n}_n = n_e - n_o$.

Измерение среднего двулучепреломления нематиков в зависимости от толщины ячейки велось поляризационно-оптическим методом двумя способами: в поляризационный микроскоп по расстоянию между полосами, соответствующими максимумам и минимумам пропускания (в зеленом свете, $\lambda = 0.528$ мкм), и с помощью подвижки образца с шагом около 200 мкм в поле луча He-Ne лазера ($\lambda = 0.633$ мкм) поляризационно-оптической установки.

Толщина слоя жидкого кристалла определялась по углу клина, который измерялся интерференционным методом в ячейке, заполненной воздухом [9], а величина Δn рассчитывалась по формуле [10]:

$$\Delta \bar{n} = \frac{\lambda}{\pi d} \arcsin \sqrt{J_{отн.}}, \quad (4)$$

где $J_{отн.}$ - относительная интенсивность (по отношению к максимуму пропускания) прошедшего света.

На рисунке изображены толщинные зависимости величины $\Delta \bar{n}$ для планарных [1] и гомеопланарных [2] образцов МББА (а) и 5ЦБ (б). Как видно из рисунка, величина $\Delta \bar{n}$ выходит для гомеопланарных образцов МББА и 5ЦБ на насыщение $\Delta \bar{n}_n = 0.20$ для $d < d_c \approx 0.5$ мкм, т.е. образуется планарная ориентация. Сравнение экспериментальных результатов с теоретическими кривыми $\Delta \bar{n}(d)$, рассчитанными по формуле (2), дает для энергии сцепления с простыми и металлизированными стеклами, обработанными хромоланом, для МББА $W_r = 3 \pm 1 \cdot 10^{-2}$ эрг/см² и для 5ЦБ $W_r = 5 \pm 1 \cdot 10^{-2}$ эрг/см², что хорошо согласуется с независимыми измерениями W_r из порога и поля насыщения Фредерикса [11]. При расчете зависимостей $\Delta \bar{n}(d)$ использовались значения констант упругости МББА и 5ЦБ, взятые из [10, 12, 13].

Нам удалось получить относительно слабую планарную ориентацию директора НЖК с помощью натирания чистой стеклянной подложки ватой в одном направлении. Для измерения энергии сцепления W_n этой ориентации вторая (металлизированная) подложка обрабатывалась раствором хромолана ($W_r \sim 10^{-2}$ эрг/см²). В результате наблюдались переходы из гомеопланарной ориентации в гомеотропную при $d < d_c$ (см. рисунок, кривые 3). Для МББА $d_c \approx 2.2$ мкм, а для 5ЦБ $d_c \approx 1.3$ мкм. Обработка эксперимен-

тальных данных с помощью формулы (3) (в случае $K_{33} > K_{11}$ формула (3) справедлива и для перехода из гомеопланарной ориентации в гомеотропную [3]) дает для МББА $W/\eta = 3 \pm 1 \cdot 10^{-3}$ эрг/см² а для 5ЦБ $W = 6 \pm 1 \cdot 10^{-3}$ эрг/см². Необходимо отметить, что для МББА не получалось однородной ориентации на площади, большей 1 см², поэтому точки $\bar{\Delta}n(d)$ удалось снять лишь в области малых толщин (до 7 мкм).

Таким образом, с помощью измерения толщинных зависимостей среднего двулучепреломления в гомеопланарных слоях НЖК (сильная планарная связь) оценена энергия сцепления для гомеотропной ориентации МББА и 5ЦБ ($W_f \sim 10^{-2} - 10^{-1}$ эрг/см²). Этим же способом (по измерению критических толщин) оценена энергия сцепления для "слабой" планарной ориентации указанных нематиков ($W_f \sim 10^{-3} - 10^{-2}$ эрг/см²).

Л и т е р а т у р а

- [1] R a p i n i A., P a r o u l a r M.J. - J. Phys. (France) Colloq., 1969, t. 30, p. C4-54.
- [2] Ч и г р и н о в В.Г. - Кристаллография, 1982, т. 27, в. 6, с. 1148-1151.
- [3] B a r b e r o G., B a r t o l i n o R. - Mol. Cryst. Liquid Cryst., 1983, v. 99, p. 89-97.
- [4] B a r b e r o G., B a r b e r i R. - J. Phys. (France), 1983, t. 44, p. 609-616.
- [5] B a r b e r o G., S t r i g a z z i A. - J. Phys. (France) Lett., 1984, t. 45, p. L-857-L-862.
- [6] Барник М.И., Блинов Л.М., Коркишко Т.В., Уманский Б.А., Чигринов В.Г. - ЖЭТФ, 1983, т. 85, в. 1 (7), с. 176-185.
- [7] B a r b e r o G., M a d h u s u d a n a N.V., P a l i e r n e J.F., D u r a n d G. - Phys. Lett., 1984, v. 103A, N 8, p. 385-388.
- [8] Блинов Л.М., Кабаенков А.Ю. - ЖЭТФ, 1987, т. 93, в. 5 (11), с. 1757-1764.
- [9] Шубников А.В. Основы оптической кристаллографии, М.: АН СССР, 1958. 206 с.
- [10] Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978. 384 с.
- [11] Блинов Л.М., Кац Е.И., Сонин А.А. - УФН, 1987, т. 152, в. 3, с. 449-477.
- [12] K a r a t P.P., M a d h u s u d a n a N.V. - Mol. Cryst. Liquid Cryst., 1976, v. 36, p. 51-64.
- [13] H a r a M., H i r a k a t a J.-I., T o - y o o k a T., T a k e z o e H., F u k u -

Институт кристаллографии
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
26 января 1988 г.

В окончательной редакции
22 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 13

12 июля 1988 г.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПОЛЯРИТОНЫ В УСЛОВИЯХ НАСЫЩЕНИЯ

В.Г. Б о р д о

В последнее время все большее внимание привлекают экспериментальные исследования процессов, происходящих при распространении поверхностной электромагнитной волны (поверхностных поляритонов) вдоль границы раздела твердого тела с резонансным газом [1-3]. Интенсивность волны может достигать довольно большой величины, что позволяет наблюдать нелинейный эффект насыщения [3]. В то же время теоретические исследования нелинейных поверхностных поляритонов (НПП) обычно проводятся в приближении относительно слабого поля, в котором компоненты тензора диэлектрической проницаемости нелинейной среды пропорциональны $|\vec{\mathcal{E}}|^2$ [4, 5]. В работе [6] сделана попытка выйти за рамки этого приближения и учесть эффекты, связанные с насыщением двухуровневых систем, моделирующих нелинейную среду. Эту задачу удалось решить точно для оптически одноосной нелинейной среды с компонентой ϵ_{zz} тензора диэлектрической проницаемости, не зависящей от поля поверхностной волны. В настоящем сообщении определяется закон дисперсии НПП в условиях насыщения в практически важном случае изотропной нелинейной среды. Относительно среды предполагается, что ее плотность мала (критерий малости см. ниже).

Пусть НПП распространяется вдоль границы раздела между двумя средами, одна из которых (среда 1) изотропна и линейна, имеет комплексную диэлектрическую проницаемость $\epsilon_1(\omega) = \epsilon'_1(\omega) + i\epsilon''_1(\omega)$ и занимает полупространство $z < 0$, другая (среда 2) изотропна, имеет комплексную диэлектрическую проницаемость $\epsilon_2(\omega) = \epsilon'_2(\omega) + i\epsilon''_2(\omega)$ и занимает полупространство $z > 0$. Предполагая следующую зависимость ϵ_2 от поля волны $\vec{\mathcal{E}}$:

$$\epsilon_2(\omega) = 1 + 4\pi N \frac{\chi(\omega)}{1 + g(|\vec{\mathcal{E}}|^2)},$$

где N - концентрация частиц в среде 2, $\chi(\omega) = \chi'(\omega) + i\chi''(\omega)$, $N\chi(\omega)$ - линейная восприимчивость среды 2, $g(|\vec{\mathcal{E}}|^2) \equiv |\vec{\mathcal{E}}|^2/\mathcal{E}_S^2$, \mathcal{E}_S - поле насыщения, найдем решение уравнений Максвелла, отвечающее поверхностной Н - волне. Положим для определенности, что