

УДК 621.372.826

ИЗМЕРЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ СВОБОДНОГО СЛОЯ НЕМАТИКА МББА С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕХОДА ФРЕДЕРИКСА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

С. Р. НЕРСИСЯН, В. О. ОГАНЕСЯН, В. Б. ПАХАЛОВ

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 30 января 1984 г.)

Экспериментально измерена анизотропия поверхностного натяжения нематика МББА при контакте его поверхности с воздухом. Она оказалась равной $|\sigma_a| = (2,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$ эрг/см². Исследована надпороговая структура распределения директора при статическом переходе Фредерикса в свободном слое.

1. Введение

Ориентация директора нематического жидкого кристалла (НЖК) достигается соответствующей обработкой поверхностей подложек ячейки. Свободная поверхность НЖК, т. е. поверхность, соприкасающаяся, например, с воздухом, также может оказать ориентирующее действие на директор. Это действие характеризуется зависящей от ориентации частью поверхностной свободной энергии [1, 2]

$$\Lambda \text{ (эрг/см}^2\text{)} = \frac{1}{2} \sigma_a (\mathbf{p} \cdot \mathbf{e}_z)^2, \quad (1)$$

где σ_a — анизотропия поверхностного натяжения НЖК, \mathbf{e}_z — единичный вектор нормали к свободной поверхности, \mathbf{p} — директор.

В работе [2] показана возможность измерения величины σ_a с помощью самофокусировки света в ячейке НЖК с одной свободной поверхностью, обусловленной ориентационным механизмом. В работе [3] значение σ_a определялось исследованием светоиндуцированного перехода Фредерикса (СПФ) в слое НЖК с двумя свободными поверхностями. В настоящей работе величина σ_a определяется на основе исследования перехода Фредерикса (ПФ) в статическом магнитном поле в тонких слоях НЖК со свободными поверхностями. Такой способ измерения σ_a имеет определенные преимущества: отсутствие влияния тепловых эффектов, исключение локальности переориентации директора и др.

2. Теория

Для нематика МББА $\sigma_a < 0$ (см. [1]), т. е. поверхности стремятся ориентировать директор гомеотропно. Однако хорошую однородную ориентацию можно получить лишь в относительно тонких слоях НЖК [4].

(для нематика МББА $L \lesssim 70$ мкм). Пусть на такой слой НЖК, заполняющий пространство $0 \leq z \leq L$ (рис. 1), перпендикулярно директору \mathbf{n} действует статическое магнитное поле \mathbf{H} . При превышении напряженности поля \mathbf{H} некоторого порогового значения $H_{кр}$ происходит ПФ, теория ко-

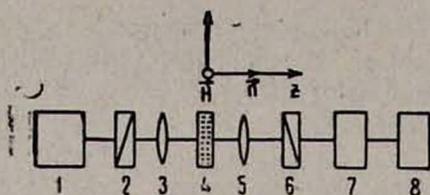


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: 1 — He-Ne-лазер ЛГ-75, 2 — поляризатор, 3 — линза ($f = 1,5$ см), 4 — ячейка с НЖК МББА, 5 — линза ($f = 11$ см), 6 — анализатор, 7 — ФЭУ, 8 — самописец.

торого для слоя с жесткой ориентацией директора на поверхностях подложек дана в работах [5, 6].

В рассматриваемом нами случае уравнения для угла поворота директора θ имеют вид

$$(K_1 \sin^2 \theta + K_3 \cos^2 \theta) \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} - (K_3 - K_1) \sin \theta \cos \theta \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^2 + \chi_a H^2 \sin \theta \cos \theta = \eta \frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad (2a)$$

$$\left[K_3 \frac{d\theta}{dz} + |\sigma_a| \theta \right]_{z=L} = 0, \quad (2б)$$

$$\left[-K_3 \frac{d\theta}{dz} + |\sigma_a| \theta \right]_{z=0} = 0, \quad (2в)$$

где K_1, K_3 — константы Франка, χ_a — диамагнитная анизотропия, η (пуаз) — константа релаксации.

Выделив в θ зависящую от времени часть, $\theta(z, t) = \theta(z) \exp(\Gamma t)$, запишем решение линеаризованного уравнения (2a) в виде

$$\theta(z) = c_1 \sin \kappa z + c_2 \cos \kappa z, \quad (3)$$

где c_1, c_2 — константы,

$$\kappa^2 = \frac{1}{K_3} (\chi_a H^2 - \eta \Gamma). \quad (4)$$

Возмущения директора экспоненциально нарастают во времени, если $\Gamma > 0$. Из (4) следует, что это имеет место при условии

$$H_{кр}^2 = \frac{K_3 \kappa^2}{\chi_a}. \quad (5)$$

Величины c_1, c_2 и κ^2 определяются подстановкой (3) в (2б) и (2в) с учетом условия существования нетривиального решения для θ . Имеем

$$\operatorname{tg} \kappa L = 2\xi \frac{\kappa L}{(\kappa L)^2 - \xi^2}, \quad (6)$$

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{\kappa L}{\xi}, \quad \xi = L \frac{|\sigma_a|}{K_3}.$$

Если ограничиться членами порядка θ и θ^3 , что справедливо вблизи порога ПФ, поиск решения (2а) в виде (3) приводит к следующим выражениям для c_1 в двух важных предельных случаях:

$$c_1^2 = \frac{2}{1 - \frac{K_3 - K_1}{K_3}} \frac{H^2 - H_{кр}^2}{H_{кр}^2}, \quad \xi \rightarrow \infty, \quad (7a)$$

$$c_1^2 = \frac{\xi}{2} \frac{3/2}{1 - \frac{K_3 - K_1}{K_3}} \frac{H^2 - H_{кр}^2}{H_{кр}^2}, \quad \xi \rightarrow 0. \quad (7b)$$

Выражение (7а) является хорошо известным результатом для ПФ в ячейке НЖК с жесткими граничными условиями для директора \mathbf{p} [6]. Выражение (7б) представляет собой надпороговую стационарную структуру поля директора при ПФ в ячейке НЖК с двумя истинно свободными поверхностями.

3. Результаты эксперимента

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Излучение *He-Ne*-лазера ЛГ-75 ($\lambda = 0,63$ мкм), генерирующего в низшей поперечной моде, проходя через поляризатор, линзу с фокусным расстоянием 1,5 см, падало расходящимся пучком на слой НЖК МББА, который находился в магнитном поле \mathbf{H} . Выходящее излучение после прохождения через линзу ($f = 11$ см) и анализатор регистрировалось с помощью ФЭУ и самописца. Максимальная величина магнитного поля \mathbf{H} , приложенного к образцу, составляла 6 кГс. Образец НЖК был изготовлен по методу, описанному в работе [4]. Изменяя толщину слоя НЖК, можно было получать достаточно однородную (гомеотропную) ориентацию. При $H > H_{кр}$ происходила переориентация директора НЖК, которая сопровождалась появлением в коноскопической картине осцилляционных максимумов и минимумов.

Для разности фаз обыкновенной и необыкновенной волн в коноскопической картине можно записать следующее выражение [7]

$$\psi(z) = \frac{\omega}{c} \int_0^L [n_e(z) - n_o] dz, \quad (8)$$

где $n_e = \sqrt{\epsilon_{\parallel}}$ и $n_o = \sqrt{\epsilon_{\perp}}$ — показатели преломления соответственно для необыкновенной и обыкновенной волн, ω — световая частота, c — скорость света в вакууме.

Учитывая, что число осцилляций $N = \psi/2\pi$, можно получить окончательную формулу

$$N = \frac{3}{4} \frac{\sqrt{\epsilon_{\perp}} \epsilon_a L}{\lambda \epsilon_{\parallel}} \frac{3}{1 - \frac{3}{2} \left(\frac{K_3 - K_1}{K_3} \right)} \frac{H^2 - H_{кр}^2}{H_{кр}^2}, \quad (9)$$

где $\epsilon_a = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$.

На рис. 2 приведена зависимость числа осцилляций (фазовой задержки) от квадрата напряженности магнитного поля. Критическое значение напряженности магнитного поля, при котором происходит ПФ, составляло

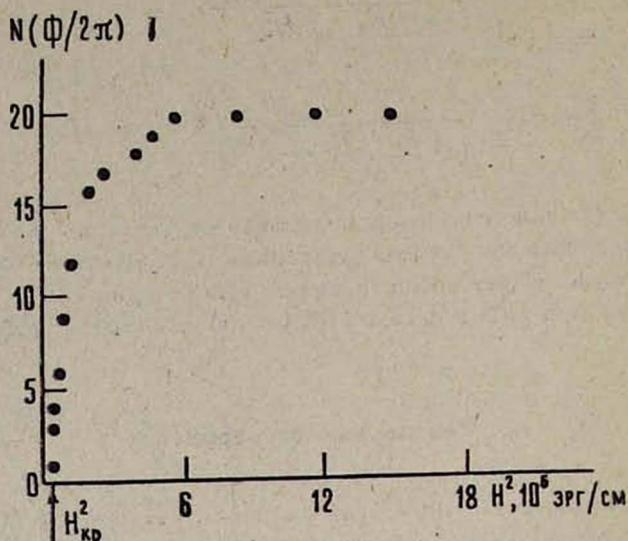


Рис. 2. Зависимость фазовой задержки (числа осцилляционных максимумов) от квадрата напряженности магнитного поля ($H_{кр} = 270$ Гс).

$H_{кр} = 270$ Гс. При значениях констант для НЖК МББА [7] $K_3 = 7,5 \times 10^{-7}$ дин и $\chi_a = 10^{-7}$ СГС из (5) и (6) получаем значение

$$|c_a| = (2,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-5} \text{ эрг/см}^2,$$

что достаточно хорошо согласуется с результатом работы [3]. Толщина образца $L = 60$ мкм была определена по максимальному числу осцилляций (рис. 2). Для параметров МББА $\epsilon_a = 0,7$, $\epsilon_1 = 3,06$, $\epsilon_{\perp} = 2,37$ и $K_1 = 6 \cdot 10^{-7}$ дин формула (9) хорошо описывает область графика на рис. 2, соответствующую малым превышениям H над порогом $H_{кр}$.

Авторы выражают благодарность Ю. С. Чилингаряну и Н. В. Таби-ряну за обсуждение результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mada H. Mol. Cryst., Liquid Cryst., 53, 127 (1979).
2. Зельдович Б. Я., Табириян Н. В. ЖЭТФ, 79, 2388 (1980).
3. Нерсисян С. Р. и др. Письма в ЖЭТФ, 36, 292 (1982).
4. Faetti S., Fronzoni L. Solid State Commun., 25, 1087 (1978).
5. Brochard F., Pieranski P., Guyon E. Phys. Rev. Lett., 28, 1681 (1972).
6. Brochard F., Pieranski P., Guyon E. Journ. Phys. (Fr.), 34, 35 (1973).
7. Блинов Л. М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов, Изд. Наука, М., 1978.

ՄԱՐԱԼ ԵՆՄԱՏԻԿԻ ԱԶԱՏ ՇԵՐՏԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅՑՔԱՅԻՆ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅԱՆ
ԱՆԻՋՈՏՏՐՈՊԻԱՅԻ ԶԱՓՈՒՄԸ ՄԱԳՆԵՒՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏՈՒՄ
ՅՐԵԴԵՐԻԿՍԻ ԱՆՑՄԱՆ ՕԳԵՆՈՒԹՅԱՄԲ

Ա. Ռ. ՆԵՐՍԻՍՅԱՆ, Վ. Հ. ՀՈՎՀԱՆԵՒՍՅԱՆ, Վ. Բ. ՊԱԽԱԼՈՎ

Փորձնականորեն շարված է ՄԱՐԱԼ նեմատիկ մակերևութային լարվածության σ_a անիզոտրոպիան նրա մակերևութի՝ օդի հետ շփման դեպքում, որի արժեքն է $|\sigma_a| = (2,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$ էրգ/սմ²։ Ուսումնասիրված է ազատ մակերևութում Ֆրեդերիքսի անցման դեպքում դիրեկտորի բաշխման վերլուծությունը։

MEASUREMENT OF SURFACE-TENSION ANISOTROPY OF A FREE LAYER OF NEMATIC MBBA BY FREDERICKSZ TRANSITION IN A MAGNETIC FIELD

S. R. NERSISYAN, V. O. OGANESYAN, V. B. PAKHALOV

The surface-tension anisotropy of a nematic MBBA was investigated when the surface was in contact with the air. The anisotropy index turned out to be equal to $(2.5 \pm 0.5) \cdot 10^{-5}$ erg/cm². The above-threshold structure of the director distribution was investigated at a static field Fredericksz transition in a free layer.