

05;11;12

Поверхностный динамический эффект Фредерикса

© А.В. Ковальчук

Институт физики НАН Украины, Киев

E-mail: akoval@iop.kiev.ua

Поступило в Редакцию 25 февраля 2000 г.

Впервые показано, что в результате распределения напряженности электрического поля между объемом и двойными электрическими слоями, а также в самом двойном слое при напряжениях ниже порогового значения возникает локальное изменение ориентации молекул в планарно ориентированном жидком кристалле. В результате длительной экспозиции образцов в постоянном электрическом поле созданы модуляторы света на основе данного эффекта.

В работе [1] было впервые показано, что начало низкочастотной дисперсии ϵ' и ϵ'' может аппроксимироваться уравнением Дебая. Наши дальнейшие исследования показали, что дисперсия такого типа наблюдается только в планарно ориентированных нематических жидких кристаллах (ЖК) и немато-холестерических смесях. Это давало все основания предположить, что низкочастотная дисперсия может быть обусловлена изменением ориентации молекул под действием внешнего электрического поля. Для доказательства этого предположения необходимо было для одного и того же вещества показать, что при гомеотропной ориентации ЖК дисперсия Дебая не наблюдается, и создать такие условия, при которых изменение ориентации молекул в приповерхностной области можно было наблюдать в электрооптическом отклике.

Для исследований использовали жидкие кристаллы 5ЦБ. Конструкция ячейки, метод создания планарной ориентации и измерения ϵ' и ϵ'' были такими, как у [1]. Гомеотропная ориентация молекул 5ЦБ создавалась за счет специальной предварительной обработки поверхности электродов. Для исследования электрооптических свойств образцы освещались He-Ne лазером. Пучок света падал по нормали к поверхности образца. Кинетика пропускания света фиксировалась на экране осциллографа С1-83. Электрооптика исследуемых образцов

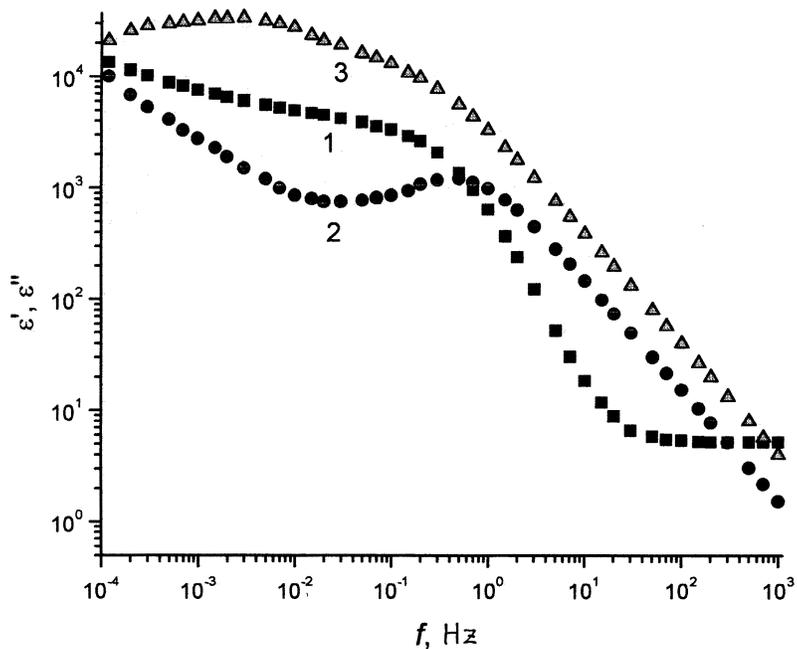


Рис. 1. Частотные зависимости ε' (1) и ε'' (2, 3) для планарно (1, 2) и гомеотропно (3) ориентированного 5ЦБ. Толщина образцов $40 \mu\text{m}$. Амплитудное значение напряжения измерительного сигнала 0.25 V . Температура 295 K .

основана на изменении рассеивания света. Поэтому, как и в случае ЖК, диспергированных в полимерной матрице [2,3], применялся фотоприемник с небольшой входной апертурой.

На рис. 1 показаны частотные зависимости ε' (1) и ε'' (2, 3) планарно (1, 2) и гомеотропно (3) ориентированного 5ЦБ. Анализ диаграммы Коул–Коула начального участка низкочастотной дисперсии гомеотропно ориентированного 5ЦБ показывает, что она описывается соотношением

$$\varepsilon^* = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}}, \quad (1)$$

где ε^* — комплексная диэлектрическая проницаемость, $\omega = 2\pi f$ — круговая частота, ε_∞ и ε_s — соответственно диэлектрические прони-

цаемости при $f = \infty$ и $f = 0$, τ — время диэлектрической релаксации, α -параметр, характеризующий спектр времен релаксации. Для данной ориентации молекул $\tau = 3.45$ s, $\alpha = 0.18$.

Для планарно ориентированного 5ЦБ начальный участок низкочастотной дисперсии ε' и ε'' описывается уравнением Дебая (в выражении (1) $\alpha = 0$). В этом случае $\tau = 0.26$ s. Важно при этом отметить, что, как и для планарно ориентированной смеси ЖК1282 [4], следующий (в сторону уменьшения частот) участок дисперсии также описывается соотношением (1) с параметрами, близкими к параметрам, полученным для гомеотропно ориентированного 5ЦБ, т. е. можно считать, что низкочастотная дисперсия Дебая типична только для планарной ориентации молекул и, вероятнее всего, обусловлена изменением ориентации молекул под действием электрического поля.

Однозначное доказательство этого предположения удалось получить при исследовании электрооптических свойств планарно ориентированного 5ЦБ, к которому довольно длительное время (более 4 h) было приложено постоянное напряжение. Оказалось, что в результате такого воздействия первоначально прозрачный образец начинает рассеивать свет. Причиной возникновения рассеивающей свет структуры может быть неоднородная по поверхности электродов адсорбция ионов. Первоначально такая неоднородность может быть задана "шероховатостью" поверхности электрода. Ясно, что ионы будут адсорбироваться преимущественно на "холмах" электрода. Это приведет к тому, что с увеличением времени экспозиции образца в постоянном электрическом поле неоднородность поверхности электрода будет увеличиваться. Неоднородность поверхности электрода будет приводить к неоднородности ориентации молекул. Когда области с различной ориентацией молекул станут сравнимыми с длиной волны света, образец будет рассеивать свет.

На рис. 2 приведены частотные зависимости глубины модуляции света M (1) и ε'' (2) рассеивающего свет первоначально планарно ориентированного 5ЦБ. Значение M определялось из соотношения

$$M = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\min}}, \quad (2)$$

где T_{\max} и T_{\min} — соответственно максимальное и минимальное значения пропускания света при данной частоте внешнего электрического поля. Сравнение показывает, что наблюдается довольно четкая корреляция этих зависимостей, откуда можно сделать однозначный вывод, что

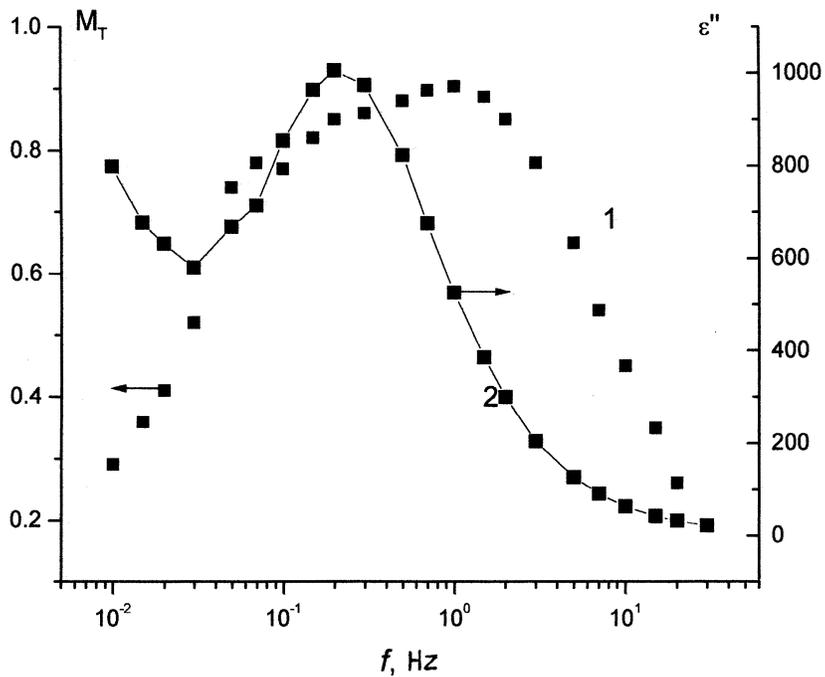


Рис. 2. Частотные зависимости глубины модуляции света M (1) и ϵ'' (2) для 5ЦБ толщиной $40 \mu\text{m}$. Амплитудное значение напряженности при измерении M 5 V. Амплитудное значение напряжения измерительного сигнала при определении ϵ'' 0.25 V. Температура 295 K.

начальный участок низкочастотной дисперсии ϵ' и ϵ'' , который описывается уравнением Дебая, обусловлен изменением ориентации молекул под действием внешнего электрического поля.

Как следует из проведенных расчетов, пороговое значение напряжения для перехода Фредерикса в 5ЦБ при однородной по толщине образца напряженности электрического поля равно 0.8 V. Это выше амплитудного значения напряжения измерительного сигнала (0.25 V), поэтому изменение ориентации молекул возможно только в локальной, приэлектродной, области образца.

При понижении частоты из-за влияния двойных электрических слоев внешнее электрическое поле начинает перераспределяться между объемом и приэлектродной областью. Это может создать все условия для изменения ориентации молекул в приэлектродной области. При дальнейшем понижении частоты внешнее электрическое поле начнет перераспределяться в самом двойном электрическом слое, что приведет к уменьшению напряженности поля в слое, где происходит переориентация молекул. Поэтому электрооптический эффект проявляется в узком частотном интервале. Данным интервалом можно управлять, изменяя значение ρ . Ввиду специфики своего проявления данный эффект можно назвать поверхностным динамическим эффектом Фредерикса.

Работа выполнена при поддержке гранта STCU № 637.

Список литературы

- [1] Ковальчук О.В. // УФЖ. 1996. Т. 41. № 10. С. 991–998.
- [2] Doane J.W., Vaz N.A., Wu B.-C., Zumer S. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48. N 4. P. 269–271.
- [3] Ковальчук А.В., Курик М.В., Лаврентович О.Д. // Зарубежная радиоэлектроника. 1989. № 6.
- [4] Ковальчук О.В. // УФЖ. 1996. Т. 41. № 11–12. С. 1093–1099.