

НАБЛЮДЕНИЕ ПРЯМОГО ФЛЕКСОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛАХ

С.В.Яблонский, Л.М.Блинов¹⁾, С.А.Пикин¹⁾

Обнаружено, что в пульсирующем потоке жидкого кристалла в нематической фазе генерируется электрический ток, связанный с флексоэлектрическими и электрокинетическими явлениями. Из флексоэлектрического вклада вычисляются флексомодуль и энергия связи жидкого кристалла с подложкой.

1. В 1969 г. Мейер предсказал существование флексоэлектрической поляризации в неоднородно деформированном слое жидкого кристалла (ЖК)¹. В отличие от пьезоэлектрического эффекта связанного с относительным смещением центров масс атомов или молекул в узлах кристаллической решетки, флексоэлектрический эффект зависит от изменения взаимной ориентации молекул (ЖК). Экспериментальному изучению флексоэлектрических явлений в нематических жидких кристаллах (НЖК) положила начало работа Шмидта, Шадта и Хельфриха в 1972 г.². Во всех последующих исследованиях, посвященных флексоэлектрическим явлениям, в том числе и в работе², изучалась деформация ЖК в электрическом поле, т.е. обратный флексоэлектрический эффект. Все попытки наблюдения прямого флексоэлектрического эффекта в НЖК закончились неудачей. Основные трудности изучения прямого флексоэлектрического эффекта заключаются в экранировке флексополяризации примесными зарядами и в синфазных электрокинетических явлениях на границе раздела электрод – ЖК, о чём подробнее будет сказано ниже.

2. Мы впервые экспериментально получили температурную зависимость индуцированной поляризации вызванной ориентационной деформацией НЖК.

В качестве объекта исследования была выбрана смесь двух азоксисоединений – смесь A³. В эксперименте неоднородная деформация директора НЖК возникала в процессе течения ЖК под действием пульсирующего потока воздуха. Этот момент являлся определяющим в схеме, реализации эксперимента, изображенной на рис. 1, б. При суммарном воздействии

¹⁾ Институт кристаллографии АН СССР.

переменного давления воздуха, и капиллярных сил гомеотропный слой НЖК пульсировал около некоторого положения равновесия. При этом на электродах индуцировался переменный электрический заряд, который поступал на зарядочувствительный усилитель ($R_{bx} = 1$ Гом), а затем на запоминающий осциллограф.

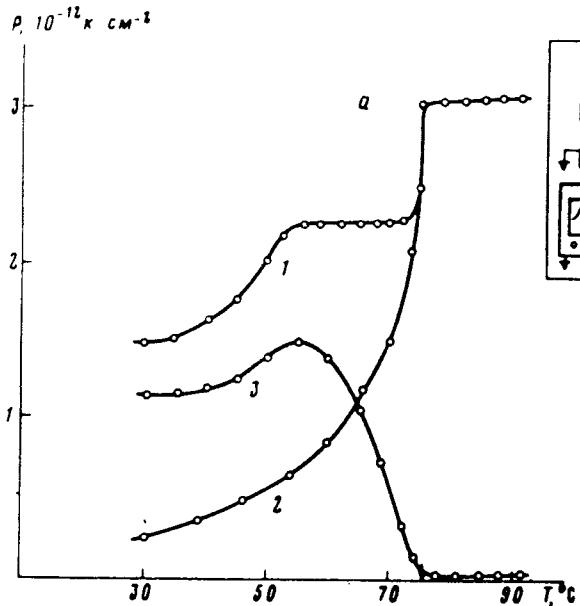


Рис. 1

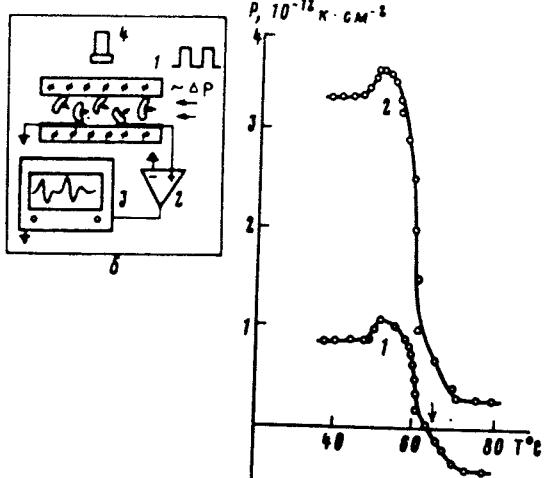


Рис. 3

Рис. 1. *а* – Гомеотропная ориентация смеси *A* (стрелкой показан фазовый переход нематическая – изотропная фаза) : 1 – экспериментальная кривая поверхности плотности заряда от температуры, 2 – электрохимическая поляризация от температуры, 3 – флексоэлектрическая поляризация от температуры; *б* – схема экспериментальной установки: 1 – жидкокристаллическая ячейка с планарными электродами, 2 – зарядочувствительный усилитель, 3 – осциллограф С8-1, 4 – поляризационный микроскоп "Полам"-311

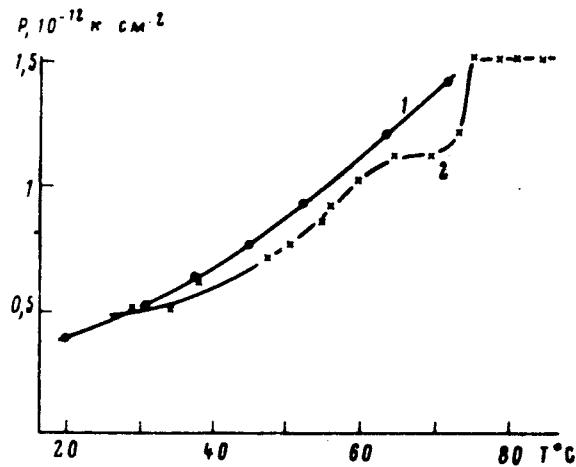


Рис. 2

Рис. 2. Планарная ориентация смеси *A* (директор ЖК перпендикулярен направлению смещения) : 1 – температурная зависимость электрохимической поляризации, 2 – экспериментальная кривая поверхности плотности заряда от температуры

Рис. 3. Экспериментальные температурные зависимости поверхности плотности заряда для смеси состава *A* и 8СВ: 1 – $d_1 = 60$ мкм, 2 – $d_2 = 110$ мкм (d_1 и d_2 – толщины слоев ЖК). Стрелкой обозначен фазовый переход нематическая – изотропная фаза

На рис. 1, *a* кривая 1 показана температурная зависимость поверхности плотности заряда генерируемой ЖК при амплитуде избыточного давления $P = 1,5$ Па. Время нарастания избыточного давления удовлетворяло неравенству $\tau < \tau_c$, где τ_c – время максвелловской релаксации (для образца, используемого в данном эксперименте $\tau_c = 0,1$ с).

3. В изотропной фазе в ЖК генерируется заряд, связанный с так называемым током течения⁴, который обычно возникает благодаря сносу потоком жидкости заряда диффузной

части двойного слоя, образуемого на поверхности раздела жидккая фаза – электрод. Величина электрохимической поляризации, в случае ламинарного потока жидкости (в нашем эксперименте число Рейнольдса $Re = 0,1$), связана с материальными параметрами среды, зависящими от температуры, следующим соотношением⁵:

$$P_{\text{э.к.}} = A \epsilon \zeta / \eta \quad (1)$$

A – константа, не зависящая от температуры, ζ – потенциал, ϵ – диэлектрическая проницаемость, η – вязкость жидкой фазы. Используя данные работы³ о температурных зависимостях ϵ и η для смеси A и тот факт, что ζ -потенциал слабо зависит от температуры⁶, (руководствуясь формулой (1)) можно аналитически продолжить изотропную ветвь электрохимического эффекта в температурную область нематической фазы. Результатом такой процедуры является кривая 2 рис. 1, *a*, изображающая температурную зависимость электрохимической поляризации. Температурная зависимость разности поляризаций регистрируемой на опыте и электрохимической поляризации есть искомая флексополяризация (кривая 3 рис. 1, *a*).

4. Для нахождения связи флексоэлектрического заряда с параметрами ЖК была решена задача движения гомеотропного слоя НЖК под действием постоянного перепада давления. В случае пузейлева профиля скоростей в ЖК для флексоэлектрического заряда получили следующее выражение:

$$Q_{\Phi\text{.э.}} = \frac{2 Er e_{33} l}{12 + 6 Wd / K_{33}}, \quad (2)$$

где Er – число Эриксена, e_{33} – флексомодуль, l – погонная длина мениска ЖК, d – толщина слоя, K_{33} – константа упругости, W – энергия связи ЖК с подложкой. Зная величину флексоэлектрического заряда для двух различных толщин ЖК, можно рассчитать значения флексомодуля $e_{33} = 10^{-5}$ дин^{1/2} и энергии связи ЖК с подложкой $W = 5 \cdot 10^{-5}$ дин/см. Эти значения по порядку величин находятся в хорошем согласии с данными, полученными из исследования обратного флексоэлектрического эффекта на родственных соединениях⁷.

5. На рис. 2 для планарного слоя смеси A в геометрии, когда директор перпендикулярен скорости ЖК экспериментальная кривая температурной зависимости поверхностной плотности заряда с хорошей точностью совпадает с кривой электрохимического эффекта. В такой геометрии флексополяризация отсутствует, поскольку в ЖК нет неоднородной деформации.

6. В изотропной фазе электрохимические отклики на ступеньку давления для смеси A и 8СВ (4-циано-4'-октилдифенил) имеют разную полярность, т.е. диффузные части двойных слоев в этих ЖК заряжены противоположными знаками. Смешивая эти кристаллы можно добиться изоэлектрического состояния, т.е. состояния нулевого заряда диффузной части двойного слоя и тем самым существенно уменьшить электрохимический эффект. На рис. экспериментальные кривые поверхностной плотности заряда от температуры для изоэлектрической смеси состава A и 8СВ повторяют температурный ход флексополяризации (кривая 3 рис. 1).

Литература

1. Meyer R.B. Phys. Rev. Lett., 1969, 22, 918.
2. Schmidt D., Schadt M., Helfrich W.Z. Naturforsch., 1972, A27, 277.
3. Барник М.И., Беляев С.В., Гребенкин М.Ф., Румянцев В.Г., Селиверстов В.А., Цветков В.А., Штыков Н.М. Кристаллография, 1978, 23, 805.
4. Левич В.Г. "Физико-химическая гидродинамика", М.: АН СССР, 1952, с. 337.
5. Klinkenberg A., Minne J. "Electrostatics in the Petroleum Industry". Amsterdam, Elsevier, 1958, p. 47.
6. Лин Гуан-чан, Фридриксберг Д.А. Вестник ленинградского университета, 1963, № 16, 88.
7. Уманский Б.А., Блинов Л.М., Барник М.И. Кристаллография, 1982, 27, 729.