

Effect of electric fields on the structure formation of liquid crystals Faizullina S.¹, Khakimzyanov D.² (Russian Federation)

Влияние электрических полей на структуру образования жидких кристаллов Файзуллина С. С.¹, Хакимзянов Д. М.² (Российская Федерация)

¹Файзуллина Сюзбель Сабирзяновна / Faizullina Sumbel – магистр,
кафедра технической химии и материаловедения, инженерный факультет,
Бакирский государственный университет;

²Хакимзянов Динар Мылтыкбаевич / Khakimzyanov Dinar – магистр,
кафедра нефтехимии и химической технологии, технологический факультет,
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Аннотация: в статье анализируется влияние внешних электрических полей на структуру образования жидких кристаллов. Это существенно искажает ориентацию директора и является причиной целого ряда новых эффектов, в частности флексоэлектричество.

Abstract: this article analyzes the influence of external electric fields on the structure of the formation of liquid crystals. This significantly distorts the orientation of the director and is responsible for a number of new effects, in particular flexoelectricity.

Ключевые слова: диэлектрическая анизотропия, пьезоэлектрический эффект, флексоэлектричество.
Keywords: dielectric anisotropy, the piezoelectric effect, flexoelectricity.

Действие электрических полей на структуру образования жидких кристаллов обусловлено энергетическими причинами.

Плотность свободной энергии, связанная с влиянием электрического поля на жидкие кристаллы, записывается следующим образом:

$$F_E = -\frac{1}{8\pi} \varepsilon_{\perp} E^2 - \frac{1}{8\pi} \Delta\varepsilon \quad (1),$$

где $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}$ - диэлектрическая анизотропия.

Рассматривая член, зависящий от взаимной ориентации директора и электрического поля, получим, что для жидких кристаллов с положительной диэлектрической анизотропией энергетически выгодной является такая ориентация, при которой директор направлен по полю. Для жидких кристаллов с отрицательной диэлектрической анизотропией выгодна ориентация, когда директор перпендикулярен направлению электрического поля. Ориентационное влияние электрического поля осложняется электропроводностью жидких кристаллов. Последняя также анизотропна и поэтому может вызвать движение вещества и перераспределение электрических полей. Всё это существенно искажает ориентацию директора и является причиной целого ряда новых эффектов [1, с. 405-408].

Взаимодействие внешнего электрического поля со средой жидких кристаллов включает два различных процесса. Один связан с анизотропией диэлектрической проницаемости: она приводит к изменению конформаций молекул ЖК, в частности к искажению. Второй эффект: в деформированных жидких кристаллах может проявиться и диэлектрическая поляризация.

Величина статистической диэлектрической проницаемости, измененной вдоль (ε_{\parallel}) или поперек (ε_{\perp}) оси жидкого кристалла, различны. Направление электрического поля \mathbf{E} , соотношение между электрической индукцией \mathbf{D} и полем имеет вид:

$$\mathbf{D} = \varepsilon_{\perp} \mathbf{E} + (\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp})(\mathbf{n} \cdot \mathbf{E})\mathbf{n} \quad (2).$$

$2\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}$ - диэлектрическая анизотропия, может быть положительной или отрицательной в зависимости от особенностей химической структуры молекул, составляющих жидкий кристалл:

1. Если каждая молекула обладает постоянным дипольным моментом, параллельным (или почти параллельным) ее продольной оси, электрическое поле \mathbf{E} может эффективно ориентировать диполь вдоль оси ЖК. Но полная \mathbf{E} перпендикулярно \mathbf{n} действует очень слабо. В этом случае $\varepsilon_{\parallel} > \varepsilon_{\perp}$.

2. Если имеется постоянный дипольный момент, который более или менее перпендикулярен длинной оси, то ситуация будет обратной и $\varepsilon_{\parallel} < \varepsilon_{\perp}$.

Диэлектрическая анизотропия дает возможность ориентировать жидкий кристалл электрическим полем.

В некоторых твердых телах напряжение вызывает поляризацию \mathbf{P} . Источником напряжения может служить внешнее давление. Следовательно, эффект называется пьезоэлектрическим. В жидких кристаллах поляризацию может создать продольный или поперечный изгиб (flexure), поэтому известно оно как «флексоэлектричество». Флексоэлектрический эффект в жидких кристаллах, как известно, возникает вследствие линейной связи ориентационной деформации директора \mathbf{n} и электрической

поляризации \mathbf{P} . В планарных слоях НЖК флексоэлектрическая неустойчивость проявляется как статическая пространственно-периодическая деформация поля директора \mathbf{n} , наблюдаемая в виде доменной структуры, так что доменные линии параллельны исходному направлению директора.

В холестерических ЖК и в закрученных НЖК также наблюдается флексоэлектрическая неустойчивость, которая обладает целым рядом особенностей по сравнению с планарными слоями, что связано с влиянием неоднородности распределения поля директора [2, с. 114].

Рассмотрим структурно-фазовые превращения в ЖК-ячейке. Порог образования U_c продольных доменов не зависит от полярности приложенного напряжения и толщины ЖК-ячейки и равен $U_c = 2,4V$, а период доменной структуры возрастает линейно с увеличением толщины ЖК-слоя $\lambda/d = 2,5 \pm 0,1$. Наблюдение за примесными частицами показало, что в пороге образования флексоэлектрической неустойчивости частицы остаются неподвижными, что указывает на стационарный характер деформации директора. С увеличением напряжения до $U \approx 2,74V$ примесные частицы начинают вращаться в направлении перпендикулярном оси продольных доменов. Это свидетельствует о возникновении гидродинамического потока внутри флексоэлектрических доменов.

Чтобы описать физический эффект, количественно, сконструируем наиболее общий вид поляризации \mathbf{P}_d , которая индуцируется небольшим искажением. Пусть, \mathbf{P}_d пропорционален пространственным производным первого порядка директора \mathbf{n} . Высшие производные будут меньше в соответствии с отношением a/l и пренебрежимо малы в континуальном пределе. Далее, \mathbf{P}_d должно быть четной функцией \mathbf{n} , поскольку, как уже неоднократно указывалось, состояния \mathbf{n} и $-\mathbf{n}$ эквивалентны. Наконец, \mathbf{P}_d должно преобразовываться как вектор. Наиболее общий вид \mathbf{P}_d , удовлетворяющий этим требованиям, есть

$$\mathbf{P}_d = e_1 \mathbf{n}(\operatorname{div} \mathbf{n}) + e_3 (\operatorname{rot} \mathbf{n}) \times \mathbf{n} \quad (3).$$

Сюда входят два коэффициента e_1 и e_3 с размером электрического потенциала и произвольным знаком. Мы назовем их флексоэлектрическими коэффициентами. У молекул, которые асимметричны по форме и обладают большим электрическим дипольным моментом μ_e , флексоэлектрические коэффициенты могут достигать значений порядка μ_e/a^2 , где a — характерный молекулярный размер. Во всех других случаях, и в частности, если молекулы не имеют постоянного момента e_1 и e_3 будут меньше.

В принципе e_1 и e_3 можно найти из экспериментов двух типов:

- 1). Измеряя поляризацию (или поверхностные заряды), индуцируемую заданным искажением.
- 2). Используя обратный эффект. Если электрическое поле \mathbf{E} приложено к монокристаллу ЖК, упорядочение может исказиться, поскольку соответствующее искажение может создать поляризацию \mathbf{P}_d , параллельную \mathbf{E} . Принцип прост. Образец ограничен двумя параллельными стеклянными пластинами, обработанными лецитином для получения гомеотропной текстуры. Но для предлагаемой интерпретации эксперимента необходимо, чтобы граничные условия не соответствовали сильному нормальному сцеплению: угол между молекулами и поверхностью не должен быть фиксирован. Электрическое поле приложено в плоскости слоя. Однако на практике наблюдается искажение. Такое искажение является естественным следствием флексоэлектрического эффекта, если предположить, что на обеих граничных поверхностях имеет место слабое сцепление [3, с. 195].

Основные выводы:

1. Действие электрических полей на структуру образования жидких кристаллов обусловлено энергетическими причинами.
2. Первой неустойчивостью, возникающей в планарном слое НЖК МББА в постоянном электрическом поле, является флексоэлектрическая, которая приводит к формированию системы продольных доменов. Образование продольных флексоэлектрических доменов обусловлено, прежде всего, наличием двойного электрического слоя вблизи электродов ЖК-ячейки.

Литература

1. Кондратьев Д. В. Ориентационные эффекты в нематических жидких кристаллах со stripe-подложкой / Д. В. Кондратьев, Н. Г. Мигранов // Материалы XVI Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным системам (ВМСППС'2009), 25-31 мая 2009 г., Алушта. М.: МАИ ПРИНТ, 2009. С. 405-408.
2. De Gennes P. G. The physics of liquid crystals., Clarendon Press. Oxford, 1974. P. 114.
3. Johnson J., Porter R. Orsay liquid crystal group // Liquid crystals and ordered fluids, eds: Plenum Press, New York, 1970. P. 195.