

КИНЕТИКА СПОНТАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

Л.А.Береснев, Л.М.Блинов, Э.Б.Соколова

Рассмотрена кинетика пирозлектрического отклика жидкого сегнетоэлектрика на тепловой импульс с учетом конечного времени релаксации спонтанной поляризации τ . Проведены прямые измерения времени τ жидкого кристалла. Вблизи перехода смектик "С" — смектик "А" обнаружено резкое возрастание τ .

1. Успехи в изучении сегнетоэлектричества связаны в значительной степени с теоретическими и экспериментальными исследованиями динамики кристаллической решетки. Поведение времени релаксации сегнетоэлектрической мягкой моды вблизи фазовых переходов несет ценную информацию о природе спонтанной поляризации в сегнетоэлектриках и антисегнетоэлектриках [1]. Представляет фундаментальный интерес исследование динамики спонтанной поляризации в новом классе сегнетоэлектриков — недавно открытых сегнетоэлектрических жидких кристаллах [2].

В данной работе мы рассматриваем кинетику спонтанной поляризации жидкого кристалла (ЖК) с учетом конечного времени релаксации, исходя из кинетики пьезоэлектрического тока ЖК слоя, нагреваемого тепловым импульсом.

2. Пусть пьезоэлектрик заключен в конденсатор с площадью обкладок S и емкостью C . В режиме короткого замыкания ($R_H C \ll t_0$, R_H — сопротивление нагрузки, t_0 — длительность теплового импульса) отклик напряжения U пьезоэлектрика имеет вид

$$U(t) = R_H S \frac{dP}{dt} . \quad (1)$$

Если импульс имеет прямоугольную форму и плотность мощности W , то в пренебрежении теплопроводом изменение температуры пьезоэлектрика таково:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \begin{cases} \frac{W\eta}{c\rho d} & t < t_0 \\ 0 & t > t_0 \end{cases} , \quad (2)$$

где η — доля поглощенной мощности, c — удельная теплоемкость, ρ — плотность, d — толщина слоя пьезоэлектрика.

В простейшем случае релаксацию поляризации с конечным (постоянным) временем τ можно описать следующим образом:

$$\frac{dP}{dt} = - \frac{P - P_0(T)}{\tau} . \quad (3)$$

Разлагая равновесную поляризацию $P_0(T)$ в ряд (считая нагрев $\Delta T(t)$ малым), после интегрирования с учетом (2) получаем:

$$U(t) = \frac{R_H W^* \eta}{c \rho d} \gamma \begin{cases} 1 - \exp(-t/\tau), & t < t_0 \\ [1 - \exp(-t_0/\tau)] \exp[-(t - t_0)/\tau], & t > t_0 \end{cases} , \quad (4)$$

где $\gamma = \gamma(T_0) = \frac{dP_0}{dT}(T_0)$ — пьезокоэффициент при температуре T_0 .

$W^* = WS$ — полная мощность, падающая на площадку S .

а) При $\tau \ll t_0$ (4) дает обычную формулу для $U_{\text{макс}}$ [3]:

$$U_{\text{макс}} \approx \gamma \frac{R_H W^* \eta}{c \rho d} , \quad (5)$$

а в кинетике $U(t)$ наблюдается передний фронт с постоянной времени τ .

б) При $r \gg t_0$:

$$U_{\text{макс}} \approx \gamma \frac{R_H W^* \eta}{c \rho d} \cdot \frac{t_0}{r} \quad (6),$$

т.е. пироотклик уменьшается пропорционально отношению времени релаксации τ к длительности теплового импульса t_0 .

Из (6) и (5) вытекает возможность оценки τ по известной длительности теплового импульса t_0 и по отношению пирокоэффициентов, измеренных стационарным способом (или по пироотклику на длинный тепловой импульс с $t_0 \gg \tau$), и с помощью короткого импульса t_0 . Для обоих случаев а) и б) при $t > t_0$ кинетика пироотклика характеризуется спадом с постоянной времени, равной времени релаксации τ , что также дает возможность его определения по уровню $U(t_0)/e$.

3. При исследовании импульсного пироэффекта в сегнетоэлектрических жидких кристаллах ранее [4] мы рассмотрели случай, когда длительность теплового импульса оказалась существенно меньше дебаевского времени релаксации диполей ЖК. Исходя из отношения стационарной величины пирокоэффициента, ожидаемого по температурной зависимости поляризации, измеренной в работе [5], к величине динамического пирокоэффициента, измеренного по пироотклику на гигантский импульс, и длительности импульса $t_0 \sim 10^{-7}$ сек, мы сделали косвенную оценку времени дебаевской релаксации диполей для наиболее известного сегнетоэлектрического жидкого кристалла L-п-децилоксибензилиден-*p*-амино-2-метилбутилциннамата (ДОБАМБЦ), $\tau \approx 10^{-5} + 10^{-6}$ сек.

В данной работе мы впервые провели прямые измерения времени релаксации поляризации ДОБАМБЦ по кинетике спада пиросигнала ЖК слоя, нагреваемого гигантским импульсом неодимового лазера. Методика эксперимента аналогична [4] (схема измерения приведена на рис. 1, а). Полная мощность теплового импульса длительностью на полувысоте $t_0 \approx 3 \cdot 10^{-8}$ сек составляла 50 кВт, при этом ЖК слой толщиной 200 мкм нагревался не более, чем на $0,1^\circ \text{C}$. Электрическая постоянная ячейки вместе со входом усилителя не превышала 15 нсек. Острый пик в начале характерной для этого опыта осциллограммы (рис. 1, б), воспроизводящий гигантский импульс, обусловлен "быстрой" компонентой изменения поляризации ЖК (возможно, она связана с вращением молекул ДОБАМБЦ) вокруг их длинных осей). Медленный спад пиросигнала характеризуется временной постоянной τ в несколько микросекунд и обусловлен "медленной" компонентой изменения P , по-видимому, связанной с вращением молекул вокруг их коротких осей. Величина τ согласуется с произведенной в [4] оценкой дебаевского времени релаксации по формуле (6), а также с наличием частотной дисперсии диэлектрической постоянной, обнаруженной в области частот $10^4 + 10^6$ гц [6]. В приведенной на рис. 2 зависимости времени релаксации пироэффекта ДОБАМБЦ от температуры наблюдается резкий рост τ вблизи перехода СМ "С" - СМ "А". Критический индекс α в зависимости

$$\tau^{-1} \sim (T_c - T)^\alpha \quad (7)$$

составил $0,67 \pm 0,10$. Отметим, что большая ошибка в измерении τ связана с осциллирующим характером спада пиросигнала. Осцилляции вызваны пьезоэлектрическим эффектом в сегнетоэлектрическом ЖК, а их частота определяется собственными частотами механических колебаний ЖК ячейки.

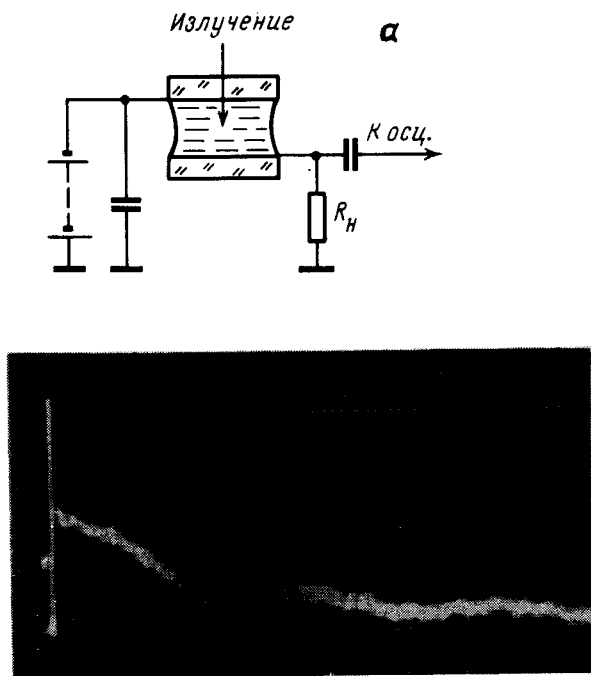


Рис.1. *a* – Схема регистрации пироотклика жидкокристаллической ячейки на лазерный импульс длительностью $t_0 = 3 \cdot 10^{-8}$ сек; *б* – осциллограмма пироотклика. Развертка 1 мксек/дел, цена деления по вертикали 2 мВ

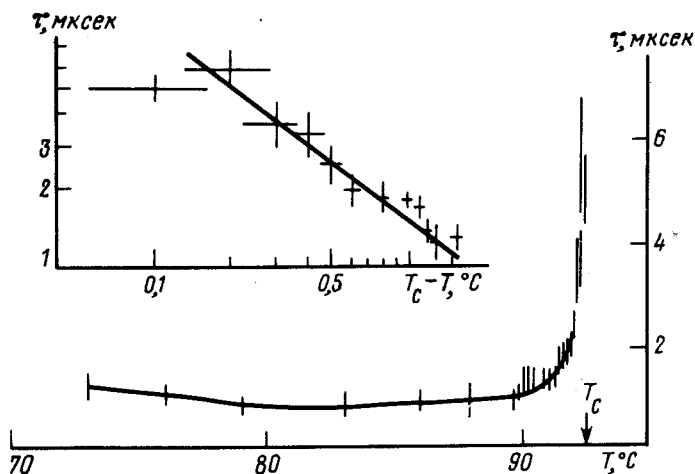


Рис.2. Температурная зависимость времени релаксации для жидкого кристалла ДОБАМБЦ

4. Таким образом, нами обнаружены особенности пьезоэлектрического эффекта в жидких сегнетоэлектрических системах с медленной релаксацией поляризации. Вблизи фазового перехода СМ "С" – СМ "А" обнаружен рост времени релаксации, аналогичный поведению сегнетоэлектрической мягкой моды в твердых сегнетоэлектриках вблизи точки Кюри [1].

Научно-исследовательский институт
органических полупродуктов и красителей

Поступила в редакцию
6 июля 1978 г.

Литература

- [1] Р.Блинц, Б.Жэкш. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики, М., изд. Мир, 1975.
- [2] R.V.Meyer, L.Liebert, L.Strzelecki, P.Keller. Le Journal de Physique, Letters, 36, L-69, 1975.
- [3] Л.С.Кременчугский. Сегнетоэлектрические приемники излучения, "Наукова думка", Киев, 1971.
- [4] Л.А.Береснев, Л.М.Блинов, З.М.Элашвили. Письма в ЖТФ, 4, 225, 1978.
- [5] Б.И.Островский, А.З.Рабинович, А.С.Сонин, Б.А.Струков, Н.И.Чернова. Письма в ЖЭТФ, 25, 80, 1977.
- [6] L.A.Beresnev, L.M.Blinov, N.M.Shtykov, Z.M.Elashvili. VII Int. Conf. on Liquid Crystals, Bordo (France), July, 1978. (Abstracts).