

05.2;12

©1994

АНОМАЛЬНЫЙ ТЕРМОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В γ -ОБЛУЧЕННОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

*Е.Г.Аксельрод, В.А.Добрин, И.О.Заплатина,
В.А.Зарубин, В.И.Крюк*

Радиационные явления в жидких кристаллах (ЖК) интенсивно изучаются [1]. Дозовые зависимости структурно-чувствительных свойств ЖК определяются влиянием возникающих немезогенных радиационных примесей (РП) на молекулярную упорядоченность ЖК [2]. Морфокинетические параметры фазового перехода в твердый кристалл (ТК) после радиационной обработки ЖК претерпевают экстремальные изменения [3]. Природа радиационных эффектов в ЖК при переходе в ТК [4] связывается с взаимодействием РП и поля упругих напряжений дислокаций в структуре межфазной границы (МГ). Поскольку часть РП ионногенна [5], представляет интерес исследование особенностей проявления в облученном ЖК термодиэлектрического эффекта (ТДЭ), связанного, согласно [6], с кинетикой разделения зарядов на движущейся МГ.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального изучения ТДЭ при переходе ЖК-ТК в холестерилпеларгонате-мезогене с детально описанными радиационно-индуцированными эффектами [2,3]. Методики γ -облучения, определения морфологических и кинетических параметров ЖК в области превращения, измерения токов ТДЭ, проводимости и термодеполяризации (ТДП), изложены в [5,6]. Из рис. 1 следует, что облучение приводит к возрастанию миксимальной величины тока ТДЭ и сдвигу его пикового значения в область более высоких температур. Ток ТДЭ определяется выражением

$$J(t) = \bar{K} \int_0^t \dot{m} \exp[(\tau - t)/\theta] d\tau / \theta,$$

где \bar{K} — константа ТДЭ, характеризующая эффективность разделения зарядов на подвижной МГ, \dot{m} — скорость массовой кристаллизации [4], $\theta = \varepsilon_0 \varepsilon / \sigma$ — постоянная времени утечки избыточного заряда перед фронтом превращения

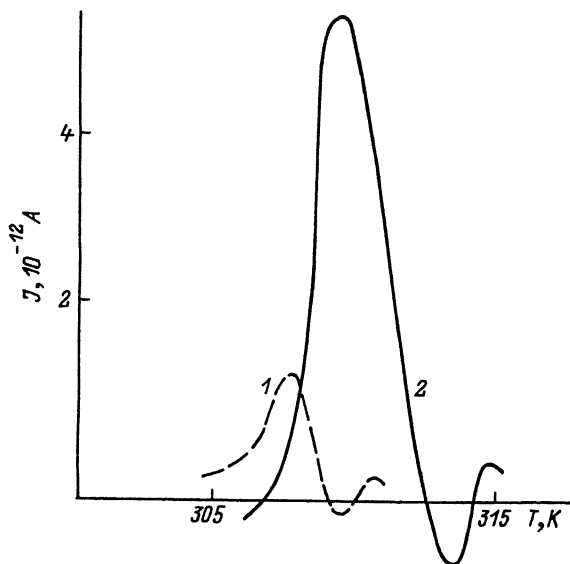


Рис. 1. Ток ТДЭ при фазовом переходе ЖК-ТК. Поглощенная доза D , Мрад:
1 — 0, 2 — 245.

через ЖК (ϵ и σ — проницаемость и проводимость ЖК в момент времени t). Параметры, описывающие термокинетику тока ТДЭ, и константа ТДЭ рассчитывались из эксперимента для t , соответствующего пику тока. Последний, по данным оптической микроскопии, достигается в момент взаимного касания ТК-сферолитов радиуса r , растущих с линейной скоростью G_m .

Константа \bar{K}_θ существенно возрастает с дозой D (табл. 1) и в области критических $D \sim 300$ Мрад [2] достигает рекордного значения 10^{-3} Кл/кг, которое на порядок больше максимального из известных для других органических диэлектриков [6]. Указанные изменения тока и константы ТДЭ в γ -облученном ЖК позволяют рассматривать опи-

Таблица 1. Дозовая зависимость константы ТДЭ (эксперимент)

D , Мрад	ϵ ,	σ , $10^{-12} \frac{\text{см}}{\text{м}}$	r , мк	T_m , К	G_m , мк/с	\dot{m} , 10^{-8} кг/с	J_{max} , 10^{-12} А	\bar{K}_θ , $10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$
0	4.0	0.7	483	310.0	7.1	29.3	1.5	2.5
140	3.7	1.7	336	311.5	4.4	7.1	2.4	6.6
245	3.5	2.3	128	314.9	6.4	6.4	5.0	10.2

сываемый ТДЭ как аномальный: рост проводимости и снижение с дозой скоростей перехода и движения МГ вследствие улучшения условий экранировки межфазного потенциала [6] ионогенными РП должны привести к уменьшению значений тока и константы ТДЭ.

Ниже кратко описана феноменологическая модель, в которой природа аномального ТДЭ в γ -облученном ЖК аналитически связывается с зависимостью \bar{K} не только от объемной плотности остаточного заряда в ТК (ρ_v) (как это обычно считается при анализе ТДЭ в изотропных диэлектриках [7]), но и от поверхностной плотности заряда (ρ_s) на МГ:

$$\bar{K} = \rho^{-1} \left[\rho_s / r + \rho_v d / (r + d) \right],$$

где $\rho \simeq 1 \text{ г/см}^3$ — плотность, $d = 30 \text{ мк}$ — толщина слоя ЖК в измерительной ячейке. Возникновение ρ_v в ТК обусловлено неполной экранировкой межфазного потенциала (за счет тока проводимости через ЖК) и захватом “нескомпенсированных” носителей структурными или примесными ловушками ТК. Значение ρ_v рассчитывалось по кривой тока ТДП отжига [6,8].

Величина ρ_s определяется термокинетикой разделения зарядов на подвижной МГ и недоступна прямому измерению. Интегрируя уравнения движения РП ионов на МГ, можно показать, что

$$\rho_s = 2\epsilon\epsilon_0 \left[kT_m / \beta e + eN_t \exp(\Delta E_t / kT_m) G_m / \sigma \right],$$

где β — дебаевская длина, N_t и ΔE_t — плотность и глубина локальных состояний. Ловушками для РП ионов на МГ являются краевые дислокации в системе ЖК слоев [4]. Механизм захвата связан с экранировкой заряженными РП макроскопической флексополяризации P_{f1} , индуцируемой модой неоднородного поперечного изгиба директора. Глубина дислокационной ловушки $\Delta E_t \simeq \rho_{f1} r_1^2 \ln \zeta / 2\epsilon\epsilon_0$, где $\rho_{f1} = -\text{div} P_{f1}$ — плотность флексозаряда, $r_1 = \zeta \lambda$ — характерный радиус пространственного заряда РП ионов около дислокации, λ — приведенная длина, $\zeta = 9-13$ [3,4]. Локальные состояния возникают в узкой ($\sim \text{нм}$) области вокруг дефекта, при этом заполнение ловушек вдоль линии лимитируется радиусом экранирования $r_\phi \simeq (\epsilon\epsilon_0 kT_m \mu / e\sigma)^{1/2}$, отсюда N_t определяется отношением ρ_d / r_ϕ (ρ_d — скалярная плотность МГ дислокаций, дозовая зависимость которой представлена в [5]). Результаты расчета сведены в табл. 2.

Таблица 2. Дозовая зависимость константы ТДЭ (модель)

D , Мрад	ρ_v , 10^{-1} Кл/м ³	$\Delta E_t \pm 0.03$, эВ	N_t , 10^{16} м ³	ρ_s , 10^{-4} Кл/м ²	K_v , 10^{-4} Кл/кг	K_s , 10^{-4} Кл/кг	K_Σ , 10^{-4} Кл/кг
0	2.1	0.13	0.9	1.3	0.23	2.7	2.9
140	1.2	0.14	2.4	1.4	0.18	3.8	4.0
245	0.2	0.15	4.7	1.7	0.07	13.5	13.6

Из табл. 2 следует: 1) рассчитанные $K_\Sigma = K_v + K_s$ согласуются с экспериментальными; 2) основной вклад в K_Σ вносит слагаемое K_s , зависящее от поверхностной плотности заряда на МГ. Возрастание K_Σ в облученном ЖК обусловлено составляющей с ρ_s ; 3) дозовое увеличение K_s связано с радиационно-стимулированными изменениями морфокинетики МГ (G, r) и соответствующих характеристик ее дислокационной структуры (ρ_d, δ в обозначениях [3,4]). Последнее приводит к возрастанию ρ_{fl} , плотности и (частично) глубины локальных состояний; 4) слагаемое K_v (от плот-

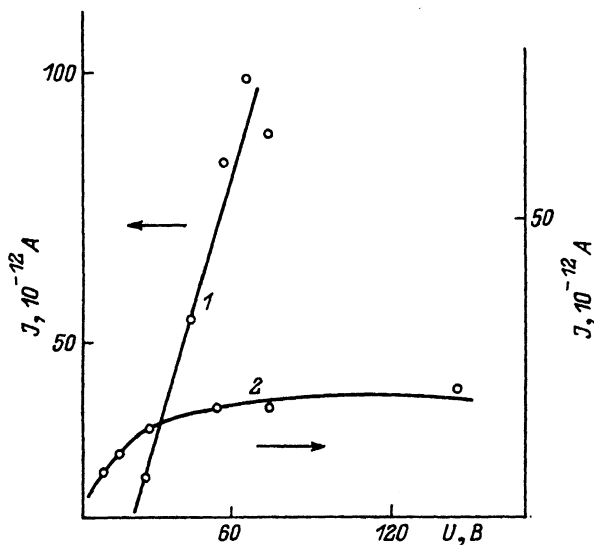


Рис. 2. Полевые зависимости пиковых значений тока ТДП при отжиге ТК (1) и ЖК (2).

$D = 140$ Мрад, U — напряжение поляризации.

ности заряда в ТК) на порядок меньше и падает с ростом дозы, что согласуется с улучшением условий экранировки межфазного потенциала при уменьшении \dot{m} и G_m .

Полевые зависимости максимумов токов ТДП (рис. 2) подтверждают [8], что остаточная поляризация в ТК имеет объемно-зарядовую природу, а поверхностная в ЖК — дипольную. Возникновение ориентационной поляризации и связанной с ней значительной ρ_s^* на МГ является характерной особенностью ТДЭ при кристаллизации ЖК. “Аномальные” дозовые изменения величин, характеризующих ТДЭ в температурном интервале перехода ЖК–ТК, определяются, как и при радиационно-индуцированном морфокинетическом эффекте [5], существенно нелинейным взаимодействием РП с дефектами надмолекулярной структуры на границе раздела фаз.

Список литературы

- [1] Линева В.А., Сузаков В.И., Шияновский С.В. // УФЖ. 1991. Т. 36. В. 1. С. 62–73.
- [2] Аксельрод Е.Г., Добрин В.А., Заплатина И.О. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 5. С. 405–409.
- [3] Аксельрод Е.Г., Добрин В.А., Заплатина И.О. и др. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 12. С. 132–134.
- [4] Аксельрод Е.Г., Добрин В.А., Дорохова В.В. и др. // Расплавы. 1990. В. 5. С. 63–72.
- [5] Куксенко О.В., Сузаков В.И., Шияновский С.В. // УФЖ. 1992. Т. 37. В. 4. С. 589–594.
- [6] Intern. Symposium on electrets and dielectrics / Ed. Acad. Bras. Cien., Rio de Janeiro. 1977. 512 p.
- [7] Ковальчук А.В., Лаврентович О.Д., Линева В.А. Препринт № 15 Инст. ядерн. иссл. АН УССР. Киев, 1987.
- [8] Гороховатский Ю.А. Основы термополяризационного анализа. М., 1981. 175 с.
- [9] Аксельрод Е.Г., Добрин В.А., Заверткин С.Д. и др. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 1. С. 74–78.

Уральская государственная
лесотехническая академия
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
18 марта 1994 г.

* При этом поле на свободной поверхности ЖК достигает $5 \cdot 10^6$ В/м, что может быть причиной генерации экзоэлектронов и радиоимпульсов в области перехода [9].