

07; 12

© 1992

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
НЕМАТИЧЕСКИХ ДИСПЕРСИЙ В ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕ

Г.Б. Н о с о в, Э.В. Г е н е р а л о в а

В последнее время интенсивно исследуются [1, 2] жидкокристаллические композиты — полимерные пленки с диспергированными в них нематическими жидкими кристаллами (*PDLС*).

В исходном состоянии вследствие больших градиентов показателя преломления на границах капель нематика пленка *PDLС* сильно рассеивает свет и кажется молочно-белой. Если к пленке приложить электрическое поле, то молекулы нематика ориентируются вдоль поля (диэлектрическая анизотропия положительная). При условии равенства показателя преломления полимера и обыкновенного показателя преломления нематика градиенты для света, распространяющегося нормально к пленке, исчезают, и она становится прозрачной.

Композиты *PDLС* широко используются [1, 2] для построения светоклапанных устройств и информационных табло большого размера. Эти устройства удобны для дистанционного наблюдения и могут работать в зоне радиации. Поэтому весьма актуальным является исследование влияния ионизирующего излучения на свойства *PDLС*.

Нами исследована система, представляющая собой коммерческую смесь цианобифенилов в сополимере (1:1) на основе полиметакрилата [3]. Экспериментальные образцы представляли собой слои толщиной 50 мкм между тонкими стеклами с прозрачными электродами (*InO*). Их готовили по технологии фазового разделения, индуцированного испарением растворителя [2]. Композит имел характерный размер капель 1–2 мкм. Пропускание образца измеряли в апертурном угле  $\sim 5 \cdot 10^{-3}$  град при нормальном падении света. Электрооптический отклик (изменение пропускания при подаче прямоугольного импульса напряжения) регистрировали до и не менее через сутки после облучения. При этом зависимости радиационных эффектов от времени не обнаружено. Облучение образцов проводили на ускорителе электронов (энергия электронов 4 МэВ), импульсная мощность поглощенной дозы  $10^7$  Гр·с<sup>-1</sup>) в режиме, обеспечивающем радиационный нагрев не более 25 °С. Само по себе такое нагревание не сказывалось на свойствах материала. Погрешность отпуска дозы составляла  $\pm 15\%$ .

Установлено, что после облучения происходило искажение формы отклика, которое усиливалось с ростом поглощенной дозы (рис. 1). Подобный пилообразный отклик наблюдали для *PDLС* ранее [4, 5]. На соотношение между величинами первого и второго миниму-

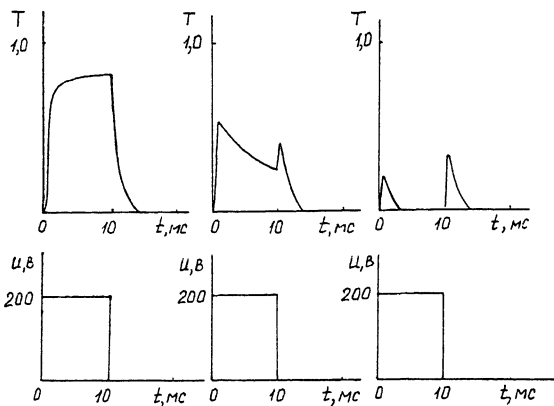


Рис. 1. Осциллограммы электрооптических откликов образцов на прямоугольный импульс напряжения до (а) и после облучения дозами 100 кГр (б) и 200 кГр (в).

мов (он всегда возникал после окончания импульса) влияло напряжение импульса и слабее его длительность (10–50 мс). Кроме того, с ростом дозы зависимость максимума пропускания от величин управляющего напряжения смешалась в сторону больших напряжений (рис. 2). Имело место также некоторое уменьшение ее крутизны. Качественно объяснить эти эффекты можно следующим образом.

Пропускание образца есть монотонная функция от ориентации молекул нематика [1]. Последняя (с учетом запаздывания, обусловленного релаксационными процессами в *PDLC*) зависит от абсолютной величины электрического поля, действующего на нематик. Поэтому пилообразный вид отклика может быть обусловлен пульсациями действующего поля, вызванного, по-видимому, в основном перераспределением зарядов в композите. Условия возникновения пульсаций можно получить в первом приближении, рассматривая модель многослойника, состоящего из двух диэлектриков – нематика и полимера [6].

Напряженность электрического поля в плоском слое нематика, если считать параметры диэлектриков постоянными, дается выражением:

$$E(t) = \begin{cases} A \cdot e^{-\frac{t}{\theta}} + B, & 0 \leq t \leq \tau \\ -A \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{\theta}}) \cdot e^{-\frac{t-\tau}{\theta}}, & t > \tau, \end{cases}$$

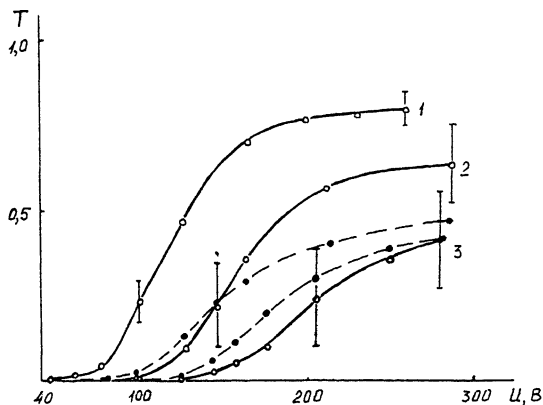


Рис. 2. Зависимость максимумов пропускания  $T$  образцов *PDLC* от напряжения  $U$  прямоугольных импульсов длительностью 10 мс: 1 – до облучения; 2, 3 – после облучения дозами 100 кГр и 200 кГр;  $\circ$  – первый максимум,  $\bullet$  – второй максимум.

$$\text{где } A = \frac{(\epsilon_p \sigma - \epsilon \cdot \sigma_p) \cdot d_p \cdot U}{(\epsilon_p d + \epsilon \cdot d_p)(\sigma_p d + \sigma \cdot d_p)}, \quad B = \frac{\sigma_p \cdot U}{\sigma_p d + \sigma \cdot d_p},$$

$$\theta = \frac{\epsilon_0 (\epsilon_p d + \epsilon \cdot d_p)}{\sigma_p d + \sigma \cdot d_p} \quad - \text{ время релаксации поля; } \tau, U \text{ - дли-}$$

тельность и напряжение электрического импульса;  $\epsilon$ ,  $\epsilon_p$  и  $\sigma$ ,  $\sigma_p$  – диэлектрические постоянные и электропроводности нематика (средние) и полимера соответственно;  $d$ ,  $d_p$  – толщины слоев нематика и полимера;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная.

Если  $\epsilon_p \cdot \sigma - \epsilon \cdot \sigma_p < 0$  ( $A < 0$ ), то при включенном напряжении разделение зарядов усиливает поле в нематике (соответственно ослабляет в полимере). При включении напряжения знак поля сохраняется накопившимися зарядами ( $E(t) \geq 0$ ).

Если  $\epsilon_p \cdot \sigma - \epsilon \cdot \sigma_p > 0$  ( $A > 0$ ), то заряды создают поле, противоположное внешнему. Поэтому при включенном напряжении поле в нематике к концу импульса спадает, а при выключении меняет знак. Если электропроводность нематика значительно превышает электропроводность полимера ( $\sigma \gg \sigma_p$ ) и импульс достаточно длительный ( $\tau \gg \theta$ ), то возникают сильные пульсации поля  $E(0) \approx |E(\tau + 0)| \gg E(\tau)$ , которые приводят к пилообразному отклику. Мы думаем, что учет формы капель, зависимости параметров от поля и т. д. не изменит характера пульсаций.

Для оценки значений  $\sigma$ ,  $\sigma_p$  и  $\theta$  были проведены измерения тангенса диэлектрических потерь на частотах 100 и 1000 Гц отдельно

для неориентированного нематика, полимера, а также композита. Диэлектрические проницаемости компонентов после облучения дозой 200 кГр не менялись, а для композита на частоте 100 Гц имело место увеличение диэлектрической проницаемости в 1.5 раза. Последнее требует специального исследования. Более существенно, на наш взгляд, увеличение диэлектрических потерь и композита, которое обусловлено, по-видимому, в основном возрастанием электропроводности нематика.

Оценка показывает, что до облучения  $\sigma \approx 8 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ ,  $\epsilon_p \approx 3 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$  (для композита  $\epsilon_x \approx 6 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ ) и  $\theta \approx 10 \text{ мс}$  ( $\epsilon \approx 10$ ,  $\epsilon_p \approx 3.5$ ,  $d \approx d_p$ ). После облучения дозой 200 кГр  $\sigma \approx 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ ,  $\epsilon_p \approx 3 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$  ( $\epsilon_x \approx 2 \times 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ ) и  $\theta \approx 1 \text{ мс}$ . Таким образом, для облученного композита, по-видимому, имело место  $A > 0$ ,  $\tau \gg \theta$ , что и приводило к пилообразному отклику. Заметим, что примерно такой же отклик получался для компонента, легированного типичной ионогенной примесью (0.03 масс. % тетрабутиламмония бромистого).

Интересно, что при достаточно большой электропроводности нематика второй максимум пропускания бывает больше первого. Объяснение этого, по-видимому, следует искать в механизме, ответственном за гистерезисные эффекты, к которым относится и наш случай.

"Смещение" зависимости пропускания от напряжения  $T(U)$  может быть вызвано тем, что для облученного образца время релаксации  $\theta$  становится соизмеримым со временем ориентационной релаксации нематика при включении поля  $t_{ax}$ . Поэтому для него действующее поле меньше, чем для облучения (согласно простейшей модели для первого максимума  $E(t_{ax}) \sim E(\theta) \cdot e^{-\frac{t_{ax}}{\theta}}$ ). Наряду с этим уменьшением пропускания может быть отчасти обусловлено увеличением неравномерности поля в композите, вызванное уменьшением отношения  $\frac{\epsilon_p}{\epsilon}$  (до облучения  $\frac{\epsilon_p}{\epsilon}$  и  $\frac{\epsilon_p}{\sigma}$  отличаются меньше, чем после облучения, а структура *PDLС*, мы полагаем, не меняется).

На переменном напряжении (50 Гц) для облученного композита также наблюдалось уменьшение пропускания. Это понятно, так как на частоте  $f \ll \frac{1}{\theta}$  заряды успевают следовать за полем и ослаблять его. На высоких частотах, по-видимому, этого не будет. Однако существенным может стать увеличение диэлектрических потерь, приводящее, в частности, к возрастанию времени выхода пропускания на стационарное значение. Конечно, чтобы получить ответы на множество возникающих вопросов, необходимы дополнительные исследования.

Благодарим В.Н. Рачека за помощь при проведении эксперимента, В.П. Шибаева, Я.С. Фрейдзона и А.С. Сонины за интерес к работе и обсуждение результатов.

- [1] К о в а л ь ч у к А.В., К у р и к М.В., Л а в р е н т о -  
в и ч О.Д. // Зарубежная электроника. 1989. № 5. С. 44-58.
- [2] W e s t J.L. // Mol. Cryst. and Luquid Cryst. 1988.  
V. 157. P. 427-441.
- [3] N o s o v G.B., G e n e r a l o v a E.V., S o -  
n i n A.S., S h i b a e v V.P., F r e i d z o n  
Y a.S. // Abstracts Summer European Liquid Crys-  
tals Conference. Vilnius, 1991. V. 1. P. 91.
- [4] А ф о н и н О.А., Н а з в а н о в В.Ф., Н о в и к о в А.В. //  
Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. С. 129-133.
- [5] C r a i g h e a d H.G., J u l i a n C h e n g,  
Н а с к w o o d S. // Appl. Phys. Lett. 1982.  
V. 40. P. 22-24.
- [6] С к а н а в и Г.И. // Физика диэлектриков. М.: Гос. изд. техн.  
теор. литературы, 1949. 500 с.

Поступило в Редакцию  
29 ноября 1991 г.