

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сироткин О. С., Кузнецов Е. В. Высокомолек. соед. Б, 1981, т. 23, № 3, с. 194.
2. Хитров М. Ю., Сироткин О. С. Высокомолек. соед. Б, 1980, т. 22, № 12, с. 883.
3. Сироткин О. С., Кузнецов Е. В., Гонюх В. М., Ашмарин Г. Д. А. с. 537987 (СССР).—Опубл. в Б. И., 1976, № 45.
4. Тарасевич Б. П., Коновалов В. И., Сироткин О. С., Гонюх В. М., Кузнецов Е. В., Сайфуллин Р. С., Ашмарин Г. Д. А. с. 895966 (СССР).—Опубл. в Б. И., 1982, № 1.
5. Сироткин О. С. Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. Казань: КХТИ, 1978. 16 с.
6. Бартенев Г. М., Цыганов А. Д., Абросимова Г. Д. Докл. АН СССР, 1972, т. 205, № 2, с. 375.
7. Бартенев Г. М., Абросимова Г. Д. Высокомолек. соед. Б, 1973, т. 15, № 3, с. 199.
8. Коршак В. В. Прогресс полимерной химии. М.: Наука, 1965, с. 278.
9. Ray N. H. Inorganic Polymers. London — New York — San Francisco: Academic Press, 1978, p. 79.
10. Тарасевич Б. П., Хитров М. Ю., Сироткин О. С., Гонюх В. М., Завьялов В. В., Кузнецов Е. В., Сайфуллин Р. С., Ашмарин Г. Д., Безденежных И. С. А. с. 885227 (СССР).—Опубл. в Б. И., 1981, № 44.
11. Девятых Г. Г., Сироткин О. С., Кузнецов Е. В., Ковалев И. Д., Ларин Н. В. Докл. АН СССР, 1977, т. 236, № 6, с. 1406.

Казанский химико-технологический  
институт им. С. М. Кирова

Поступила в редакцию  
4.VIII.1981

УДК 541.64:537.311

## ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СПЕКТРАМИ ТОКА ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТЬЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

Борисова М.Э., Койков С.Н., Рымша В.П.

Метод термостимулированной деполяризации (ТСД) широко применяется для изучения релаксации заряда в полимерных пленочных электретах. В этом случае электрет помещается между металлическими электродами, которые соединены с прибором, измеряющим ток разрядки (деполяризации) при нагревании электрета с постоянной скоростью. Ранее [1] нами было показано, что разрядка пленочных электретов обусловлена собственной электропроводностью пленок, причем различие спектров ТСД при плотном и неплотном контакте электродов с электретом можно было объяснить на основе модели трехслойного диэлектрика (рис. 1). В этой модели предполагается, что удельная проводимость тонких наружных слоев диэлектрика  $\gamma_1'$  много больше проводимости внутреннего слоя  $\gamma_2$  ( $h_1' \ll h_2$ ), а на границе раздела слоев  $h_1'/2$  и  $h_2$  вблизи поверхности пленки сосредоточен заряд  $\pm\sigma$ .

При плотном контакте электрета с электродами разрядка (деполяризация) обеспечивается в основном движением носителей заряда в приповерхностных слоях толщиной  $h_1'/2$ . При неплотном контакте, когда обмен носителями заряда с электродами затруднен, а особенно при наличии прокладок с проводимостью  $\gamma_1$  меньшей, чем проводимость основной части пленки  $\gamma_2$ , направление тока разрядки меняется, и деполяризация обеспечивается движением носителей заряда через среднюю часть пленки  $h_2$ .

При деполяризации с изолирующими прокладками, расположенными между электродами и электретом, можно пренебречь влиянием тонких приповерхностных слоев пленки, тогда ток ТСД описывается выра-

жением

$$I_{\text{ТСД}} = \frac{\sigma_0 h_2 \varepsilon_1}{\tau(\varepsilon_1 h_2 + \varepsilon_2 h_1)} \exp \left[ - \int_{T_0}^T \frac{dT}{\beta \tau} \right], \quad (1)$$

где  $\tau = \frac{\varepsilon_0 (\varepsilon_1 h_2 + \varepsilon_2 h_1)}{\gamma_2 h_1}$  — время релаксации заряда,  $\varepsilon_1, h_1, \gamma_1$  — диэлектрическая проницаемость, толщина и проводимость прокладок, а  $\varepsilon_2, h_2, \gamma_2$  — диэлектрическая проницаемость, толщина и проводимость электрета.

Рис. 1. Модель трехслойного диэлектрика

Рис. 2. Блок-схема расчета зависимостей  $\gamma_2=f(T)$  и спектров токов ТСД. В скобках указаны операторы, которые используются для нахождения токов ТСД

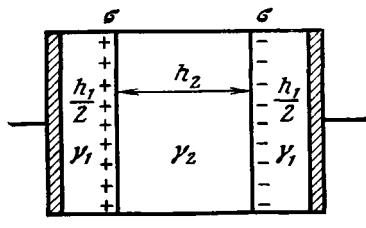


Рис. 1

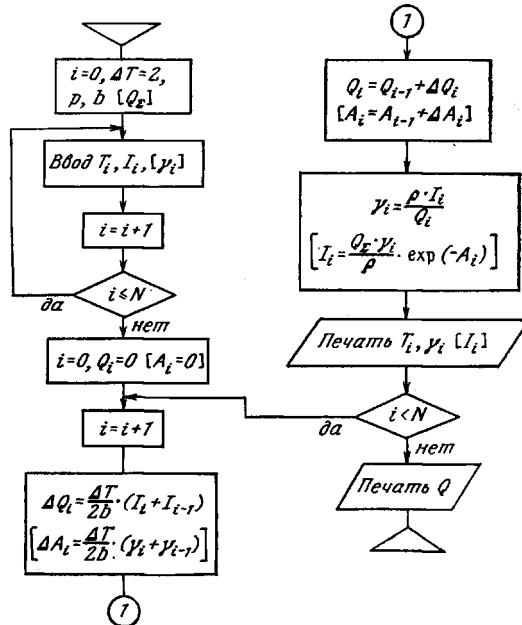


Рис. 2

В данной работе предложены способы обработки экспериментальных данных и методы анализа, позволяющие уточнить роль электропроводности полимерных пленок в процессе релаксации заряда.

С помощью соотношения (1) можно рассчитать кривую тока ТСД исходя из экспериментально измеренной зависимости проводимости от температуры  $\gamma_2=f(T)$ . Зная величину  $\gamma_2$ , рассчитываем зависимость  $1/\tau = f(T)$ ,

а затем численными методами вычисляем интеграл  $\int_{T_0}^T dT / \beta \tau$  в со-

отношении (1). Зная величину интеграла и параметры двухкомпонентной модели, можно рассчитать зависимость тока ТСД от температуры при изменении ее по линейному закону.

Может быть решена и обратная задача — расчет температурной зависимости проводимости диэлектрика  $\gamma_2=f(T)$  из кривой тока ТСД. В этом случае время релаксации заряда определяется по формуле

$$\tau(t) = \frac{Q(t)}{I(t)}, \quad (2)$$

где  $Q(t) = Q(T) = \frac{1}{\beta} \int_{T_0}^{\infty} I(T) dT$  — заряд, оставшийся в электрете к момен-

ту времени  $t$ . Величина  $Q(T)$  может быть найдена по площади, ограниченной кривой тока ТСД и осью абсцисс в интервале от  $T$  до  $\infty$ . По значениям  $\tau$  нетрудно рассчитать температурную зависимость проводимости  $\gamma_2 = f(T)$ .

Расчеты были проведены нами с использованием ЭВМ. Блок-схема расчетов представлена на рис. 2.

Для оценки воспроизводимости расчетных результатов решались прямая и обратная задачи в применении к одному образцу. Из кривой тока ТСД рассчитывалась температурная зависимость проводимости  $\gamma_2 = f(T)$ , а затем из полученной зависимости  $\gamma_2 = f(T)$  вновь рассчитывалась

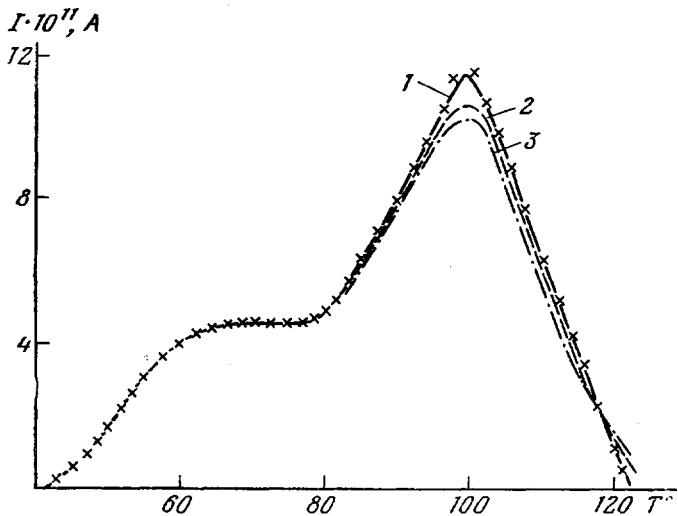


Рис. 3. Сопоставление исходной экспериментальной кривой тока ТСД (1) с кривыми, полученными в результате расчета с различными шагами  $\Delta T=2$  (крестики), 6 (2) и  $10^\circ$  (3)

кривая тока ТСД. Установлено, что полученная путем такого расчета кривая тока ТСД качественно совпадает с исходной экспериментальной кривой. Расчеты проводились с различной величиной шага  $\Delta T$  (2,6 или  $10^\circ$ ).

Результаты сопоставлений, приведенные на рис. 3, показывают, что расчетная кривая, соответствующая шагу  $\Delta T=2^\circ$ , достаточно хорошо совпадает с исходной, тогда как для  $\Delta T=6$  и  $10^\circ$  наблюдаются заметные расхождения, что можно объяснить возрастанием ошибки в определении заряда  $Q(T)$  с увеличением шага  $\Delta T$ . При расчете нецелесообразно выбирать шаг, меньший  $2^\circ$ , так как перепад температур по толщине диэлектрика может достигать  $2^\circ$ .

Предложенная методика расчета применялась нами для оценки роли проводимости в процессе релаксации заряда в кореноэлектретах, изготовленных из конденсаторных пленок ПЭТФ до и после действия на них  $\gamma$ -излучения  $^{60}\text{Co}$  при дозе 1 Мрад. С этой целью нами исследовались токи ТСД и температурная зависимость проводимости при скорости нагревания 1 град/мин. С помощью полученных экспериментальных зависимостей решались прямая и обратная задачи: расчет спектров ТСД по зависимости  $\gamma_2=f(T)$  и расчет зависимости  $\gamma_2=f(T)$  по спектрам ТСД. Для каждого из случаев использовалась выборка из нескольких образцов.

На рис. 4, а представлены расчетные и экспериментальные зависимости спектров токов ТДС, на рис. 5, а – зависимости проводимости от температуры для исходной пленки ПЭТФ, а на рис. 4, б и 5, б – аналогичные данные для облученной пленки ПЭТФ.

Как видно из этих рисунков, расчетные и экспериментально измеренные кривые тока ТСД и  $\gamma_2=f(T)$  достаточно хорошо согласуются друг с другом. Это свидетельствует о том, что релаксация электретного заряда при нагревании образцов с постоянной скоростью в исходных и облученных пленках ПЭТФ обусловлена собственной проводимостью диэлектрика, которая существенно возрастает при действии ионизирующего излучения. Увеличение проводимости приводит к изменению температурной зависимости  $\gamma_2=f(T)$ , к изменению формы кривой и к смещению максимумов спектра токов ТСД в область более низких температур.

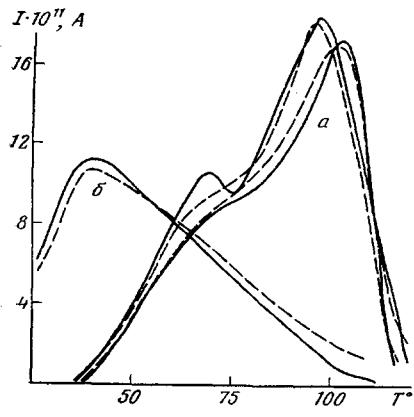


Рис. 4

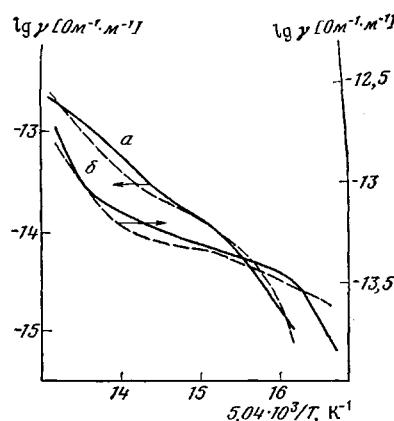


Рис. 5

Рис. 4. Расчетные (штриховые) и экспериментальные (сплошные линии) зависимости спектров токов ТСД для исходной (а) и облученной (б) пленок ПЭТФ. Максимальный разброс расчетных и экспериментальных зависимостей токов ТСД характеризуется двумя приведенными на рис. 4, а предельно отличающимися друг от друга кривыми

Рис. 5. Расчетные (штриховые) и экспериментальные (сплошные линии) температурные зависимости проводимости для исходной (а) и облученной (б) пленок ПЭТФ

Предложенная методика исследования и расчета может быть использована для уточнения механизма релаксации электретного заряда в различных диэлектриках. Метод токов ТСД применим для бесконтактного изучения температурной зависимости проводимости (без нанесения электродов на диэлектрик), если релаксация заряда обусловлена токами собственной проводимости диэлектрика.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борисова М. Э., Койков С. Н. Изв. вузов. Физика, 1979, № 1, с. 74.

Ленинградский политехнический институт  
им. М. И. Калинина

Поступила в редакцию  
10.VIII.1981