

электролита, что приводит к радиальному росту и в дальнейшем перекрытию зародышей новой фазы.

Полученные в настоящей работе результаты следует учитывать при разработке методов прогнозирования и повышения надежности технических устройств на основе оксидной изоляции.

Авторы выражают признательность Ф. А. Чудновскому и М. Н. Шлепакову за помощь в работе и полезные обсуждения.

Литература

- [1] Vermilyea D. A. J. Electrochem. Soc., 1955, v. 102, N 5, p. 207—215.
- [2] Vermilyea D. A. J. Electrochem. Soc., 1957, v. 104, N 9, p. 542—546.
- [3] Юнг Л. Анодные оксидные пленки. Л.: Энергия, 1967. 232 с.
- [4] Jackson H. F. Applied Electrochemistry, 1973, N 3, p. 91—98.
- [5] Brettle J., Jackson N. F. Electrocomponent Science and Technology, 1977, v. 3, p. 233—246.
- [6] Дьяконов М. Н., Карпухина Л. Г., Муждаба В. М. и др. Электронная техника. Сер. 5. Радиодетали и радиокомпоненты, 1980, в. 3 (40), с. 17—21.
- [7] Дьяконов И. Н., Костельова Л. А., Новотельнова А. В., Ханин С. Д. Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, № 5, с. 274—277.
- [8] Аlesiina Л. А., Костельова Л. А., Малиненко В. П. и др. ЖТФ, 1986, т. 56, № 11, с. 2253—2255.
- [9] Псаев В. А., Барабощкин А. Н. Электрохимия, 1985, т. 21, № 7, с. 960—965.
- [10] Бокий Л. П., Данилюк Ю. Л., Дьяконов М. Н. и др. Электрохимия, 1979, т. 15, № 9, с. 1307—1312.
- [11] Дьяконов М. Н., Муждаба В. М., Ханин С. Д. Обзоры по электронной технике. Сер. 5. Радиодетали и радиокомпоненты, 1982, № 3 (866), с. 32—33.
- [12] Коварский А. П., Новотельнова А. В., Ханин С. Д., Чернюс Н. Л. ЖТФ, 1988, т. 58, № 2, с. 445—448.
- [13] Дель Ока С. Дж., Пулфри Д. Л., Янг Л. Физика тонких пленок. М.: Мир, 1973, т. 4, с. 7—96.

Поступило в Редакцию

20 июля 1987 г.

В окончательной редакции

4 ноября 1987 г.

КИНЕТИКА СВЕТОРАССЕЯНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ПЛЕНОК ПОЛИЭТИЛЕНА

М. К. Керимов, Б. А. Сулейманов

Известно, что структурная и динамическая неоднородности полимерных материалов обуславливают сложный характер накопления и распределения в них объемного заряда под действием приложенного электрического напряжения. Если в плотноупакованных областях осуществляется перенос заряда по какому-либо из механизмов, то в разупорядоченных и дефектных областях полимера происходит накопление объемного заряда. В таких заряженных областях могут появляться механические напряжения и деформации [1], которые, в частности, проявляются в известном электропластическом эффекте в полимерах [2].

В работах [3, 4] методом светорассеяния было установлено образование механических трещин и полостей в массивных полимерных образцах при длительном приложении сильного электрического поля. Однако условия эксперимента в этих работах были таковы, что однозначно установить, являются ли трещины следствием объемного заряжения или действия сильного электрического поля, авторам не удалось.

Для выяснения динамики развития микрополостей и механизма трещинообразования в полимерах под действием приложенного электрического поля нами использована методика светорассеяния применительно к пленочным образцам. В качестве источника света использовался аргоновый лазер. Регистрация производилась в режиме счета фотонов с применением аналого-цифрового преобразователя и ЦПУ. Исследовались пленки полиэтилена (ПЭ) высокого давления толщиной 80 мкм, на обе поверхности которых методом вакуумного

испарения наносились полупрозрачные металлические контакты из алюминия или меди. На образцы подавалось постоянное либо переменное напряжение амплитудой от 1 до 4 кВ.

После включения электрического напряжения заметное изменение полного рассеяния света обнаруживалось при прямом прохождении света, тогда как наблюдение рассеяния под различными углами света было затруднено из-за металлизированных слоев, состоящих из перекрывающихся островков, независимым образом отражающих и поглощающих рассеянный на неоднородностях свет. В этой связи рассеяние в полимерах в основном было исследовано по интенсивности прямо проходящего через пленку света.

Интенсивность излучения I_s после прохождения через образец толщиной l дается соотношением [5]

$$\ln \frac{I_s}{I_0} = -9\pi^2 \left(\frac{n_0^2 - n^2}{2n_0^2 + n^2} \right)^2 \frac{\bar{v}^2 l}{\lambda^4} C, \quad (1)$$

где I_0 — интенсивность падающего луча; n_0, n — показатели преломления полости и полимера соответственно; C — концентрация центров рассеяния со средним объемом \bar{v} .

Если концентрация центров рассеяния постоянна, то выражение (1) можно переписать в виде

$$\ln \frac{I_s}{I_0} = -\text{const } \bar{v}^2.$$

В этом случае относительное изменение интенсивности при включении электрического поля будет связано с изменением объема полости соотношением

$$\ln \left(\frac{I'_s}{I_s} \right) / \ln \left(\frac{I_s}{I_0} \right) = \frac{\bar{v}'^2}{\bar{v}^2} - 1, \quad (2)$$

где I'_s и v' — интенсивность прошедшего излучения и средний объем центра рассеяния после включения напряжения.

При условии малых деформаций, когда $\bar{v}' \approx \bar{v}$, выражение (2) можно переписать в виде

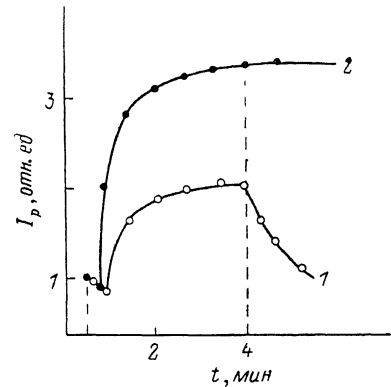
$$\ln \left(\frac{I'_s}{I_s} \right) / \ln \left(\frac{I_s}{I_0} \right) = \frac{2\Delta\bar{v}}{\bar{v}}. \quad (3)$$

Последнее соотношение позволяет определить приращение среднего объема рассеивающих центров по изменению интенсивности светорассеяния в образце при воздействии электрического поля. На рисунке приведена кинетика светорассеяния при включении и отключении постоянного напряжения 3 кВ. Видно, что с включением напряжения интенсивность прошедшего через пленку излучения уменьшается до некоторого минимального значения и после отключения поля восстанавливается до исходного значения. Причем времена достижения максимального рассеяния и восстановления до исходной величины, как и характер временной зависимости, совпадают с кинетикой зарядки и разрядки образца. Отмеченный факт свидетельствует о роли объемного заряда в кинетике светорассеяния пленок ПЭ, а обратимый характер изменения светорассеяния при приложении и снятии электрического поля указывает, что рост рассеяния обусловлен не возрастанием числа микрополостей, а увеличением их размеров под действием поля.

Из рисунка найдено относительное увеличение среднего объема микрополостей для пленок ПЭ $\bar{v}'/\bar{v} = 1.25$, причем реальное увеличение объема микрополостей должно быть еще больше, если учесть, что изменению подвергается только та часть микропустот, которые находятся в приэлектродной области.

При повышении напряженности электрического поля выше некоторого значения E_k происходит качественное изменение характера светорассеяния, заключающееся в скачкообразном изменении величины I'_s . При этом изменение светорассеяния становится необратимым, т. е. после отключения поля уровень рассеиваемого света не восстанавливается до исходного значения. Очевидно, это является следствием необратимого роста размеров микрополостей и возникновения новых трещин в режиме $E \geq E_k$.

Совокупность полученных результатов позволяет предложить следующую схему влияния электрического поля на светорассеяние в пленках ПЭ.



Зависимость интенсивности рассеянного света $I_p = I_0 - I_s$ в ПЭ от длительности воздействия и величины приложенного электрического поля.

1 — $E = 3.7 \cdot 10^7$, 2 — $5 \cdot 10^7$ В/м. Пунктиром показаны моменты включения и отключения поля.

При напряженности поля $E < E_k$ электроны, инжектированные в электродах, в процессе диффузии захватываются различного рода структурными неоднородностями преимущественно в виде микрополостей. В результате стенки микрополостей оказываются заряженными и будут расширяться из-за действующих между зарядами электростатических сил. Относительная объемная деформация полости в результате заряжения ее стенок в соответствии с теорией электрострикции определяется соотношением [8]

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\beta d}{2\pi} \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial d} \right) \sigma^2, \quad (4)$$

где $\beta = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP}$ — сжимаемость, d — плотность материала, σ — поверхностная плотность заряда, ϵ — диэлектрическая проницаемость. Для органических жидкостей и полимеров $(\beta d/2\pi) (\partial \epsilon/\partial d) \approx 0.1 \text{ м}^4 \cdot \text{Кл}^{-2}$.

Поскольку относительная деформация $\Delta v/v$ в экспериментах достигала ≈ 0.25 , из формулы (4) находим $\sigma \approx 0.12 \text{ Кл} \cdot \text{м}^{-2}$. Полученная оценка согласуется с величиной заряда, локализованного в микрополостях, которая была определена ранее в [7]. По-видимому, зарядка—разрядка таких полостей и как следствие, изменение их размеров являются причиной наблюдаемого изменения светорассеяния при электрическом нагружении пленки ПЭ.

С повышением напряженности внешнего электрического поля происходит необратимый рост, слияние микрополостей, а также возникновение новых в результате микропробоев, развивающихся в объеме полимера под действием сильного электрического поля [8, 9].

Литература

- [1] Громов В. В. Электрический заряд в облученных материалах. М.: Энергоиздат, 1982.
- [2] Куличенко А. И., Смирнов Б. И. ФТТ, 1984, т. 26, № 3, с. 933—936.
- [3] Ушаков В. Я., Вазов В. Ф., Робежко А. Л. и др. Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, № 3, с. 155—158.
- [4] Ушаков В. Я., Робежко А. Л., Ефремов Г. В. ФТТ, 1984, т. 26, № 1, с. 45—49.
- [5] Вендерский В. А., Бескровный В. М., Мисочко Е. Я. и др. Химическая физика, 1984, т. 3, № 8, с. 1172—1183.
- [6] Желудев И. С., Фотченков А. А. Кристаллография, 1958, т. 3, № 3, с. 308—312.
- [7] Керимов М. К., Сулейманов Б. А., Мансимов С. А. и др. Высокомолекулярное соединение, 1985, т. 27, № 7, с. 1549—1551.
- [8] Гезалов Х. Б., Керимов М. К. ЖТФ, 1982, т. 52, № 7, с. 1386—1388.
- [9] Керимов М. К., Сулейманов Б. А., Гезалов Х. Б. ЖТФ, 1984, т. 54, № 7, с. 1407—1408.

Сектор радиационных исследований
АН АзССР
Баку

Поступило в Редакцию
20 июля 1987 г.

В окончательной редакции
20 октября 1987 г.

ДИНАМИКА ПОГЛОЩАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

Р. А. Лукоцен, А. М. Трофименко

Проведено экспериментальное исследование интегральной (за импульс) поглощательной способности A_1 образцов из циркониевой бронзы (БРЦР) в зависимости от плотности поглощенной лазерной энергии при отсутствии плазмообразования на поверхности. Исследования проведены на стенде «Солярис» [1] в двух спектральных диапазонах: 5—6 и 10.6 мкм соответственно с длительностью импульсов 140 и 20 мкс и фронтом 10 и 3 мкс. По форме импульс СО лазера был близок к треугольному, а СО₂ лазера к колоколообразному. В качестве образцов были использованы полированные по оптическому классу методом свободного абразива элементы из БРЦР площадью 4 см² и толщиной 1 см. Перед экспериментом проводилась очистка поверхности этанолом. При измерении поглощения калориметрическим методом [2] использовался датчик температуры с чувствительностью 3.7 мВ/К, который приклеивался с тыльной стороны образца. По величине сигнала с датчика определялись нагрев образца и