

- [2] Делоне Н.Б., Федоров М.В. // УФН. 1979. Т. 127. В. 4. С. 651-681.
- [3] Бегеров И.М., Елецкий А.В., Смирнов Б.М. // УФН. 1988. Т. 155. В. 2. С. 265-298.
- [4] Зеленский А.Н., Коханский С.А., Полушкин В.Г., Вишневский К.Н. // Письма в ЖЭТФ. 1986. Т. 44. В. 1. С. 21-23.
- [5] Mori Y., Takagi A., Ikegami K. et al. // Nucl. Instr. and Methods. 1988. V. A 268. N 1. P. 270-272.
- [6] Смирнов Б.М. Возбужденные атомы. М.: Энергоиздат, 1982. С. 231.

Институт ядерных исследований
АН СССР

Поступило в Редакцию
16 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 18
11

26 сентября 1989 г.

ЭФФЕКТ МОДИФИКАЦИИ СПЕКТРА ПОВЕРХНОСТНЫХ ЛОВУШЕК ПРИ ТРИБОАКТИВАЦИИ НЕПОЛЯРНЫХ ФТОРПОЛИМЕРОВ

А.А. Рычков, В.В. Швец

В работах [1-3] установлена и обоснована возможность управления параметрами энергетического спектра поверхностных ловушек в электретах из неполярных фторполимерных пленок посредством обработки образцов в водородсодержащих средах. Эффект достигался вследствие адсорбции водорода и гидроксильных групп, ответственных за формирование в спектре поверхностных состояний глубоких ловушек. В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований, направленных на поиск новых альтернативных путей управления параметрами спектра поверхностных ловушек в электретах. Показано, что эффект модификации спектра поверхностных ловушек может быть получен при трибоактивации неполярных фторполимеров в режиме сухого и жидкостного трения с рядом контртел.

Исследовались пленки политетрафторэтилена (ПТФЭ) марки Ф4-ЭО и сополимера тетрафторэтилена с гексафторпропиленом (ПТФЭ-ГФП) марки Ф4-МБ2. Образцы толщиной 10 мкм и диаметром 36 мм, металлизированные с одной стороны алюминием, заряжались в коронном разряде при комнатной температуре до потенциала $U_0 = 200$ В. Перед зарядкой часть образцов подвергалась в течение 100 с трибообработке при помощи машины трения, основным элементом которой является цилиндрический вращающийся вал (контртело), находящийся во фракционном контакте с исследуемой пленкой. Конструкция машины трения позволяла варьировать материал вала,

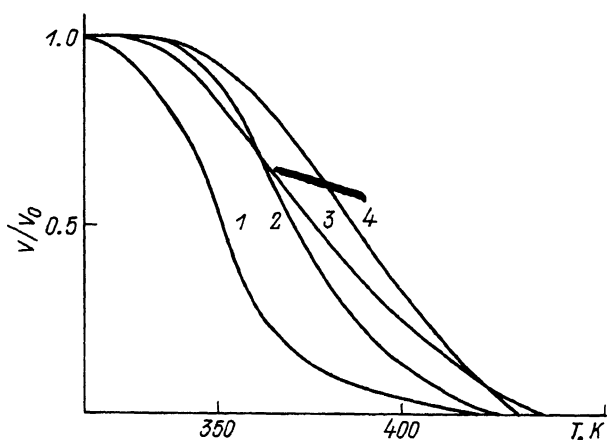


Рис. 1. ТСРПП короноэлектретов из пленки П(ТФЭ - ГФП), поверхность которых подвергалась трибоактивации в режиме сухого трения: 1 - поверхность необрабатывалась, 2 - ватой, 3 - пенополиуретаном, 4 - алюминием.

подавать в зону трения различные жидкости, а также изменять скорость скольжения вала по отношению к пленке.

Об изменениях в спектре поверхностных ловушек, вызванных трибообработкой пленок, судили на основании данных, полученных методом термостимулированной релаксации поверхностного потен-

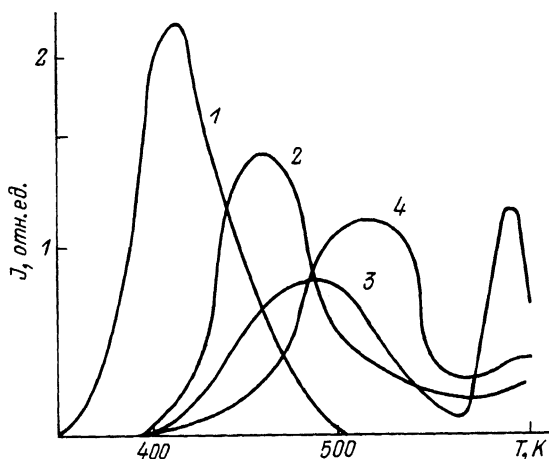


Рис. 2. Токи ТСД короноэлектретов из пленок ПТФЭ в зависимости от условий трибоактивации поверхности: 1 - поверхность не подвергалась обработке; 2 - трибоактивация в режиме сухого трения (контртело - вата); 3 - трибоактивация в среде H_2O (контртело - вата); 4 - трибоактивация в режиме сухого трения (контртело - алюминий).

циала (ТСРПП) [3] и методом токов термостимулированной деполаризации (ТСД) [2]. Соответствующие экспериментальные результаты, полученные в режиме линейного нагрева со скоростью 5К/мин, представлены на рис. 1 и 2.

Видно, что релаксация положительного гомозаряда электретов, подвергавшихся предварительной трибообработке в режиме сухого трения, развивается в более высокотемпературной области по сравнению с контрольными образцами, что, согласно [1, 3], свидетельствует о вовлечении в процесс релаксации зарядов, захваченных более глубокими ловушками.

Доля глубоких ловушек в спектре трибоактивированных пленок зависит от материала контртела. Однако четкой корреляции величины обнаруженного эффекта с положением материала контртела в трибоэлектрическом ряду, а также с величиной поверхностной плотности заряда, сообщаемого фторполимеру при трибообработке (обычно $2.7 \cdot 10^{-4} - 3.5 \cdot 10^{-4}$ Кл/м²), установить не удалось.

Отмеченные факты говорят о том, что трибообработка, скорее всего, не прямо, а косвенно определяет наблюдаемые изменения в спектре ловушек. Например, за счет стимулирования адсорбционной активности трибоактивированной поверхности [4]. Интересно отметить, что наиболее сильное модифицирующее влияние на спектр поверхностных ловушек в исследуемых фторполимерах оказывает трибообработка алюминиевым контртелом. В данном случае важный вклад в механизм трибоактивации, видимо, вносит явление фрикционного переноса [5] алюминия на поверхность полимера. Действительно, в пользу этого предположения говорит тот факт, что высота барьера на контакте фторполимер-алюминий, по данным [1], может превосходить энергетическую глубину ловушек, характерную для фторполимеров. Поэтому появление в спектре поверхностных состояний фторполимеров, подвергшихся трибоактивации алюминием, групп наиболее глубоких ловушек может быть обусловлено внедрением алюминия в приповерхностный слой полимера за счет фрикционного переноса.

Учитывая результаты предыдущих исследований [2], нами были выполнены эксперименты по исследованию влияния предварительной трибоактивации поверхности неполярных фторполимеров в режиме жидкостного трения на процесс переноса заряда в коронозлектретах.

В этом случае при трибоактивации в зону трения пары контртелопolyмер подавались водородсодержащие жидкости. Таким образом, поверхность образцов подвергалась одновременно модифицирующему действию водородсодержащих сред [2], а также трибоактивации. Было обнаружено, что в результате такого комбинированного воздействия у коронозлектретов происходит гораздо более существенная перестройка спектра поверхностных ловушек, чем это имеет место при действии каждого из модифицирующих факторов в отдельности. Например, это хорошо видно из сравнения кривых токов ТСД (рис. 2) коронозлектретов из ПТФЗ. Если у коронозлектретов с поверхностью, трибоактивированной в режиме сухого трения (кривая 2), релаксация заряда в основном определяется ловушками,

ответственными за максимум тока ТСД при температуре 460 К, то у коронозелектретов с поверхностью, трибоактивированной в среде H_2O (кривая 3), релаксация заряда происходит в более высокой температурной области с максимумами токов ТСД при температурах 490 и 590 К.

Следует подчеркнуть, что обнаруженный эффект модификации спектра поверхностных ловушек при трибоактивации фторполимеров не сводится только к формированию новых групп глубоких ловушек для положительного заряда. Кроме этого, как видно из представленных данных, в результате трибообработки из процесса релаксации „выключается“ определенная доля мелких поверхностных ловушек. На эксперименте это проявляется в смещении начальных участков релаксационных кривых в область высоких температур у трибоактивированных образцов по сравнению с контрольными. Причем величина смещения не зависит от материала контртела и условий трибоактивации. Это дает основание сделать предположение о том, что мелкие ловушки во фторполимерах обусловлены поверхностными загрязнениями, а их механическое удаление при трибообработке определяет вид низкоэнергетической части спектра пленок с трибоактивированной поверхностью.

Таким образом, исходя из результатов исследований, можно отметить, что обнаруженный эффект модификации спектра поверхностных ловушек в неполярных фторполимерах скорее всего протекает по адсорбционному механизму [2]. Трибообработка способствует удалению загрязнений, дополнительной адсорбции водородсодержащих групп, например за счет создания более развитой поверхности и обрыва межмолекулярных связей [4, 5].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б о й ц о в В.Г., Р ы ч к о в А.А. // ЖТФ. 1985. Т. 55. С. 881-886.
- [2] Б о й ц о в В.Г., Р ы ч к о в А.А. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. С. 98-102.
- [3] Б о й ц о в В.Г., Р ы ч к о в А.А., Ш в е ц В.В. // ЖТФ. 1986. Т. 56. С. 2265-2267.
- [4] П о в с т у г а р В.И., К о д о л о в В.И., М и х а й л о в а С.С. Структура и свойства поверхности полимерных материалов. М.: Химия, 1988. 192 с.
- [5] П и н ч у к Р.Г., П л е с к а ч е в с к и й Ю.М. // Трение и износ. 1986. Т. 7. С. 907-918.

Ленинградский государственный педагогический институт
им. А.И. Герцена

Поступило в Редакцию
29 декабря 1988 г.
В окончательной редакции
11 апреля 1989 г.