

## **Нанокompозитные короноэлектреты на основе полиэтилена высокой плотности и диоксида кремния**

**М. М. Кулиев, А. М. Магеррамов, Р. С. Исмаилова, А. А. Набиев**

---

Изучено методом токов термостимулированной деполяризации (ТСД) влияние сферических частиц нанодисперсного диоксида кремния в аморфной фазе ( $\alpha$ -модификация  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>) размером 20 нм и поглощенной дозы ( $D$ )  $\gamma$ -облучения на объемно-зарядовые процессы и стабильность электретного состояния в короноэлектретах полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) и нанокompозитов ПЭВП +  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> на его основе, полученных путем введения в объем ПЭВП наполнителя  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>. Данные термостимулированной спектроскопии показывают, что релаксация электретного состояния в исследуемых образцах обусловлена их объемной проводимостью и освобождением носителей из ловушек. Сделано предположение, что сравнительно высокая стабильность электретного состояния в необлученных композитах ПЭВП + 1 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> обусловлена, во-первых, повышением степени кристалличности (понижением объемной проводимости) полиэтилена в составе композитной пленки, во-вторых, внутренним электрическим полем носителей заряда на приповерхностных ловушках, обеспечивающих низкую скорость релаксации зарядов. А ухудшение электретных свойств в предварительно  $\gamma$ -облученных образцах связана с их повышенной электропроводностью и высокой скоростью релаксации заряда.

**Ключевые слова:** полиэтилен высокой плотности,  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>, термостимулированная деполяризация, релаксация заряда, короноэлектрет, нанокompозит, стабильность.

---

### **Введение**

Исходя из способности макромолекул к различным реакциям, в результате которых происходит обмен информацией и энергией с окружающей средой, развит целый ряд нетривиальных направлений использования полимеров. На их основе изготавливают активные элементы для различного рода преобразователей, генераторов, фильтров, аккумуляторов, их широко применяют в медицинской промышленности, для записи и считывания информации [1,2] и т.д. Следовательно, синтез и исследование свойств “функциональных” полимеров и нанокompозитов — одна из важнейших областей развития современной науки о полимерах. Успехи в этой области в определенной степени связаны с созданием стабильных электретов на основе полимерных композиционных материалов, так как низкая стабильность электретов из чистого полиолефинов существенно ограничивает их применение. Дешевизна и распространенность полиолефинов делает их перспективными материалами для матриц компо-

зиционных электретов. Придание полиэтилену высоких электретных характеристик можно достичь наполнением его высокодисперсными наполнителями (пьезокерамика, полупроводники, оксиды металлов и т.д.) [3 – 7], при котором возникают новые структурные элементы, способные служить ловушками носителей зарядов: граница раздела фаз, разрыхленный слой полимера вблизи поверхности наполнителя. Наполнители оказывают значительное влияние на подвижность различных кинетических единиц полимера и на спектры времени его релаксации. В присутствии наполнителей в полиэтилене образуются (по данным ИК-спектроскопии) карбоксильные, карбонильные, пероксидные и гидропероксидные группы. Все они полярные, имеют большое сродство к электрону и могут служить энергетическими ловушками зарядов.

Полимеры нашли также широкое применение в космической индустрии в качестве защитной оболочки высоковольтных изоляционных материалов в системах электропитания спутников и космических кораблей, а также на атомных электростанциях, где

всегда присутствуют разного рода излучения. В связи с этим представляет интерес изучение влияния воздействия ионизирующего  $\gamma$ -излучения на выше-названные процессы в полимерах и композиционных электретах на их основе. В частности, представляет интерес исследования зависимости величины и процесса накопления объемного заряда от условий облучения и электрофизических свойств облучаемых материалов [8], а также роли нанодисперсных наполнителей в процессах накопления и релаксации зарядов.

Цель работы — исследование влияния нанодисперсного аморфного диоксида кремния  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> и  $\gamma$ -облучения на релаксацию заряда и стабильность электретного состояния ПЭВП.

### Экспериментальная часть

В качестве полимерной матрицы использовали порошкообразный ПЭВП марки 20806-024, со средней молекулярной массой 95000, степенью кристалличности 52 %, температурой плавления 130 °С и плотностью 958 кг/м<sup>3</sup>. Выбор ПЭВП обусловлен дешевизной, технологичностью, распространенностью и хорошими диэлектрическими свойствами. В качестве наполнителя применяли аморфный диоксид кремния  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> (Sky Spring Nanomaterials, Inc. Nauston, USA) с размером сферических частиц 20 нм, удельной поверхностью  $S = 160\text{ м}^2/\text{г}$  и плотностью 2,65 г/см<sup>3</sup>.

Образцы готовили по порошковой технологии, которая включает в себя следующую технологическую схему:

- получение путем просеивания через сита порошка ПЭВП с размерами не более 300 мкм;
- смешивание в фарфоровой ступке порошков ПЭВП и  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>;
- прессование гомогенной смеси порошков компонентов в гидравлическом прессе с нагреваемыми плитами при давлении 15 МПа с выдержкой при температуре 150 °С в течение 5 мин. И получение образцов композитов в виде плоскопараллельных пластин диаметром 40 мм и толщиной 80 – 100 мкм;
- впрессование тонкой алюминиевой фольги толщиной 7 мкм на одну из рабочих поверхностей и резкое охлаждение образца в смеси вода – лед (режим закалки) для обеспечения надежного электрического контакта между образцом и заземленным электродом.

При получении образцов варьировали концентрация исходных компонентов. Все указанные в работе концентрации объемные. Режим изготовления композита позволяет получить повторяющиеся

электрофизические параметры для основного количества образцов при одной и той же концентрации. Образцы, которые имели параметры, отличные от параметров основной группы (количества их было невелико), не учитывали при анализе. Поляризацию образцов со стороны неметаллизированной поверхности осуществляли в поле коронного разряда с напряжением поляризации 6 кВ посредством системы металлических игл, расположенных на расстоянии 1 см от поверхности образца (время зарядки 300 с). Сразу же после поляризации для измерения токов термостимулированной деполяризации (ТСД) образцов их помещали в специальную экранированную и заземленную обогреваемую измерительную ячейку типа “сэндвич” с прижимными электродами из нержавеющей стали. Центровку электродов обеспечивали специальной оправкой. Электроды соединяли с электрометрическим усилителем У5-11, к выходу которого подключали двухкоординатный самописец “Endim 620.02”, на котором записывали изменение тока в зависимости от температуры. Запись токов ТСД в диапазоне температур 20 – 140 °С проводили при линейном росте температуры со скоростью 2,5 град./мин. Температуру образца контролировали с помощью термомпары медь-константан.

### Результаты и обсуждение

Процессы, связанные с образованием, накоплением и перераспределением зарядов в ПЭВП изучали методом ТСД. Результаты исследований токов ТСД короноэлектретов из пленок ПЭВП до и после модификации  $\gamma$ -излучением приведены на рис. 1 – 3.

На рис. 1 приведены спектры токов ТСД для ненаполненного (кривая 1) и наполненных  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> (кривая 2 – 4) короноэлектретов пленок ПЭВП. Видно, что спектр тока ТСД короноэлектрета ненаполненного ПЭВП имеет один пик при температуре  $114 \pm 2$  °С, для которого характерно отсутствие низкотемпературного максимума и то, что в интервале 20 – 100 °С токи ТСД близки к нулю. Так как, на этих образцах ток ТСД наблюдается в одной области, то можно предположить, что электреты из ПЭВП являются моноэлектретами с электронной объёмно-зарядовой поляризацией и ТСД связан с объемными ловушками, обусловленными свойствами полимерного материала. Согласно данным дериватографических исследований [9], температура  $114 \pm 2$  °С соответствует предплавлению кристаллитов ПЭВП, следовательно, при указанных условиях эксперимента захват зарядов (электронов) происходит на ловушки границы раздела аморфных и кристаллических фаз

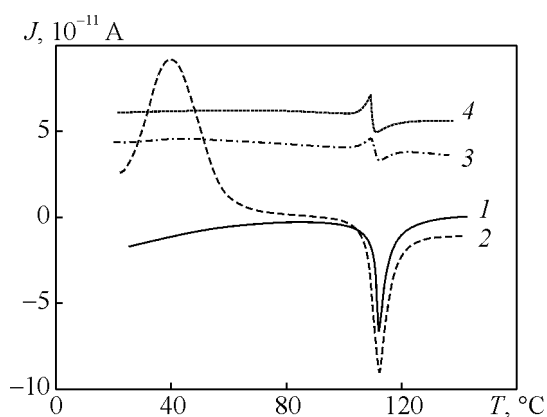


Рис. 1. Кривые ТСТ для ПЭВП (1); нанокompозиций ПЭВП с добавками SiO<sub>2</sub>: 2 – 1 об. %; 3 – 3 об. %; 4 – 5 об. %.

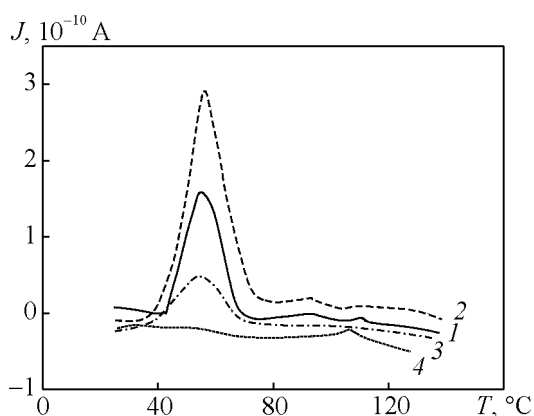


Рис. 2. Кривые ТСТ предварительно  $\gamma$ -облученных ( $D = 300$  кГр) образцов ПЭВП (1) и нанокompозиции ПЭВП с добавками SiO<sub>2</sub>: 2 – 1 об. %; 3 – 3 об. %; 4 – 5 об. %, после их электретирирования в коронном разряде.

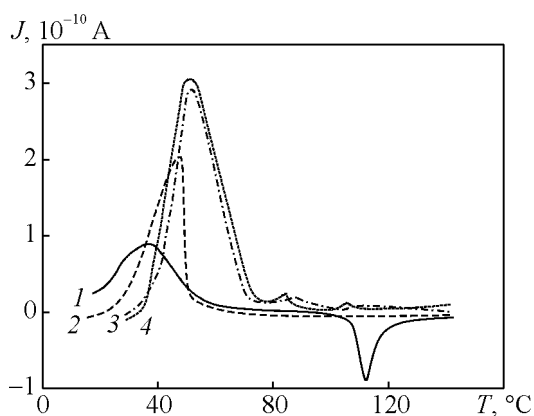


Рис. 3. Кривые ТСТ для ПЭВП + 1 об. % SiO<sub>2</sub> облученных дозой, кГр: 1 – 0; 2 – 100; 3 – 300; 4 – 500.

(эффект Максвелла-Вагнера) и плавление кристаллитов регистрируется на спектре в виде “высокотемпературного” пика [10].

Спектры токов ТСД исследованных композитов отличаются от спектра ПЭВП (рис. 1). На спектре тока ТСД композитов ПЭВП + 1 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> появляется низкотемпературный пик достаточно большой амплитуды и ширины при температуре  $47 \pm 2$  °С, а при температуре 100 °С происходит инверсия знака тока. При температуре > 100 °С спектры ПЭВП и ПЭВП + 1 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> практически совпадают, что свидетельствует об одинаковом характере распределения электронных ловушек границы раздела фаз. Высокотемпературные максимумы при температуре 114 °С можно интерпретировать как релаксацию объемных зарядов [11]. Появление низкотемпературного максимума на спектре композита свидетельствует о том, что воздействие частиц высокой энергии зоны коронного разряда сопровождается также деструкцией макромолекул ПЭВП в составе композита и образованием вторичных электронов и дырок. Спектры токов ТСД композитов с концентрацией 3 и 5%  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> имеют сходный характер, для них характерно отсутствие низкотемпературного максимума (происходит подавление этого пика), появление слабых инверсионных пиков в районе 115 °С и то, что в интервале 20 – 110 °С токи ТСД практически равны нулю.

На рис. 2 приведены спектры токов ТСД облученных  $\gamma$ -квантами <sup>60</sup>Со ( $D = 300$  кГр) на воздухе, а затем поляризованных в условиях действия коронного разряда. Видно, что после  $\gamma$ -облучения на спектре чистого ПЭВП и композитов с концентрацией 1 и 3 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> наблюдается максимум в районе 53 °С, а максимумы при 114 °С практически исчезают (происходит заметное подавление этого максимума). Характер спектров свидетельствует о том, что эти электреты являются моноэлектретами и токи ТСД в основном связаны с приповерхностными низкоэнергетическими ловушками. Следовательно,  $\gamma$ -излучение приводит к разрушению глубоких объемных ловушек границы раздела аморфных и кристаллических фаз и ухудшению электретных свойств композитов. Об этом свидетельствует и спектр тока ТСД, полученный для композита ПЭВП + 5 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> (рис. 2, кривая 4, оба пика практически отсутствуют).

Результаты исследований влияния поглощенной дозы (0 – 500 кГр)  $\gamma$ -излучения на спектр токов ТСД нанокompозитов ПЭВП + 1 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> представлены на рис. 3. Спектр ТСД необлученных короноэлектретов ПЭВП + 1 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> обнаруживает два максимума при соответствующих температурах

Характеристики короноэлектретов композита ПЭВП + 1 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>

Образец ПЭВП + 1 % $\alpha$ -SiO <sub>2</sub> , обработка	Доза, D, кГр	Температура максимума, T <sub>m</sub> , °C	Энергия активация, U, эВ	Заряд, Q, Кл
Необлученный, корона	0	47 (I пик)	0,0175	3,14·10 <sup>-8</sup>
		114 (II пик)	0,45	1,24·10 <sup>-8</sup>
γ-облученный	100	47	0,025	1,86·10 <sup>-8</sup>
	300	55	0,052	3,46·10 <sup>-8</sup>
	500	55	0,037	2,97·10 <sup>-8</sup>

(кривая 1). Из рис. 3 видно, что предварительное γ-облучение заметно влияет на спектры токов ТСД (кривые 2–4) этой композитной среды: происходит заметное подавление высокотемпературного (115 °C) пика, увеличение амплитуды низкотемпературного (47 °C) пика и его сдвиг в сторону высоких температур приблизительно на 10 °C с увеличением дозы поглощения до 500 кГр. Характер токов ТСД, предварительно γ-облученных пленок еще раз доказывает, что после γ-облучения инжектированные из зоны короны заряды, в основном, накапливаются в их поверхностных слоях. Характеристики нанокомпозитных короноэлектретов ПЭВП + 1 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> приведены в таблице.

Из рис. 3 и таблицы следует, что короноэлектретные образцы из необлученных (D = 0) композиций ПЭВП + 1 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> являются более стабильными. Так как, стабильность электретов определяется количеством носителей заряда в глубоких объемных ловушках, то низкая стабильность γ-облученных образцов короноэлектретов может быть связана с их повышенной проводимостью и высокой скоростью релаксации заряда.

Сравнительно высокая стабильность электретного состояния в необлученных композитах ПЭВП + 1 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> вероятно обусловлена, во-первых, повышением степени кристалличности (понижением объемной проводимости) полиэтилена в составе композитной пленки [5], во-вторых, внутренним электрическим полем носителей заряда на приповерхностных ловушках, обеспечивающих низкую скорость релаксации зарядов. А ухудшение электретных свойств в предварительно γ-облученных образцах связана с их повышенной электропроводностью и высокой скоростью релаксации заряда.

## Выводы

1. Установлено, что введение 1 % сферических наночастиц аморфного диоксида кремния  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> диаметром 20 нм в ПЭВП повышает стабильность электретного состояния композитных материалов на его основе.

2. Показано, что предварительное γ-облучение ухудшает электретные свойства композитной среды ПЭВП +  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>.

## Литература

- Исэ Н., Акитомо Т., Табуси И., Тамасу А., Имоса Э С., Икехара С. Полимеры специального назначения. Ред. Н.Исэ, И.Табуси. М.: Мир., 1983, 208 с.
- Лаврентьев В.В., Шияневский Я.В. Применение полимерных пленок для записи и длительного хранения информации. Пласт.массы, 2009, № 2, с. 55 – 56.
- Еремеев Д.А., Галиханов М.Ф., Дебердеев Р.Я. Изучение композиционных короноэлектретов на основе полиэтилена и белой сажи. Материалы X Всероссийской конференции “Структура и динамика молекулярных систем, Яльчик – 2003”. Яльчик – Казань, 30 июня – 5 июля 2003 года, ч. 1, с. 122 – 125.
- Осина Ю.К., Борисова М.Э., Галиханов М.Ф. Влияние добавок технического углерода на стабильность электретного состояния полиэтилена высокого давления. Научно-тех.вед.Санкт-Петербургского гос. политехн. университета. 2013, № 4-1, т. 183, с. 151 – 157.
- Гороховатский Ю.А., Тазенков Б.А. и др. О природе электретного состояния в композитных пленках ПЭВД с нанодисперсными наполнителями  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>. Известия РГПУ им.А.И.Герцена. 2009, № 95, с. 63 – 67.
- Гороховатский Ю.А., Гороховатский И.Ю. и др. Исследование стабильности электретного состояния в композитных пленках на основе ПЭВД с наноразмерными включениями аэросила. Матер. XI межд. конф. “Физика диэлектриков”, СПб, 2008, т. 2, с. 346 – 349.
- Смирнов А.В., Федоров Б.А., Темнов Д.Э., Фомичева Е.Е. Структурные и электретные свойства полипропиленов с различным содержанием аморфного диоксида кремния. Наносистемы: физика, химия, математика, 2012, № 3 (2), с. 65 – 72.
- Магеррамов А.М. Структурное и радиационное модифицирование электретных, пьезоэлектрических свойств полимерных композитов. Баку, Элм, 2001, 327 с.
- Eyubova N.A., Kuliyeв M.M., Ismayilova R.S., Abdullayev A.P. Derivatigraphic studies of polyethylene containing a dispersed semiconductor. Sur.Engineering and Applied Electrochemistry, 2011, v. 47, no. 3, p. 253 – 255.
- Kuliyeв M.M., Ismayilova R.S. The gamma-radiation effect on the spectrum of thermally stimulated current in

- polyethylene of high density. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2010, v. 46, no. 3, p. 447 – 451.
11. Sessler G.M. Distribution and transport of charge in polymers. Electrets. California: Laplacion Press, V. 2, 1999, 80 p.
- ### References
1. Ise N., Akitomo T., Tabushi I., Tamashu A., Imosha E.S., Ikehara S. *Polimery spetsialnogo naznacheniya* [Speciality polymers]. Moscow, Mir Publ., 1983, 204 p.
  2. Lavrentyev V. V., Shiyanevsky Ya.V. Application of polymeric films for record and long storage of information. *Plasticheskie massy — International polymer science and technology (RAPRA Technology LTD./translations for the rubber and plastics industries)* ISSN : 0307-174X., 2009, no. 2, pp. 55 – 56.
  3. Yeremeyev D. A., Galikhanov M. F., Deberdeev R.Ya. *Izucheniye kompozitsionnykh koronoelektretov na osnove polietilena i bely sazhi* [Study of composite corono-electrets on the basis of polyethylene and white soot]. Proc. X All-Russia conf. Yalchik – 2003, Structure and dynamics of molecular system, Kazan, KGU Publ., 2003, 974 p. (pp. 122 – 125).
  4. Osina J.K., Borisova M. E., Galikhanov M. F. Vilyaniye dobavok tekhnicheskogo ugleroda na stabilnost elektret-nogo sostoyaniya polietilena vysokogo davleniya [Effect of carbon black on stability of the electret state in high density polyethylene]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU — St-Petersburg State polytechnical university journal (in Rus)*, 2013, iss. 4 – 1 (183), pp. 151 – 157.
  5. Gorokhovatsky Yu.A., Tazenkov B.A., Chistyakova. O prirode elektretnogo sostoyaniya v kompozitnykh plenkakh PEVD s nanodispersnyimi napolnitelyami  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> [On the nature of the electret state in composite low-density films of polyethylene with nanodispersed SiO<sub>2</sub> fillers]. *Izvestiya RGPU im. A.I. Gertsena — Izvestia: Herzen University Journal of Humanities and Sciences (in Rus)*, 2009, no. 95, pp. 63 – 67.
  6. Gorokhovatsky Yu.A., Gorokhovatsky I.Yu. etc. A stability study of the electret state in composite films based on LDPE with nanoscale inclusions aeroforce. Mater. XI Int. conf. Physics of dielectrics, SPb, 2008, vol. 2, pp. 346-349
  7. Smirnov A.V., Fedorov B. A., Temnov D.E., Fomicheva E.E. Strukturnye i elektretnye svoystva polipropilena s razlichnym soderzhaniyem amorfnoho dioksida kremniya [Structural and electret properties of polypropylene with various content of amorphous dioxide of silicon]. *Nanosistemy: fizika, khimiya, matematika — Nanosystems: physics, chemistry, mathematics (in Rus)*, 2012, vol. 3, no. 2, pp. 65 – 72.
  8. Magerramov A.M. *Strukturnoye i radiatsionnoye modifitsirovaniye elektretnykh, pyzeoelektricheskikh svoystv polimernykh kompozitov* [Structural and radiation modifying of electret, piezoelectric properties of polymeric composites]. Baku, Azerbaijan, Elm. Publ., 2001, 327 p.
  9. Eyubova N.A., Kuliyyev M.M., Ismayilova R.S., Abdullayev A.P. Derivatigraphic studies of polyethylene containing a dispersed semiconductor. Sur. Engineering and Applied Electrochemistry, 2011, vol. 47, no. 3, pp. 253 – 255.
  10. Kuliyyev M.M., Ismayilova R.S. The gamma-radiation effect on the spectrum of thermally stimulated current in polyethylene of high density. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2010, vol. 46, no. 3, pp. 447 – 451.
  11. Sessler G.M. Distribution and transport of charge in polymers. Electrets, Laplacion Press, California, 1999, vol. 2, pp. 1 – 80.

*Статья поступила в редакцию 23.04.2015 г.*

**Кулиев Мусафир Мазахир оглы** — Институт Радиационных Проблем АН Азербайджана (AZ 1143, Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. Б.Вагабзаде, 9), кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, специалист по диэлектрической и термоактивационной спектроскопии и радиационному материаловедению. E-mail: musafir\_g@rambler.ru

**Магerramов Ариф Муса оглы** — Институт Радиационных Проблем АН Азербайджана (AZ 1143, Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. Б.Вагабзаде, 9), доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией, специалист по диэлектрической и термоактивационной спектроскопии, физической химии и радиационному материаловедению. E-mail: arifm50@yandex.ru

**Исмайилова Рафига Солтан кызы** — Институт Радиационных Проблем АН Азербайджана (AZ 1143, Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. Б.Вагабзаде, 9), кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, специалист по диэлектрической и термоактивационной спектроскопии и радиационному материаловедению. E-mail: rafiq55@rambler.ru

*Набиев Асиф Araslu — Институт Радиационных Проблем АН Азербайджана (AZ 1143, Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. Б.Вагабзаде, 9), аспирант, специализируется в области диэлектрической спектроскопии и радиационному материаловедению, младший научный сотрудник. E-mail: asif\_nebi@mail.ru.*

## **Nanocomposite coronoelectrets on the base of high density polyethylene and silicon dioxide**

**M. M. Guliyev, A. M. Maharramov, R. S. Ismayilova, A. Nabiyeu**

The article is devoted to the study of the effect on the spherical particles of nanodisperse silicon dioxide in amorphous phase ( $\alpha$ -modification  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>) 20 nm sizes and the absorbed dose ( $D$ ) of  $\gamma$ -irradiation on volume-charge processes and stability of the electret state in the coronoelectrets high density polyethylene (HDPE) and HDPE +  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> nanocomposites on its basis, obtained by introduction of  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> filler into HDPE volume by the method of thermostimulated depolarization currents (TSD). Data of thermostimulated spectroscopy show that the relaxation of the electret state in the studied samples is caused by their volume conductivity and release of carriers from traps. We assume that comparative high stability of the electret state in unirradiated HDPE + 1 %  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> composites is caused, firstly, by increase in crystallinity degree (decrease in volume conductivity) of polyethylene as a part of composite films, secondly, internal electric field of charge carriers on the near-surface traps providing low speed of charges relaxation. And deterioration of electret properties in previously  $\gamma$ -irradiated samples is connected with their increased electroconductivity and high speed of charge relaxation.

**Keywords:** polyethylene of high density,  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>, thermostimulated depolarization, charge relaxation, coronoelectret, nanocomposite, stability.

---

*Guliyev Musafir Mazahir oqlu — Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences (B. Vahabzadeh st. 9, Baku, Azerbaijan 1143), PhD (phys-math), associate professor, leading researcher, expert of dielectric and thermo activation spectroscopy and radiation materials science. E-mail: musafir\_g@rambler.ru.*

*Maharramov Arif Musa oqlu — Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences (B. Vahabzadeh st. 9, Baku, Azerbaijan 1143), DrSci (phys-math), professor, manager of laboratory, expert of dielectric and thermo activation spectroscopy, physical chemistry and radiation materials science. E-mail: arifm50@yandex.ru.*

*Ismayilova Rafiq Soltan kizi — Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences (B. Vahabzadeh st. 9, Baku, Azerbaijan 1143), PhD (phys-math), associate professor, leading researcher, expert of dielectric and thermo activation spectroscopy and radiation materials science. E-mail: rafiq55@rambler.ru.*

*Nabiyeu Asif Arasli oqlu — Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences (B. Vahabzadeh st. 9, Baku, Azerbaijan 1143), graduate student, junior researcher, specializes in area of dielectric spectroscopy and radiation materials science. E-mail: asif\_nebi@mail.ru.*