

PACS: 61.80.Ed; 72.80Tm; 72.22Ej

γ- RADİASIYA İLƏ MODİFİKASIYA EDİLMİŞ POLİETİLEN/ZrO₂ NANOKOMPOZİTLƏRİN YÜK HALI VƏ RELAKSASIYA PROSESLƏRİ

A.A.NƏBİYEV^{*,**}, A.M.MƏHƏRRƏMOV^{*}, M.A.NURİYEV^{*}

*AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu**
AZ 1143, B.Vahabzadə 9, Bakı, Azərbaycan
*Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutu***
Joliot-Küri 6, 141980 Dubna, Rusiya
asifnebi@jinr.ru

Daxil olub: 07.01.2019
Çapa verilib: 01.03.2019

REFERAT

İşdə termostimullaşdırılmış depolyarizasiya metodu ilə γ-şüallarla modifikasiya edilmiş YSPE+ZrO₂ nanokompozitlərində elektrik yük halı və onun relaksasiya prosesləri öyrənilmişdir. Ölçmələr həm təmiz yüksək sıxlıqlı polietilen (YSPE), həm də müxtəlif həcmi faizlərdə (1-20%), sferik nano-ZrO₂ zərrəcikləri ilə alınmış polimer kompozit nümunələr üçün 25-165°C temperatur intervalında aparılmışdır. Nanokompozitlərin TSD spektrlərinin müqayisəli analizindən müəyyən edilmişdir ki, spektrlərdə meydana çıxan depolyarizasiya maksimumları həm matrisada, həm də PE-ZrO₂ nanokompozit nümunələrində fazalararası sərhəddə stabilləşmiş yüklərin müvafiq temperatur oblastlarında relaksasiyası nəticəsində baş verir.

Açar sözlər: Yüksək sıxlıqlı polietilen (YSPE), sirkonium dioksid (ZrO₂), termo stimullaşdırılmış depolyarizasiya (TSD), nanokompozit, γ-şüalanma

Müəyyən edilmişdir ki, doldurucu n-ZrO₂ nanohissəciklərinin miqdarı 3÷10% təşkil etdikdə elektret yüklərinin relaksasiya prosesləri zəifləyir.

GİRİŞ

Son illər dünyada kosmik materialşünaslıqla məşğul olan aparıcı elmi tədqiqat mərkəzlərinin sayı durmadan artır. Bu xüsusi ilə nanokuruluşlu və xüsusi elektrofiziki xassəli, radiasiyaya davamlı materialların sənayenin müxtəlif sahələrində geniş miqyaslı tətbiq imkanları, eləcə də müasir sənaye və texnologiyada yeni tip materiallara olan tələbatın zəruriliyindən irəli gəlir. Müəlliflər [1-5] qeyd edirlər ki, polimerlərə qeyri-üzvi sferik nanohissəciklərin əlavə edilməsi polimer matrisanın fiziki xassələrinin modifikasiyasına və tətbiqlərinə geniş şərait yaradır. Bu tip materialların sənaye və elektronikanın müxtəlif sahələrində geniş tətbiq imkanları vardır.

Polimer makromolekullarının əmələ gətirdiyi zəncirlərə nano hissəciklərin təsirinin araşdırılması (zəncirlərin genişlənməsi və dinamikası) həm nəzəri, həm də eksperimental nöqtəyi nəzərdən böyük maraq kəsb edir. Aparılan tədqiqatlar

sübut edir ki, nanodoldurucular polimerin mexaniki xassələrini, dağılmaya davamlılığını yüksəldir, dielektrik xüsusiyyətlərini dəyişərək elektrik möhkəmliyini artırır. Ümumiyyətlə polimer matrisaya əlavə edilmiş doldurucu əksər hallarda onun fiziki və mexaniki xüsusiyyətlərinin yaxşılaşmasına, eləcə də alınan kompozitlərin daha ucuz və səmərəli başa gəlməsinə səbəb olur [6-9].

Son dövrlərin tədqiqatları göstərir ki, yüksək sıxlıqlı polietilen (YSPE) əsaslı nanokompozitlər izolyasiya materialları olaraq mükəmməl termiki emal olunma və yüksək dielektrik, maqnitodielektrik xüsusiyyətlərinə görə geniş tətbiq imkanlarına malikdir [9-12].

Polimer və doldurucu zərrəcikləri arasındakı fazalararası sərhəd təbəqəsi (interface region) polimer kompozit materiallarının dielektrik xüsusiyyətlərinin dəyişdirilməsində vacib rol oynayır. Polimer-oksid dolduruculu nanokompozitlər yüksək dielektrik nüfuzluqlu materiallar olmaqla elektron cihazları sənayesində perspektivli mate-

riallar hesab olunur. Müəyyən edilmişdir ki, polimer kompozitlərdə fazalararası təbəqənin xassələri doldurucunun növündən, formasından, ölçüsündən və s kimi faktorlardan asılıdır [13,15-19]. Kompozitin xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılması nanozərrəciklərin polimer matrisa ilə yaratdıqları fazalararası təbəqənin effektiv səthindən bilavasitə asılıdır. Eyni tərkibli mikro ölçülü doldurucu ilə müqayisədə nano ölçülü doldurucu ilə alınmış kompozitlərdə effektiv səth daha böyük olur. Buna görə də nanokompozitlərdə Van-Der-Waals qarşılıqlı təsir qüvvələrinin təsiri daha güclü olur və çox yaxşı fiziki, kimyəvi, mexaniki və optik xassələr göstərir. Makro sistemlərdə isə molekullar arası məsafə nano zərrəciklər arasındakı məsafəyə nəzərən dəfələrlə böyük olduğuna görə Van-Der-Waals qarşılıqlı təsir qüvvələrinin təsiri çox kiçik olur [17-20].

Polimer nanokompozitlərin yük halında dəyişikliklərin tədqiqatı taclı boşalmanın və γ -şüalanmanın təsiri ilə həyata keçirmək olar. Yük halının öyrənilməsinə kompozitlərin termostimullandırılmış depolyarizasiya (TSD) cərəyanları spektrinin qeyd edilməsi metodu və bu spektrlərin müqayisəli analizi ilə həyata keçirilir [18-22]. Bu metod polimer nanokompozitlərində molekulyar zəncirlərin dinamikasının və qeyri-stabil yüklərin relaksasiya proseslərinin araşdırılmasında xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Təqdim etdiyimiz işin əsas məqsədi γ -şüalla modifikasiya olunmuş YSPE+n-ZrO₂ nanokompozitlərin yük halını tədqiq etməklə polimer matrisada və polimer-doldurucu fazalararası sərhəddə gedən relaksasiya proseslərinin araşdırılması olmuşdur.

Qeyd etmək lazımdır ki, nanoquruluşlu polimer kompozit materialların γ -şüalanma və kosmik faktorlarla modifikasiya olunması xüsusiyyətləri az tədqiq olunmuşdur.

EKSPERİMENT

Tədqiqat obyektini olaraq, polimer matrisa qismində molekulyar kütləsi $95 \cdot 10^3$ g/mol, kristallıq dərəcəsi 60%, ərimə temperaturu 130°C, sıxlığı 0,958 g/cm³ olan 20806-024 markalı yüksək sıxlıqlı polietilen (YSPE) istifadə edilmişdir. Doldurucu maddə kimi xüsusi səth sahəsi $S=35$ m²/g, sıxlığı 5.68 g/sm³, ölçüləri 20÷30 nm və təmizlik

dərəcəsi 99,9% olan sferik formalı n-ZrO₂ (Sky Spring Nanomaterials, Inc. Houston, USA) nano zərrəcikləri götürülmüşdür [19].

YSPE/n-ZrO₂ nanokompozit nümunələr komponentlərin müəyyən həcm nisbətində diyircəkli laboratoriya dəyirmanında qarışığının hidravlik presdə $P=15$ MPa təzyiq və $T=438$ K temperaturda 5 dəqiqə müddətində termik preslənərək, su-buz qarışığında ani olaraq soyudulması metodu ilə hazırlanmışdır [22]. Alınmış kompozit nümunələrinin qalınlığı 80÷120 μ m və diametrləri 50 mm ölçüdə olmuşdur.

Termodepolyarizasiya cərəyanı spektrləri U5-11 markalı elektrometrik gücləndirici və ikikoordinatlı "Endim 620.02" markalı potensiometri əsasında yığılmış qurğunun köməyi ilə çəkilmişdir. Kompozit nümunələrinin polyarizasiyası metal iynə-müstəvi sistemində mənfi polyarlıqlı tacşəkili boşalma qurğusunda $U=-7$ kV gərginlikdə $t=5$ dəqiqə müddətində aparılmışdır, elektrodlar arasında məsafə $h=10$ mm olmuşdur. Polyarizasiyadan dərhal sonra, 25÷170°C temperatur aralığında nümunələrin termodepolyarizasiya cərəyanı spektrləri çəkilmişdir. Eksperimentlər zamanı temperaturun xətti olaraq artma sürəti $\beta=4$ dər./dəq. olmuşdur. TSD cərəyanı spektrlərindən energetik parametrlərin hesablanması "başlangıç meyl" (Qarlik-Qibson metodu) üsulundan istifadə olunmaqla həyata keçirilmişdir [19-21].

TSD spektrlərində müşahidə olunan hər bir relaksasiya prosesinə uyğun maksimumların aktivləşmə enerjisi E_a Qarlik-Qibson üsulu ilə hesablanmışdır

$$E_a = \frac{0.086(\ln I_2 - \ln I_1)}{10^3/T_1 - 10^3/T_2},$$

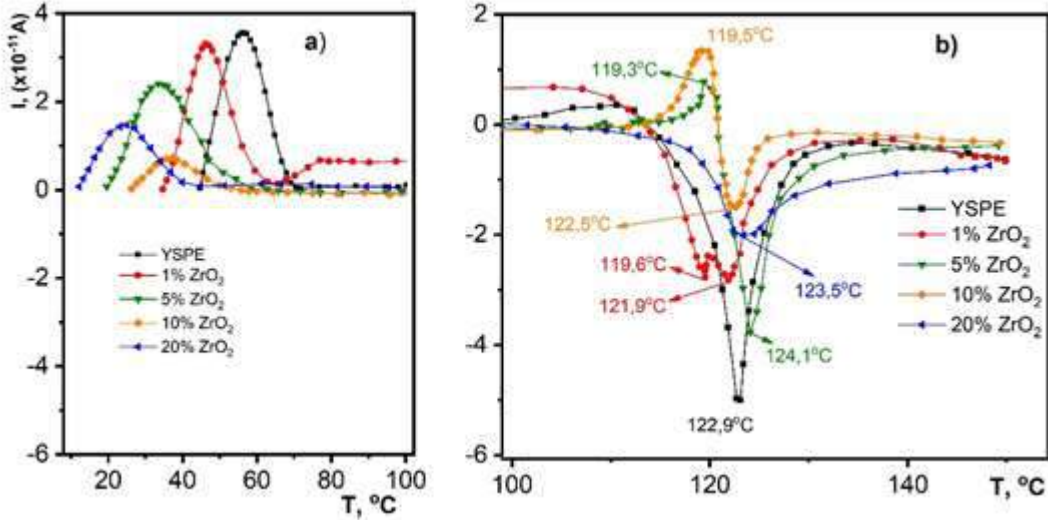
burada E_a - aktivləşmə enerjisi, eV; T- mütləq temperatur, K; I - cərəyan, A; K isə k Bolsman sabitinin elementar yükə olan nisbətini ifadə edən əmsaldır: $K=k/e=0.086$ eV/K [19-21].

NƏTİCƏ VƏ MÜZAKİRƏLƏR

TSD cərəyanlarının qeyd edilməsi metodu dielektrik materiallarda yük tutma mərkəzlərinə məxsus parametrlərin enerji səviyyələrinin müəyyən edilməsində, elektretlərdə polyarizasiyadan sonra effektiv səth potensialını yaradan

yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının n və yaşama müddətlərinin τ təyində, eyni zamanda, relaksasiya proseslərinin və müddətinin (τ_0) tədqiqi üçün olduqca səmərəli analitik metodlardan biridir [18-

19]. Aşağıda YSPE və müxtəlif həcm nisbətlərində alınmış YSPE+%ZrO₂ polimer nanokompozitləri üçün TSD spektrləri göstərilmişdir (Şəkil 1).



Şəkil 1

Təmiz YSPE və YSPE+%ZrO₂ polimer nanokompozitlərində termo stimullaşdırılmış depolyarizasiya (TSD) spektrləri: a - spektrin 20÷100°C oblastı; b - spektrin 100÷140°C oblastı.

Şəkil 1(a) - polimer və nanokompozit nümunələrinə məxsus TSD spektrlərinin 20÷100°C oblastını əks etdirir. Şəkil 1. b-də isə spektrin 100÷150°C oblastının böyüdülmüş təsviri göstərilmişdir. Göründüyü kimi təmiz polietiləndə və onun əsasında nanokompozitlərin TSD spektrlərində 20÷80°C və 110÷140°C temperatur intervalında iki maksimum müşahidə edilir. Güman edirik ki, 20÷80°C intervalında müşahidə olunan maksimumlar tacşəkilli boşalma ilə polarizasiya zamanı aşağı enerjili səthi tələlərdə lokallaşmış yükdaşıyıcıların termik aktivləşməsi hesabına yaranır. Yuxarı temperatur intervalında (110÷140°C) yaranan maksimumlar isə polimer matrisada stabilləşən həcmi yüklərin və polimer-ZrO₂ fazalararası sərhəd təbəqəsində lokallaşmış yükdaşıyıcıların termik aktivləşməsi hesabına yaranır. Spektrlərin 20-80°C oblastında, göründüyü kimi, doldurucunun miqdarı artdıqca maksimumlar otaq temperaturuna doğru sürüşür, yəni relaksasion təbiətlidir. Cədvəl 1-dən də göründüyü kimi doldurucunun miqdarı artdıqca səthi tələlərdə tutulan yüklərin miqdarı 6 dəfəyə yaxın azalır, 11.24nKl-dan 1.88nKl-a qədər düşür. Analoji azalma prosesi

yüklərin tələlərdən boşalmasına sərf olunan aktivləşmə enerjisində də müşahidə olunur. Bu prosesi nanokompozitlərdə doldurucunun miqdarı artdıqca polimer matrisanın amorf fazasının artması ilə izah etmək olar. Polimer matrisada amorflaşmanın artması apardığımız başqa ekperimentlərdə də öz əksini tapmışdır. Belə ki, DSC (Differential scanning calorimetry) metodu ilə apardığımız təcrübələr polietilenin kristallıq dərəcəsinin doldurucun miqdarı artdıqca 59.6%-dən 26.5%-ə qədər azaldığını göstərmişdir. Rentgen difraksiyası metodu (XRD) isə doldurucunun miqdarı artdıqca polietilenin kristal fazasına məxsus intensivliyin 9 dəfəyə qədər azaldığını göstərmişdir [13]. Amorf fazanın artması fazalararası effektiv səthin kəskin azalmasına gətirib çıxarır. Spektrlərin yüksək temperatur (110÷140°C) oblastında həm polimerin həm də, kompozitin TSD spektrlərində müxtəlif intensivlikli maksimumlar müşahidə olunur. 110°C ətrafında yaranan geniş maksimum güman edirik ki, amorf fazada stabilləşmiş həcmi yüklərin termik relaksasiyasının nəticəsidir. Qeyd edək ki, təmiz polietiləndə 122.9°C temperaturdakı maksimum polimerin kristallıq və amorf fazalararası

sərhəddinə yığılan yüklərin hesabına yaranır. Bu temperatur intervalında 1 və 3% doldurucu ilə alınmış kompozitlərdə 119.93°C və 121.9°C temperaturlarda dublet piklər əmələ gəlir. Bu kompozitlərdə polimerin miqdarı və kristallik fazası yüksək olduğundan dubletin birinci maksimumunu matrisaya, ikinci maksimumunu isə polimer-ZrO₂ sərhəddinə aid etmək olar. Güman edirik ki, bu dubletin birinci piki polimer matrisanın kristal və amorf fazalararası sərhəddində, ikinci piki isə doldurucu ilə polimer sərhəddində üç fazalı üst molekulyar quruluş təsəvvürlərinə görə [14,22] fazalararası təbəqədə toplanan yüklərin hesabına yaranır. Bu piklərin birincisi doldurucunun 5 və 10% miqdarında olan kompozitlərdə əks polyarlığa keçir və spektrdə

inversiya müşahidə edilir. Bu prosesi fərqli təbiətə malik iki dielektrik materialın fazalararası sərhəddində baş verən Makswell-Vagner effekti ilə izah etmək daha məqsədə uyğundur. Spektrlərdən də görüldüyü kimi bu temperatur intervalında şərti müsbət tərəfdə geniş zolaqlı, aşağı intensivlikli maksimum və davamı olaraq şərti mənfi istiqamətdə böyük intensivlikli maksimum müşahidə olunur. Bu maksimumlardan aşağı temperaturuluşu amorf fazada həcmi yüklərin yaratdığı maksimum, yuxarı temperaturuluşu isə polietilenin kristallik fazası ilə amorf fazası arasında fazalararası təbəqədə yığılmış Makswell-Vagner polyarizasiyasına məxsus yüklərin relaksasiyasıdır [18,22].

Cədvəl 1

Təmiz YSPE və YSPE+%ZrO₂ polimer nanokompozitlərinin TSD spektrlərindən hesablanmış xarakterik parametrlərin nəticələri. Burada E_a- aktivləşmə enerjisi, Q-elektrik yükü, T- isə piklərin temperaturudur.

| Doldurucu miqdarı, % | I pik | | II pik | | III pik | | Pik temperaturu, °C | | |
|----------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|---------|---------------------|---------------------|--------|---------|
| | Q, nKl | E _a , eV | Q, nKl | E _a , eV | Q, nKl | E _a , eV | I pik | II pik | III pik |
| 0 | 11.24 | 0.144 | 0.058 | 0.318 | 3.5 | | 56.14 | 111.35 | 122.87 |
| 1 | 9.8 | 0.0102 | 2.25 | 0.495 | 2.74 | | 46.07 | 107.36 | 121.88 |
| 3 | 7.2 | 0.0105 | 5.64 | 0.119 | 1.74 | | 43.22 | 97 | 122.38 |
| 5 | 6.9 | 0.634 | 0.1 | 0.65 | 3.4 | | 33.19 | 119.61 | 124.1 |
| 10 | 3.52 | 0.292 | 1.3 | 0.159 | 0.076 | | 37.39 | 119.28 | 122.64 |
| 20 | 1.88 | - | - | 0.0164 | 3.9 | | 25.28 | - | 124.06 |

Doldurucunun 5 və 10% miqdarında alınmış nanokompozitlərin TSD spektrində 119÷121°C temperatur intervalında inversiya müşahidə olunur (Şəkil 1(b)). Hesab edirik ki, inversiya amorf fazada yaranan tələlərdə stabilləşən yüklərin relaksasiyasının nəticəsidir. Güman edirik ki, doldurucunun miqdarı artdıqca, yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, kristallik fazanın həcmi azalır və bu da matrisaya məxsus fazalararası sərhəddin effektiv səthinin sahəsinin azalmasına səbəb olur və nəticə olaraq amorf fazada stabilləşmiş yüklərin daha parlaq üzə çıxmasının şahid oluruq. Buna görə də, YSPE+5%ZrO₂ kompozitlərində inversiya maksimumunun yaranmasını və YSPE+10%ZrO₂ kompozitlərində artmasını müşahidə edirik.

Doldurucunun sonrakı artımı doldurucu hissəciklərinin nano ölçülü agregatlar əmələ gətirməsi və amorf fazanın ümumilikdə azalması hesabına effektiv səthin sahəsinin azalması və TSD spek-

trində yüksək temperaturlu maksimumun intensivliyinin azalması ilə nəticələnir. Eyni zamanda güman edirik ki, kompozitdə doldurucunun miqdarı müəyyən həddi (həcmə ~5%) keçdikdən sonra amorf fazanın həcmi artır və bu artım geniş enerji spektrinə malik tələlərin konsentrasiyasının azalması və inversiya yaranmasına səbəb olan, nisbətən yüksək enerjili tələlərin konsentrasiyasının artması ilə nəticələnir.

TSD spektrlərindən polimer və kompozitin xarakterik parametrləri, aktivləşmə enerjisi və elektrik yükünün miqdarı hesablanmış və alınan nəticələr cədvəl 1.-də öz əksini tapmışdır.

Təmiz YSPE və YSPE+%ZrO₂ polimer nanokompozitlərin TSD spektrlərində yüksək temperaturlu maksimuma uyğun relaksasiya prosesinə məxsus parametrlər Cədvəl 2-də verilmişdir. Cədvəldə verilmiş parametrlərdən əsas maraq kəsb edən uyğun maksimuma məxsus prosesin

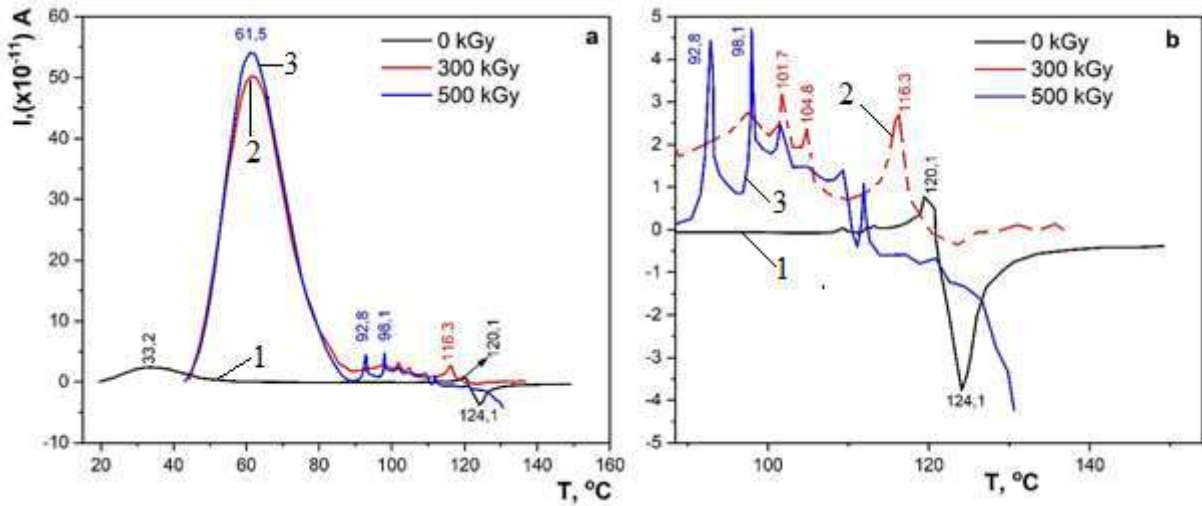
relaksasiya müddətidir. Cədvəldə həm maksimumun temperaturuna (T_m), həm də istismar temperaturuna ($T_{ist.}$) uyğun hesablanmış relaksasiya müddəti təqdim edilib. Göründüyü kimi, yüksək yaşama müddəti YSPE+5%ZrO₂ kompozitində məxsusdur ki, bu da bu tərkibli kompozitdə yüklərin nisbətən zəif relaksasiya prosesindən xəbər

verir. Hesab edirik ki, YSPE+5%ZrO₂ kompozitinin yaşama müddətinin yüksək olması doldurucunun matrisada bircins paylanmasının nəticəsi olub, polimer doldurucu fazalararası sərhəddinə məxsus effektiv səthin bu kompozitdə optimal qiyməti ilə əlaqədardır.

Cədvəl 2

Təmiz YSPE və YSPE+%ZrO₂ polimer nanokompozitlərin TSD spektrlərindən yüksəktemperaturlu maksimuma görə hesablanmış xarakterik relaksasiya parametrləri. Hesablama [25] sayılı mənbəyə əsasən aparılmışdır, burada Q - T_m maksimumundan sonrakı S sahəsinə məxsus elektrik yükü, I_m - maksimuma uyğun T_m temperaturunda cərəyan, τ_s və $lg\tau_{eks.}$ - uyğun olaraq maksimumun temperaturuna (T_m) və istismar temperaturuna ($T_{ist.}$) uyğun hesablanmış relaksasiya müddətidir.

| Φ , həcmi% | S, sm ² | Q, 10 ⁻¹¹ Kl | Q/S _{el.} , 10 ⁻¹¹ Kl/sm ² | I_m , 10 ⁻¹¹ A | τ_s , san. | T_m , K | $lg\tau_{eks.}$, san. |
|-----------------|--------------------|-------------------------|---|-----------------------------|-----------------|-----------|------------------------|
| 0 | 3,8 | 240 | 34,28 | 5,0 | 48,4 | 396 | 0,54 sut |
| 1 | 3,5 | 165 | 23,57 | 2,8 | 59 | 393 | 6,81 sut. |
| 5 | 7,0 | 757,3 | 108,18 | 3,75 | 201,9 | 397 | 96,3 sut. |
| 10 | 2,66 | 58,0 | 8,28 | 1,5 | 38,7 | 395 | 4,3 sut. |
| 20 | 2,74 | 66,27 | 9,47 | 2,0 | 33,15 | 396 | 3,74 sut. |



Şəkil 2

YSPE+5%ZrO₂ (a, b) və YSPE+10%ZrO₂ (c, d) polimer nanokompozitlərində qamma şüalandırılmadan əvvəl və sonra termo stimullaşdırılmış depolyarizasiya (TSD) cərəyanı spektrləri: 1- 0kGy, 2 - 300kGy, 3 -500kGy.

YSPE+5%ZrO₂ və YSPE+10%ZrO₂ polimer nanokompozitlərinin γ - şüalandırılmadan əvvəl və sonra çəkilmiş TSD spektrləri Şəkil 2-də verilmişdir. Spektrlərdən göründüyü kimi həcmcə 5% və 10%ZrO₂ ilə alınmış nümunələrin şüalanmadan əvvəl və sonra çəkilmiş TSD spektrlərini müqayisə etsək, aşağı temperatur oblastında (20÷80°C) yaranan maksimumların şüalanmış nümunələrdə bir tərtib yüksək olduğunu görürük. Bunun səbəbi qamma şüalanmadan sonra nümunələrdə

ilkən nümunələrlə müqayisədə nisbətən yüksək enerjili tələlərin konsentrasiyasının artmasıdır. Yuxarı temperatur oblastında (80÷150°C) isə yaranan maksimumların intensivlikləri isə həm ilkin həm də şüalanmış nümunələr üçün təqribən eyni tərtibdədir. Spektrlərdən görünür ki, yuxarı temperatur oblastında inversiya aradan qalxmışdır. 90÷130°C temperatur intervalında yaranan maksimumlar güman ki, qamma şüalanmanın matrisada yaratdığı defektlərdə poliarizasiyadan sonra

stabilləşmiş yüklərin termik relaksasiyasının nəticəsidir [24].

Beləliklə müəyyən edilmişdir ki, nanokompozitlərin TSD spektrlərində meydana çıxan depolyarizasiya pikləri həm yüksək sıxlıqlı polietilenin amorf və kristal fazaları sərhəddində dərin tələlərdə, həm də polimer-ZrO₂ fazalararası sərhəddində polyarlaşma zamanı yığılan yüklərin müvafiq temperaturalarda relaksasiyası nəticəsində baş verir. YSPE+ZrO₂ kompozitlərinin qamma şüaları ilə modifikasiyası TSD spektrlərindən göründüyü kimi, yuxarı temperaturlar oblastında bir sıra yeni maksimumların yaranması ilə nəticələnir.

NƏTİCƏLƏR

• YSPE və YSPE+ZrO₂ nanokompozitlərinin TSD spektrlərinin müqayisəli analizindən müəyyən edilmişdir ki, spektrlərdə meydana çıxan depolyarizasiya maksimumları tacşəkilli polyarlaşmadan sonra matrisada toplanmış həcmi yüklərlə yanaşı, YSPE-nin kristallik və amorf fazalararası sərhəddində və YSPE+ZrO₂ fazalararası sərhəddində stabilləşmiş yüklərin müvafiq temperaturalarda relaksasiyası nəticəsində baş verir.

• Qamma şüalanmanın təsirindən sonra aşağı temperaturlu maksimumun bir tərtib yüksək olması və yüksək temperaturalara tərəf sürüşməsi yeni, nisbətən yüksək enerjili və konsentrasiyalı səth defektlərinin yaranmasından xəbər verir.

• 300kGy və 500kGy şüalandırılmış, həcmcə 5 və 10%-li YSPE+ZrO₂ kompozitlərinin TSD spektrlərinin müqayisəli analizi 300 kGy dozada işlənmiş kompozitlərin temperatura daha dayanıqlı olduğunu üzə çıxarmışdır. Bu 300kGy dozaya qədər tikilmə prosesinin üstünlük təşkil etməsi ilə izah oluna bilər.

• YSPE və YSPE+ZrO₂ nanokompozitlərinin TSD spektrlərindən həm yüksəktemperaturlu maksimumun temperaturuna (T_m), həm də istismar temperaturuna (T_{ist.}) uyğun hesablanmış relaksasiya müddətinin YSPE+5%ZrO₂ kompoziti üçün yüksək olması doldurucunun matrisada bircins paylanmasının nəticəsi olub, kristallaşa bilən polimer əsaslı kompozitlərin üç fazalı struktur modelinə əsasən, polimer doldurucu fazalararası sərhəddinə məxsus effektiv səthin bu kompozitdə optimal qiyməti ilə əlaqədardır.

1. Thomas Hanemann, Dorothée Vinga Szabó. *Polymer-Nanoparticle Composites: From Synthesis to Modern Applications, Materials*, **3** (2010) 3468-3517.
2. W.R.Caseri. Nanocomposites of polymers and inorganic particles: preparation, structure and properties, *Mater. Sci. Tech.*, **22** (2006) 807-817.
3. L.S.Schadler, L.C.Brinson, W.G.Sawyer. *Polymer nanocomposites: A small part of the story, J. Miner. Met. Mater. Soc.*, **59** (2007) 53-60.
4. R.Krishnamoorti. *Strategies for dispersing nanoparticles in polymers, Mater. Res. Bull.*, **32** (2007) 341-347.
5. F.Hussain, M.Hojjati, M.Okamoto, R.E.Gorga. *Review article: Polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application, Journal of Composite Materials*, **40** (2006) 1511-1575.
6. J.K.Nelson, Y.Hu, J.Thiticharoenpong. *Electrical properties of TiO₂ nanocomposites. in '2003 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. Albuquerque, USA', (2003) 719-722.*
7. S.C.Tjong. *Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites, Materials Science and Engineering R*, **53** (2006) 73-197.
8. M.K.Crawford, R.J.Smalley, G.Cohen, B.Hogan, B.Wood, S.K.Kumar, Y.B.Melnichenko, L.He, W.Guise, B.Hammouda. *Chain Conformation in Polymer Nanocomposites with Uniformly Dispersed Nanoparticles, Physical Review Letter, PRL*, **110** (2013) 196001.
9. А.М.Магерамов, Д.Ф.Рустамова. *Электрофизические свойства нанокмозитов полиэтилен-Fe₃O₄, закристиллизованных в постоянном магнитном поле, Перспективные материалы, (Москва)*, **3** (2016) 27-34
10. T.Tanaka. *Dielectric nanocomposites with insulating properties, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **12** (2005) 914-928.
11. P.Pissis, D.Fragiadakis, A.Kanapitsas, K.Delides. *Broadband Dielectric Relaxation Spectroscopy in Polymer Nanocomposites, Macromol. Symp.*, **265** (2008) 12-20.
12. M.Roy, J.K.Nelson, R.K.MacCrone, L.S.Schadler, C.W.Reed, R.Keefe, W.Zenger. *Polymer Nanocomposite Dielectrics - The Role of the Interface,*

- Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2004. CEIDP '04. 2004 Annual Report Conference on.*
13. R.Gensler, P.Groppel, V.Muhrer, N.Muller. *Applications of Nanoparticles in Polymers for Electronic and Electrical Engineering. Particle and Particle Systems Characterization*, **19** (2002) 293-299.
 14. А.М.Магеррамов, Х.В.Багирбеков, А.Э.Чеботаревский, А.И.Абдуллаева. *О структуре межфазных слоев и особенности радиотермомлюминесценции композиций полиэтилена с дивинилстирольным блоксополимером ДСТ-50, Проблемы энергетики*, **4** (2011) 44-51.
 15. M.M.Guliyev, R.S.Ismayilova, A.A.Shukurova, A.A.Nabiyev, G.A.Akhundova. Influence of γ -radiation on properties of composite structure UHMWPE+ α -SiO₂, *Journal of Radiation Research, Baku*, **3** №1 (2016) 14-23.
 16. M.M.Кулиев, А.М.Магеррамов, Р.С.Исмаилова, А.А.Набиев. *Нанокмпозитные коронэлектретны на основе полиэтилена высокой плотности и диоксида кремния, Перспективные материалы*, **9** (2015) 17-22.
 17. Thi Thu Nga Vu, Gilbert Teysse, Séverine Le Roy, Christian Laurent. *Maxwell–Wagner Effect in Multi-Layered Dielectrics: Interfacial Charge Measurement and Modelling, Technologies*, **27** №5 (2017) 1-15.
 18. Yu.A.Gorokhovatsky. *Fundamentals of the Thermal Depolarization Analysis*, Moscow: Nauka, (1981).
 19. G.M.Sessler (ed.). *Electrets, Third Edition, Laplacian Press, Morgan Hill*, **1** (1999).
 20. М.Ф.Галиханов. Коноэлектретны на основе полиэтиленовых композиционных материалов, *Материаловедение*, **7** (2008) 15-28.
 21. Ю.А.Гороховатский. *Электретный эффект и его применение, Соросовский образовательный журнал*, **8** (1997) 92-98.
 22. А.М.Магеррамов. *Структурное и радиационное модифицирование электретных, пьезоэлектретных свойств полимерных композиций, Баку, "Элм"*, (2001).
 23. A.Joy. Singh *Temperature and Field Dependence of Thermally Stimulated Discharge Current in Polymer Nanocomposite Electret, International Journal of Chemical and Physical Sciences*, **3** (2014) 13-19.
 24. А.М.Магеррамов, М.К.Керимов, Э.М.Гамидов. Электретные полимерные пленки для дозиметрии γ -излучения, *Elmi məcmuələr*, **6** №1 (2004) 257-264.

CHARGE STATE AND RELAXATION PROCESSES OF POLYETHYLENE/ZrO₂ NANOCOMPOSITES MODIFIED BY γ -RADIATION

A.A.NABIYEV, A.M.MAHARRAMOV, M.A.NURIYEV

The electric charge state and relaxation processes in HDPE+ZrO₂ nanocomposites modified by the effect of γ -rays have been investigated by the thermostimulated depolarization method. Measurements have been carried out at a temperature range of 25÷165°C for pure high density polyethylene (HDPE), as well as polymer composite samples obtained with spherical nano-ZrO₂ particles at different mass percentages (1÷20%). Comparative analysis of TSD spectra of nanocomposites has been identified that the depolarization maxima occurring in the spectra take place on interphase boundaries both in the matrix, and in PE-ZrO₂ nanocomposite samples as a result of the relaxation of stabilized charges in the corresponding temperature regions after corona polarization.

It has been established that when the amount of filler n-ZrO₂ nanoparticles is about 3÷10%, the relaxation processes of electret charges is weakened.

ЗАРЯДОВОЕ СОСТОЯНИЕ И РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИЭТИЛЕНА/ZrO₂, МОДИФИЦИРОВАННЫХ γ -ИЗЛУЧЕНИЕМ

A.A.НАБИЕВ, А.М.МАГЕРРАМОВ, М.А.НУРИЕВ

Исследовано состояние электрического заряда и релаксационные процессы в нанокмпозитах ПЭВП/ZrO₂, модифицированных γ -облучением, методом термостимулированной деполаризации. Измерения проводились в температурном диапазоне 25÷165°C для чистого полиэтилена высокой плотности (ПЭВП), а также образцов полимерных композиций, полученных со сферическими нано-ZrO₂ частицами при различных массовых процентах (1÷20%). Сравнительным анализом спектров токов ТСД нанокмпозитов установлено, что деполаризационные максимумы в матрице и композите РЭ/ZrO₂ являются результатом релаксации стабилизированных в межфазной границе зарядов при соответствующих температурах. Установлено, что, когда количество наночастиц n-ZrO₂ наполнителя составляет около 3÷10%, релаксационные процессы электретных зарядов ослабевают.