

ELEKTRİK BOŞALMASI TƏSİRİ ŞƏRAİTİNDƏ POLİMER DİELEKTRİKLƏRDƏ HƏCMI YÜKÜN FORMALAŞMA XÜSUSİYYƏTLƏRİ

H.S. ƏLİYEV

Azərbaycan Texniki Universiteti, H. Cavid pros. 23, AZ 1073

E-mail: hikmet_2005@mail.ru

Polimerlər və onların kompozitlərində həcmi yükün formalaşması və kvazistasionar yük halının yaranması polimer materiallara xarici faktorların təsiri şəraitində baş verir ki, bu faktorlardan da ən maraqlısı dielektriklər arasındakı havada mikroboşalmaların plazma kanalları ilə kontaktıdır. Mikroboşalmaların yaranması zamanı inkişaf edən fiziki-kimyəvi proseslər kompleksində ən maraqlısı dielektrikə, sonradan stabilləşən yüklərin daxil edilməsidir. Həcmi yükün formalaşması, mikroboşalma kanalının inkişaf zonasından daxil olan yükün səth təbəqədən həcmə keçməsi yolu ilə baş verir ki, bu zaman əsas rol diffuziya prosesi oynayır.

Açar sözlər: Kompozit, polimer, həcmi yük, mikroboşalma, diffuziya, dielektrik, seqnetoelektrik.

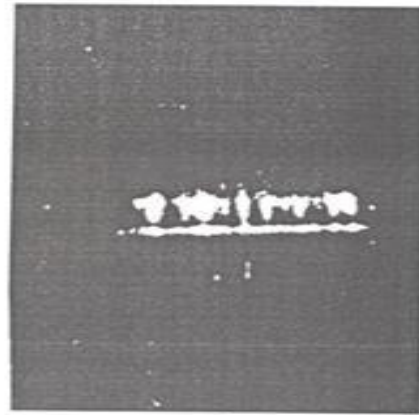
UOT: 666.9-129

PACS: 73.40.Ns, 73.40.Sx, 72.10.-d

Mikroboşalmanın başlığının polimerin səthi ilə kontaktının ilkin anında səth təbəqəsində yüklərin konsentrasiyasının qradiyenti böyük olur. Elektrotermopolyarlaşma zamanı mikroboşalma kanalından yükün dielektrikə injeksiyası ilə metal elektrodan analoji injeksiya prosesini fərqləndirən mühüm cəhətləri ayırmaq lazımdır. Əgər metal-polimer kontaktı zamanı daşıyıcı, metalın kristallik qəfəsinin qırılması səbəbindən yaranan enerji çəpərini əşaraq metalın Fermi səviyyəsindən keçirsə, mikroboşalmanın qaz boşalması plazması ilə kontakt zamanı onun ilkin enerji halı kəsilməz spektrə malik olur və bir qayda olaraq, polimer-elektrod sərhəddində səthi çəpərdən böyük olur. Böyük başlanğıc enerjiyə malik olmağı nəticəsində, kifayət qədər dərinliyə nüfuz edə bilən yükdaşıyıcısı əvvəlcə keçiricilik zonasına düşür, sonradan enerjini səpələyərək, yavaş-yavaş kvaziqadağan zonasında tutulmamış lokallaşmış hallara qədər enir və Fermi səviyyəsini yerini dəyişir. Boşalmanın təsiri şəraitində həcmi yükün formalaşması prosesinin effektivliyinin artması polimerin səthində mikroboşalmanın yarandığı yerlərdə yük ləkəsinin formalaşmasından və qaz mühitinin elektromənfiliyindən asılıdır. Burada əsas məsələ polimerin polyarlığı və mikroboşalmaların yarandığı hava mühitində oksigenin (elektromənfı komponent) mövcudluğudur.

Polimer dielektriklərə və onların kompozitlərinə xas olan polyarlaşma mexanizmləri onların zaman xarakterlərinə uyğun olaraq tez və yavaş polyarlaşma (dipol-orientasiya, domen-orientasiya və miqrasiya) növlərinə ayrılır. Polimer dielektriklər arasındakı qaz aralığında mikroboşalmaların 50 Hs tezlikli dəyişən gərginliyin təsiri altında inisiasiyası zamanı polyarlaşmanın yavaş növləri gərginliyin yarımperiodu ərzində (10^{-2} san) inkişaf etməyə imkan tapmır. 10^{-2} san müddətində polyarlaşmanın tez növləri sözsüz ki, sahənin arxasınca imkan tapa bilirlər, lakin tətbiq olunmuş gərginliyin periodunda və polyarlaşma müddətində onların orta qiyməti sifıra bərabər olur. Ona görə də, polimerdə boşalma təsiri şəraitində həcmi yükün müşahidə olunan formalaşması effektini yalnız polimerin səthinə boşalma kanalından yüklərin diffuziyası ilə izah etmək olar. Sonradan göstərəcəyik ki, dielektrik

çəpərlər arasında hava aralığında elektrik boşalması fəza və zamanda diskret mikroboşalmaların yaranması ilə müşayiət olunur [1]. Boşalma aralığında və dielektrik çəpərlərin səthində müxtəlif konsentrasiyalı yük daşıyıcıları yaranır. Təqdim olunan optik təsvirlərdən (EOÇ-qram, şəkil 1a və elektronogram şəkil 1b) görünür ki, mikroboşalmalar dielektrikin səthinin müxtəlif hissələrində yaranır. Elektronqramlar göstərir ki, mikroboşalma kanalının mərkəzinə doğru səthi yüklər də inkişaf edir (şəkil 1b).



a



b

Şəkil 1. Boşalmanın inkişafının optik mənzərəsi (a) və mikroboşalma yarıdan sonra dielektrik anodun səthinin elektronqramı (b).

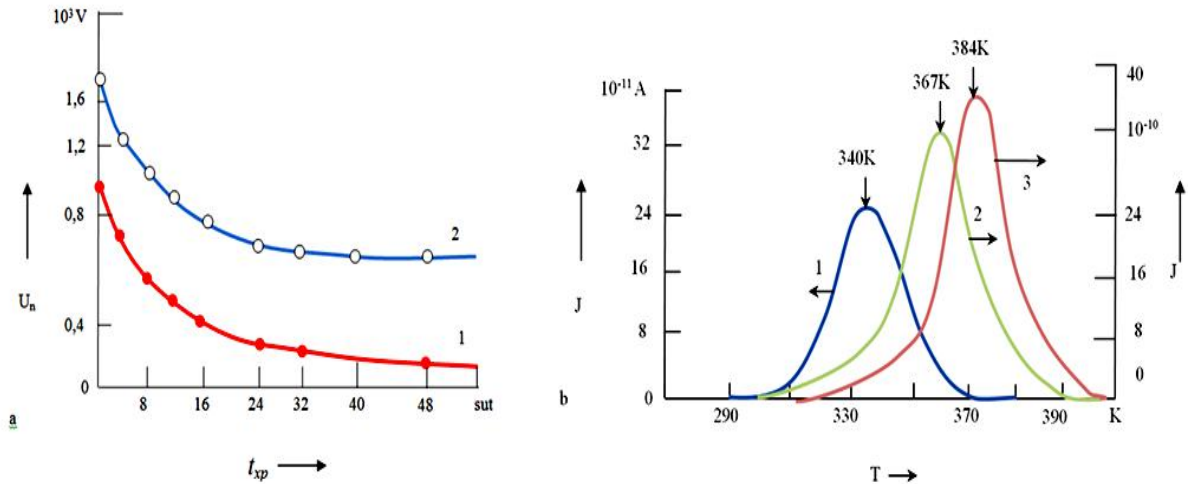
Beləliklə, dielektrik divarlar arasında qazda boşalma zamanı ayrı-ayrı mikroboşalmaların yaranmasının diskret xarakter daşmasına baxmayaraq, bir neçə boşalmalardan sonra, səthin ardıcıl mikroboşalmaları və eninə səthi boşalmalar hesabına potensial relyefinin hamarlaşması nəticəsində hesab etmək olar ki, dielektrik çəpərin səthində yük daşıyıcıların – elektron və ionların hər hansı orta sıxlıqlı yük təbəqəsi formalaşır [2].

Ayrı-ayrı mikroboşalmaların inkişafının moment və koordinatlarının statistik paylanması da dielektrik çəpərlərin səthinin potensial relyefinin hamarlanmasına kömək edir. Yük halının öyrənilməsi zamanı alınmış eksperimental nəticələr göstərir ki, polimerlərdə elektrik boşalmasının təsiri şəraitində monopolyar həcmi yük formalaşır və o, elektret potensialları fərqi və termostimullaşdırılmış cərəyanın ölçülməsi ilə aşkar edilmişdir. Polimer dielektrikdə səthdə lokallaşmış hallarda tutulmuş elektronların diffuziyasını analiz etmək. Mikroboşalmanın kanalında alınmış enerji hesabına polimerin dərinliyinə daxil olmuş elektronlar özlərinin, dielektriklərin səth səviyyələrindən yeni yüklərin diffuziyasına mane olan məxsusi E – elektrik sahələrini yaradırlar. Bu yüklərin sahəsi diffuziya nəticəsində yaranan yüklər selinin əksinə istiqamətlənmiş keçiricilik cərəyanının yaranmasına gətirir. PE-də TSD – üsulu ilə qismi boşalmaların təsiri şəraitində

emaldan sonra formalaşmış həcmi yükün qiyməti təyin edilmişdir (şəkil 2).

Şəkil 2-dən görünür ki, boşalma və temperaturun birgə təsirində polyarlaşma zamanı TSD – cərəyanının maksimumu yüksək temperaturlar tərəfə sürüşür (şəkil 2, 2, 3 ayrılırları). YSPE-nin qurğuşun-sirkonat-titanat (QST-19) pyezokeramikasının hissəcikləri ilə disperqasiyası elektrik boşalmasının təsiri ilə formalaşmış həcmi yükün nəzərəcarpacaq dərəcədə artmasına gətirir. Həcmi yükün və TSD – cərəyanlarının maksimumu YSPE və onun əsasında alınmış kompozitlər (YSPE+QST-19) üçün də kifayət qədər fərqlənir. Kompozit halında (YSPE+QST-19) TSD-nin temperaturunun artması göstərir ki, bu halda polyarlaşmanın inkişafı başqa mexanizm üzrə gedir [3].

TSD-nin maksimumunun temperaturunun dəyişməsi (artması) ilə müşayiət olunan nisbətən yüksək temperaturlarda polyarlaşma da yüklərin tutulmasının hər hansı başqa mexanizmlərini özündə birləşdirir. Xüsusən də bu, oriyentasiya olunmuş domenlər, polimerin termooksidləşmə destruksiyasına və deməli, yüklərin yeni, daha dərin tutulma mərkəzlərinin yaranmasına gətirən, boşalma və temperaturun birgə təsiri zamanı polimerin intensiv fiziki-kimyəvi modifikasiyası ola bilər. Beləliklə, fəza və zamanda diskret mikroboşalmaların kanalları ilə kontaktda olan kompozit materialda həcmi yükün formalaşması və kompozitdə sabit polyarlaşmanın yaranması baş verir.



Şəkil 2. a – potensialların elektret fərqi saxlama müddətindən asılılığı: 1 – YSPE; 2 – YSPE+10% QST-19.
 b – depolyarlaşma cərəyanının temperatur asılılığı: 1 – YSPE; 2 – YSPE+10% QST-19, $T = 293$ K;
 3 – YSPE+ 10% QST – 19, $T = 393$ K; elektrik boşalması $4 \cdot 10^3$ V təsiri altında YSPE və YSPE+10% həcmi QST – 19 təbəqələri arasında 0,4 mm hava aralığında yaranmışdır. Emal müddəti 0,5 saat.

Qaz aralığının verilmiş təzyiqində zərrəciklərin sərbəst qaçış yolunun uzunluğu dəyişmir və buna görə də yükdaşıyıcıların mütəhərrikliliyi və zərbə ionlaşması əmsalı, müəyyən elektrofiziki şəraitdə mikroboşalmaların formalaşması zamanı praktiki olaraq sabit kəmiyyətlər olur. Polimer–hava aralığı–polimer sistemində cərəyan, dielektrikdə yerdəyişmə cərəyanının qiyməti ilə təyin olunur və mikroboşalmanın kiçik formalaşma müddəti ($\sim 10^{-8}$ san) və dielektrikin xüsusi həcmi müqavimətinin böyük qiymətləri səbəbindən keçiricilik cərəyanından asılı olmur. Yerdəyişmə cərəyanı əsasən,

polimer çəpərlərin dielektrik nüfuzluğundan asılıdır [4, 5].

Optik və elektrik tədqiqatlar göstərir ki, həcmi yükün sıxlığı, mikroboşalmanın kanalında həyəcanlanmış molekulların konsentrasiyası polimer–qaz aralığı–polimer sistemində qaz fazasının qalınlığının artması ilə artır. Daşınan yükün Δq – və mikroboşalmanın ayrılan enerjisinin ΔW – miqdarları qaz fazasının qalınlığından (d) asılı olaraq xətti qanuna nisbətən daha sürətlə artırlar (cədvəl 1).

Alınmış nəticələr, kompozit dielektrikin ayrı-ayrı boşalmaların yaranacağı yerlərdə çökmüş yüklərin sa-

həsi və təbiiq olunan gərginlik nəzərə alınmaqla, yük-lənməsinin başlanğıc mərhələsinin mümkün olan me-xanizmini təklif etməyə imkan verir. Hesab edirik ki, boşalma aralığında U_d -dəşilmə gərginliyinin qiymə-tinə bərabər gərginlik alındıqdan sonra, hava aralığı-nda qaz molekulinun ionlaşma prosesi nəticəsində elektronların sıxlığının adi artması baş verir. Təbiiq olunmuş elektrik sahəsinin təsiri altında dielektrik anoda dreif edən elektronlar qazı ionlaşdırır, fotoion-laşdırıcı şüalanma həyəcanlandırır və bununla da, bir-likdə qarşılıqlı təsirlə yeni elektronlar yadırlar. Qaz molekulları tərəfindən buraxılan işıq kvantları di-elektrikin səthindən elektronların emissiyasını yadırdır ki, bu hadisə də boşalmanın həm ilkin boşalma kana-lında, həm də dielektriklər arasında hava aralığının bütün həcmi boyu özünü saxlamasına səbəb olur. Bu zaman mikroboşalmaların inkişafını stimullaşdıran, həm də onların inkişafını ləngidən faktorlar mövcud olur. İnkişafına səbəb olan faktor kimi təbiiq olunan sahə, ləngidən faktor kimi isə çökən zərrəciklərin sa-həsini göstərmək olar. Ona görə də, mikroboşalmala-rın yandığı yerdə boşalma aralığında sahənin inten-sivliyinin onun tam formalaşmasına qədər inkişaf müddətində (t_{mb}) dəyişməsi aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

$$E(t_{mb}) = E_d + \frac{V(t_{mb})}{d} - E_{\zeta}(t_{mb}),$$

burada,

$$E_{\zeta}(t_{mb}) \approx \frac{dU(t_{i\delta})}{d} \approx \frac{dq(t_{i\delta})}{d(\Delta C_g + dC_b)}, \quad (1)$$

$$\Delta q(t_{mb}) = \int_0^{t_{mb}} idt$$

Burada, E_p – sahənin Un/d kimi təyin olunan de-şilmə intensivliyi; $V(t_{mb})/d$ – mənbə hesabına sahənin intensivliyinin t_{mb} – sərhəddində artma sürəti; $E_{\zeta}(t_{mb})$ – mikroboşalmanın inkişafı ilə dielektrik çəpərlərə çökmüş yüklərin sahəsinin təsirinə xarakterizə edir. Qeyd etmək lazımdır ki, yük selinin anoddan katoda axdığı zaman yaranan ionların əksəriyyəti anodətrafi oblastda yerləşəcək, belə ki, onların dreif sürəti elek-

tronların analoji parametridən nəzərəcarpacaq dərə-cədə kiçikdir. Deməli, yalnız bu oblastda sahənin nə-zərəcarpacaq dərəcədə azalması baş verəcək. Elek-tronların daşınması qurtardıqdan sonra, nisbətən bö-yük zaman müddətindən sonra ionlar da anod-katod məsafəsini keçəcək və deməli, ayrı mikroboşalmanın yandığı yerlərdə gərginliyin hər hansı U_{Ms} – mikro-boşalmanı söndürən gərginlik adlanan orta qiyməti qə-rarlaşacaq. Burada qeyd olunmalıdır ki, ionlar praktiki olaraq aralıqda gərginlik U_{Ms} -yə bərabər olduqda, yə-ni, sahənin intensivliyi U_{Ms}/d qiymətini aldıqda daşı-nır. İonların belə zəif sahə zamanı daşınması, onların praktiki olaraq polimerin dərinliyinə injeksiyasını sıfıra endirir. Ona görə də, boşalma ilə stimullaşdırılmış müşahidə olunan yük halı, ionların injeksiyası ilə izah edilə bilməz. Elektronlar daha yüksək intensivliyə malik, təxmini olaraq U_d/d və U_{Ms} arasında ədədi orta qiymət kimi qiymətləndirilən sahəyə keçirlər, yəni:

$$E_e = \frac{U_d + U_{Ms}}{2d} \quad (2)$$

Bu səbəbdən, dəyişən elektrik sahəsi ilə inisiyasiya edilən dielektriklər arasında havada elektrik boşal-malarının təsiri altında dielektrik çəpərlərdə monopol-yar yük formalaşır. Mikroboşalmanın inkişaf müddəti-nin $t_{mb} \approx 10^{-8}$ san. olduğu halda mikroboşalmanın inki-şaf müddətində sahənin intensivliyinin 50 Hs tezlikli xarici gərginliyin təsiri şəraitində artmasını nəzərə al-mamaq olar, yəni 1 – ifadəsində ikinci həddi atmaq olar. Bu səbəbdən, dielektriklər arasında mikroboşal-maların və ya selin yandığı boşalma aralığında elek-trik sahəsi, onların inkişafı prosesində iki sahənin su-perpozisiyası olacaq: xarici E_p - və çökmüş yüklərin – E_{ζ} sahəsi.

Qaz mühitinin qalnlığının və təzyiqinin variyasiyası ilə qaz aralığını məhdudlaşdıran dielektriklərin səthinə daxil olan yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını, enerjisini və bununla da, formalaşan həcmi yükün qiymətini dəyişmək mümkündür. Cədvəl 1-də polietilen təbəqələr arasında hava aralığında mikroboşalmaların Δq , ΔW və d -dən asılı olaraq $\Delta W/\Delta q$ nisbətinin qiymətləri verilmişdir.

Cədvəl 1.

Mikroboşalmanın parametrlərinin qiymətləri

Boşalma aralığının qalnlığı, mm	1	2	3	4	5
Mikroboşalmanın parametrləri					
$\Delta q, 10^{-9}$ Kl	0,11	0,31	0,69	1,3	1,82
$\Delta W, 10^{-6}$ C	0,22	0,72	3,13	8,2	14,5
$\Delta W/\Delta q, 10^3$ C/Kl	2,0	2,3	4,5	6,3	8,0

Göründüyü kimi, d -dən asılı olaraq ΔW -nin artması Δq -nün d -dən asılılığını qabaqlayır. Bu onu gös-tərir ki, daşıyıcıların orta enerjisi artır və deməli, hər bir mikroboşalma tərəfindən polimerin səthinə verilən enerji sıxlığı da artır. Həqiqətən də, d böyük olduqca,

elektronlar, anod-katod məsafəsini keçərkən sahədə daha çox enerji alırlar. Fərz edək ki, $x = 0$ koordinat başlanğıcıdır və elementar boşalma kanalında yüklərin sayı Taunsendə görə aşağıdakı kimi artır, yəni:

$$n = n_0 e^{\alpha d}, \quad (3)$$

burada, n_0 – başlanğıc effektiv elektronların sayı, α – zərbə ionlaşma əmsalidir. Dreyf yolunun x -dan $x+dx$ -a qədər olan parçasında yaranan elektron selinin sahədən aldığı enerji:

$$dA_e = eE \cdot n_0 e^{\alpha x} dx, \quad (4)$$

burada, E - elektrik sahəsinin intensivliyi; e – elektronun yüküdür.

4 ifadəsini $x = 0$ -dan $x = d$ -yə kimi inteqrallaşaq, selin elektronlarının tam enerjisini almış olarıq:

$$A_e = \int_0^d eE \cdot n_0 e^{\alpha x} dx = eEn_0 \int_0^d e^{\alpha x} dx = \frac{eEn_0}{\alpha} (e^{\alpha d} - 1) \quad (5)$$

Göründüyü kimi, d -nin artması ilə elektronların enerjisi və bununla da mikroboşalmaların kanalından polimerin həcminə yüklərin köçürülməsi ehtimalı artır.

$d = \text{const}$ olduqda, elektronların enerjisini qaz boşalması aralığının təzyiqini, yəni, yüklənmiş zərrəciklərin sərbəst qaçış yolunun uzunluğunu dəyişməklə variyasi-

ya etmək olar. Bu eksperimentlər, yüklənmiş zərrəciklərin enerjisinin və elektromənfı komponentlərin konsentrasiyasının mikroboşalmaların təsiri şəraitində polimerdə yüklərin stabilləşməsində rolunu aşkar etməyə imkan yaradır.

- [1] H.S. Aliyev, M.M. Quliyev. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2016, 52(5), p. 494-498.
- [2] Kh.S. Aliev, M.M. Quliyev. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2018, vol.54. №2. Allerton Press. Inc. 2018, p.117-124.
- [3] H.S. Aliyev. Influence of electric discharge processing of polyethylene on heat conductivity, electric and mechanical durabilities of composites on its basis. МОСКВА, Министерство Образования и Науки РФ, XV Международная Научно-Техническая Конферен-

ция. “Наукоемкие химические технологии-2014” (22-26 сентября 2014 г. Сбор. Докладов. стр.238-239.

- [4] F.L. Matthews, R.D. Rawling, Overview. In Composite materials: Engineering and Science. 2nd ed.: CRC Press, Word head Publishing Limited: Cambrige, UK, 1999, 1-28.
- [5] T. Tanaka, G.C. Montanari, R. Mulhaupt. Polymer nanocomposites as dielectrics an electrical insulation – Perspectives for processing technologies, material characterization and future applications. IFFF Trans. Dielectr. Electr. Insul. 2004, 11,763-784.

H.S. Aliyev

FEATURES OF FORMING VOLUME DISCHARGES IN POLYMER DIELECTRICS UNDER THE INFLUENCE OF ELECTRIC DISCHARGES

The formation of space charges and the emergence of a quasistationary charge state in polymers and composites based on them takes place under the influence of external factors. The most attractive factor is the contact of the plasma channels with microcharge in the air between the dielectrics. And the most interesting phenomenon developing in the complex of physicochemical processes in the event of microcharges can be considered as the introduction of stabilized charges into a dielectric.

X.C. Алиев

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ РАЗРЯДОВ В ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

Формирование объемных зарядов и возникновение квазистационарного зарядового состояния в полимерах и композитах на их основе происходит под действием наружных факторов. Самым привлекательным фактором является контакт плазменных каналов с микрозарядами в воздухе между диэлектриками. А самым интересным явлением, развивающимся в комплексе физико-химических процессов при возникновении микрозарядов, можем считать ввод стабилизированных зарядов в диэлектрик.

Qəbul olunma tarixi: 10.09.2019