

## METAL-OKSİD NANOHISSƏCİKLƏRİ İLƏ MODİFİKASIYA OLUNMUŞ TERMOPLASTİK POLİMER ƏSASLI NANOKOMPOZİTLƏRİN FOTOLÜMINESSENSİYA VƏ ELEKTRET XASSƏLƏRİ

A.M. RƏHİMLİ

*Bakı Dövlət Universiteti,*

*Azərbaycan, Bakı ş., AZ-1148, Z.Xəlilov küç., 23*

*e-mail: [rahimli.almara@gmail.com](mailto:rahimli.almara@gmail.com)*

Məlumdur ki, polimer matrisə lüminessensiya, maqnit, fotovoltaik, fotorezistor və digər aktiv xassələrə malik dolduruların daxil edilməsilə nanokompozitin aktiv xassələri də dəyişə bilər. Lakin metal oksid nanohissəcikləri ilə modifikasiya edilmiş polimer əsaslı nanokompozitlərin qeyd edilən xassələrinin sistemli şəkildə təhlili tam olaraq aparılmadığı üçün, bu istiqamətdə tədqiqatı davam etdirmək həm təcrübə həm də nəzəri cəhətdən olduqca vacibdir. Təqdim olunan məqalə oksid nanohissəcikləri ilə modifikasiya olunmuş termoplastik polimer əsaslı nanokompozitlərin alınması və fotolüminessensiya və elektret xassələrinin tədqiqinə həsr edilmişdir.

**Açar sözlər:** nanokompozit, nanohissəciklər, elektret, fotolüminessensiya

**PACS:** 42.70.Jk, 78.55.-m, 81.07.Nb

Son zamanlar üzvi polimerlər və qeyri-üzvi materiallar əsasında olan yeni polimer nanokompozit materialların elektretlərin yaradılmasında istifadəsi geniş tətbiq olunmağa başlamışdır. Elektretlər güclü elektrik sahəsinə məruz qoyulduqdan sonra, elektrik polyarizasiyasını uzun müddət saxlamaq qabiliyyətinə malik olan materiallardır. Polyarizasiyadan sonra material daxilindəki müsbət yük sahə istiqamətində, mənfi yük isə sahənin əks istiqamətində yerini dəyişir. Elektretlərin bir ucunun mənfi digərinin isə müsbət olmasına baxmayaraq yekun elektretlər neytral olurlar. Elektretlərin səthində, əsasən səthdə makroskopik elektrostatik yüklərin, yaxud elektretin daxilində mövcud olan polyar qrupların yekun istiqamətlənməsi nəticəsində yaranan makroskopik elektrik sahəsi mövcud olur. Polimerlər, dielektrik və elektret materialları kimi, geniş istifadə imkanlarına malikdir. Polimer elektretlər yüngül çəkisinə, böyük kvazi-pyzeoelektrik həssaslığına və yüksək elastiklik xassəsinə görə böyük tətbiq imkanlarına malikdir.

Elektretlər dielektrik fizikası, materialşünaslıq, sensor mühəndisliyi, texnologiya və tibb kimi sahələrdə tətbiq imkanına malikdir [1-3]. Səthi potensialın qiyməti və elektretlərin yaşama müddəti, onların praktik tətbiqinin mümkünlüyünə səbəb olan ən vacib parametrlərdəndir. Son zamanlar taclı boşalma ilə yüklənmiş polimer təbəqələrinin səth potensialının sönmə proseslərinin tədqiqinə maraq xeyli artmışdır [4-8], lakin elektretlərin hazırlanmasında əsas material kimi istifadə olunan polimerlər bəzən onların praktik tətbiqində vacib olan lazımı xüsusiyyətlərə malik olmurlar. Bu səbəbdən, müxtəlif tətbiq sahələrinin tələblərini ödəyən çoxfunksiyalı elektret materialların alınması üçün, polimerlərə müxtəlif təbiətli doldurucuların daxil edilməsi məqsədəuyğun hesab olunur. Son bir neçə onillikdə materialşünaslıqda nisbətən yeni bir istiqamət inkişaf etdirilmişdir ki, bu da qeyri-üzvi hissəciklərin müxtəlif polimer matrisələrə daxil edilməsi nəticəsində əldə edilən yeni kompozit materialların tədqiqidir [9]. Bu cür kompozit materiallar polimer elektretlərin xassələrini yaxşılaşdırmaq və ya polimerləri yeni funksiyalarla təmin etmək imkanlarına görə böyük əhəmiyyət kəsb edir

[10, 11]. Bu cür kompozit materialların əsas üstünlükləri onların xassələrinin müxtəlif təbiətli doldurucu, plastifikator, boya və eləcə də digər əlavələrlə modifikasiya edilməsi imkanındır. Avtomobillərdəki elektretlər metal polimer birləşmələrini korroziyadan qoruyur, kompozit komponentlərin və məmulatların adgeziyasını artırır, möhkəmliyi yaxşılaşdırır və kompozit əmələ gəlməsinin texnoloji effektivliyini yüksəldir [12]. Elektretlərin, alınma üsulundan asılı olaraq, müxtəlif növləri mövcudur. Homoelektret, termoelektret, krioelektret və mexanoelektretlərin yükləri qalıq polyarlaşmanın hesabına yaranır. Yüklərinin əsasını injeksiyalanmış yüklər təşkil edən elektretlər isə radiasiya elektretləri, texno və elektroelektretlər adlanır. Bu növ elektretlər polimer dielektriklərin elektron dəstəsi ilə şüalandırılması nəticəsində eləcə də, taclı boşalmanın təsiri altında polyarlaşma prosesi zamanı polimer boşalma sahəsində yerləşdirildikdə və s. alınır. Bu halda polimer dielektrikin elektroneytrallığı pozula bilər və o, həm yüklənə, həm də polyarlaşa bilər [10]. Polimerlərin əksəriyyəti polyarlaşmış kovalent rabitələrə malikdir, yəni elektronlar daha çox elektromənfi atomlara tərəf istiqamətlənir. Elektrik sahəsinin təsiri altında nümunədə olan dipollar yerin maqnit sahəsi istiqamətində yönəlməyə çalışsın kompasa iynəsinə oxşar şəkildə elektrik sahəsi istiqamətində yönələcəklər. Nəticədə, qeyri-polyar polimerlərlə müqayisədə daha güclü dipol polyarizasiyasına, daha yüksək dielektrik nüfuzluğuna və daha az müqavimətə malik olacaqlar. Bu təsir oriyentasiya və ya dipol polyarlaşma kimi məlumdur.

Dipol polyarlaşması temperaturdan və polimerə tətbiq olunan xarici sahənin tezliyindən asılı olduğu halda, elektron polyarlaşması tezlikdən az və ya çox dərəcədə asılıdır, lakin temperaturdan daha zəif asılılıq göstərir (qeyri-polyar plastiklərin ani polyarlaşması). Həm dipol polyarlaşma, həm də elektron polyarlaşması polimerdə monomerlərin kimyəvi tərkibindən asılıdır. Məsələn, aromatik halqalar kükürd, brom və fenol dielektrik nüfuzluğunu artırır, çünki onlar yüksək polyarlaşma qabiliyyətinə malikdirlər. Bu qanunauyğunluq aromatik halqalardakı  $\pi$  rabitələr üçün də keçərlidir.

Onlar  $\sigma$  rabitələrdən daha çox polyarlaşma qabiliyyətinə və daha yüksək dielektrik nüfuzluğuna malikdirlər. Flüor və xlor kimi yüksək elektromənfiliyə malik elementlər dielektrik nüfuzluğuna daha güclü təsir göstərilir. Lakin bu, yalnız monomerlərdəki dipol momentləri bir-birini kompensasiya etmədiyi (söndürmədiyi) təqdirdə doğrudur, məsələn PTFE-də olduğu kimi. Amma polivinil xloridin (PVX) monomerlərindəki C-Cl rabitələri hamısı bir-birinə paralel və elektrik sahəsi istiqamətində yönəlir ki, bu da öz növbəsində polyarlaşmanı artırır. Bu əlavə effekt və C-Cl rabitələrinin güclü dipol momenti PVX-nın nisbətən yüksək dielektrik nüfuzluğunu izah edir ( $\epsilon \approx 4$ ).

Dielektrik nüfuzluğuna polimerin molekulları və ya polimerin monomerləri tərəfindən tutulmayan həcm (sərbəst həcm) də təsir göstərir. Polimerlərin oriyentasiyasına (kristallaşmasına) mane olan qruplar sərbəst həcmi artırır, bu isə vahid həcmdə polyarlaşan qrupların sayını azaltdığı üçün, dielektrik nüfuzluğunun qiymətini azaldır. Bu, həmçinin dielektrik nüfuzluğu təxminən birə bərabər olan hava ilə doldurulmuş boşluqlara da aiddir. Polyar əlavələr isə tamamilə əks təsir göstərir, yəni dielektrik nüfuzluğunu artırır. Çox effektiv əlavələr isə karbon və  $TiO_2$  kimi yüksək dielektrik nüfuzluğuna malik olan qeyri-üzvi dolduruculardır.  $TiO_2$  nanohissəciklərinin dielektrik nüfuzluğu da polyar polimerdən bir neçə dəfə çox olduğuna görə, onların polimer matrisaya daxil edilməsi hesabına alınan kompozit strukturda onlar yeni xassələrə malik olubilər. Nanokompozitin dielektrik xüsusiyyətləri matrisin və nanohissəciyin dielektrik nüfuzluğundan asılı olduğu üçün,  $TiO_2$  nanohissəcikləri üzvi və qeyri-üzvi hibrid materiallarda doldurucu kimi sistemin dielektrik nüfuzluğunun qiymətini yüksəldə bilər. Ona görə də, yüksək dielektrik nüfuzluğuna malik  $TiO_2$  nanohissəcikləri daxil edilmiş polimer əsaslı nanokompozitlərin polyarlaşması zamanı komponentlərin dielektrik nüfuzluqlarının qiymətlərindəki fərq hesabına onlarda miqrasiya polyarlaşmasına ciddi təsir edə bilər. Bu səbəbdən ədəbiyyatda  $TiO_2$  nanohissəcikləri doldurucu qismində istifadə edilməklə müxtəlif növ kompozitlərin alınması geniş yayılmışdır [15, 16]. Bu tip kompozit materiallar termoplastik matrisin və matris daxilində paylanmış metal oksid hissəciklərinin aktiv xassələrini özündə birləşdirir. Bu materiallar pyezo- və piroelektrik və qeyri-xətti optik xassələrinə görə elektronika, sensor və fotoniklərdə öz tətbiqini tapmışdır [17-19].

Verilmiş işdə [15], həm təmiz polimid (PI) təbəqəsinin, həm də PI/ $TiO_2$  nanokompozit təbəqələrinin səth potensialının zamandan asılı olaraq dəyişmə qanunauyğunluqları müxtəlif gərginlik və müxtəlif zaman intervallarında aparılmış taclı boşalma proseslərindən və idarə olunan mühit altında iynə ilə işləyən bir elektrod sistemi istifadə edərək tədqiq edilmişdir.  $TiO_2$  nanohissəciklərinin fərqli qatılıqları ilə PI əsaslı nanokompozitlərinin səth potensialının təmiz PI təbəqələrindən daha sürətlə azaldığı müəyyən edilmişdir. Verilmiş işdə [16],  $TiO_2$  nanohissəciklərinin konsentrasiyasının PP kompozit təbəqələrinin elektret xassələrinə təsiri öyrənilmişdir. PP matrisində  $TiO_2$  nanohissəciklərinin konsentrasiyasının artması ilə elektretlərinin səth potensialının qiymətini azaltdığı müşahidə edilmişdir.

Digər bir maraqlı işdə [20], kimyəvi cəhətdən müxtəlif olan iki komponentdən ibarət olan heterostrukturların - müxtəlif konsentrasiyalarda  $TiO_2$  nanohissəcikləri əlavə olunmuş polilaktik turşunun (PLA) deqradasiyaya uğraya bilən polimerlərinin elektret xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir. Hissəciklərin matrisə daxil edilməsilə səth potensialının qiymətini artdığı və taclı boşalmanın təsiri altında polyarizasiyadan asılı olmayaraq materialların elektret xassələrinin yaxşılaşdığı aşkar edilmişdir. Ən stabil elektret xassəsi müsbət yüklənmiş  $TiO_2$  nanohissəciklərinin 4% həcmi miqdarına uyğun kompozit nümunələr üçün müşahidə edilmişdir.

Polimerlərin və polimer kompozitlərin yaxşı dielektrik xassələri (xüsusi elektrik müqaviməti, elektrik möhkəmliyi) onların yüksək gərginliklə işləyən maşınlarda, kondensatorlarda, generatorlarda, elektron qurğularda izolyasiya materialları kimi potensial tətbiq sahələrini genişləndirir. Bundan əlavə, polimerlər əsasında geniş fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərə malik materialların alınması onlardan mikroelektronika və radiotexnikada konstruksiya materialı kimi geniş istifadə imkanları açır. Məsələn, mikrosistemli texnikada yüksək xüsusi tutuma malik müxtəlif tipli kondensatorlar tələb olunur və buna köynəkləri arasındakı polimer təbəqəli izolyatorların dielektrik nüfuzluğunun və işçi gərginliyinin artırılması hesabına nail olunur.

Digər bir işdə [21], ZnO və CuO hissəciklərinin müxtəlif (0 %, 2 % və 4 %) miqdarlarına uyğun olan PP kompozit nümunələrinin səth potensialının zamandan asılı olaraq azalması qanunauyğunluğu tədqiq edilmişdir. ZnO və CuO hissəciklərinin müxtəlif konsentrasiyalarına (0 %, 2 % və 4 %) uyğun PP kompozit nümunələrinin normallaşdırılmış səth potensialının taclı boşalmanın təsiri altında polyarizasiyadan asılı olmayaraq təmiz PP təbəqələrinə nəzərən daha sürətlə söndüyü müəyyən edilmişdir. Bu, ZnO və CuO hissəciklərinin PP matrisinə daxil edilməsi ilə keçiriciliyin artması və nəticədə həcmdə daha asan və daha sürətli yükdaşınma ilə izah oluna bilər. Həmçinin, PP kompozitlərinin temperatur səth potensialının zamandan asılılıq ayrılmasının temperaturun yuxarı qiymətlərinə doğru sürüşdüyü aşkar edilmişdir. Bu isə onunla izah olunur ki, PP matrisinə ZnO və CuO hissəciklərinin daxil edilməsi polimer matrisdə yeni və daha yüksək enerjili yük tələlərinin yaranmasına gətirib çıxarır ki, bu da ayrılmanın maksimumun temperaturun yüksək qiymətlərinə doğru sürüşməsinə səbəb olur.

Termoplastik polimerlərin yük saxlama qabiliyyətinin artırılması bir neçə üsulla aparıla bilər: (I) yüklənmə rekombinasiyası yolunu əhəmiyyətli dərəcədə uzatmaq üçün polimer matris boyunca uzanmış məsələlər şəklində maneələrin yaradılması; (II) polimer zəncirinin uyğunlaşdırılmış kimyəvi modifikasiyası və (III) yük tələlərinin yaradılması üçün funksional qrupların əlavəsi [22]. Təcrübə olaraq müəyyən edilmişdir ki, polimer matrisə dispers doldurucular daxil etdikdə, kompozit materiallarda yeni quruluş elementləri yaranır ki, bu elementlər yükdaşıyıcılar üçün tələ rolunu oynayır, bu isə öz növbəsində dielektriklərin elektret xassələrinin dəyişməsinə səbəb olur [19,20].

Müəlliflər [22] üç müxtəlif polimer təbəqəsinin üst molekulyar quruluşundakı dəyişikliyin və termiki işlənmənin parametrlərinin onların elektret xassələrinin

formalaşmasında rolunu araşdırmışlar. Taclı boşalmanın təsiri altında üç müxtəlif FEP, PETP və PP polimer təbəqələrinin elektret xassələrinə temperaturun təsiri (polimerə elektrik sahəsinin təsirindən əvvəl isidilib daha sonra isə soyudulması ilə) termostimullaşdırılmış depolyarizasiya (TSD) və səthi-potensial ölçmələri vasitəsilə araşdırılmışdır. Soyudulmadan əvvəl termik işlənmə temperaturunun və eləcə də soyuma temperaturunun yük halının stabilliyinə və sonra TSD pikinin temperaturuna təsiri öyrənilmişdir. Polimer təbəqələrin kristallik dərəcəsi və kristallitlərin ölçüsü soyudulmadan əvvəl və sonra XRD difraktoqramı vasitəsilə ölçülmüşdür. Nümunələrin elektret xassələrindəki dəyişiklik keyfiyyətcə morfoloji dəyişikliklər vasitəsilə izah edilə bilər. Bundan əlavə, TSD spektrlərində 100-130°C intervalında yerləşən piklər, ehtimal ki, həm nümunənin öz yükdaşıyıcıları, həm də injeksiya olunmuş yük daşıyıcılarının buraxılmasına aid edilə bilər. Poliarizasiya temperaturu artdıqca bu piklərin daha yüksək temperaturlara doğru sürüşməsi də bunu sübut edir. Tədqiqat işlərindən birində [16], taclı boşalmanın təsirinə məruz qalmayan nümunələrin TSD spektrləri çəkilmiş və bu zaman yalnız aşağı temperaturlarda piklər müşahidə edilmişdir. Həmçinin, qeyd etmək lazımdır ki, yüksək temperaturlarda elektrik sahəsi təsiri altında dipol relaksasiya piklərinin intensivliyi azalır. Bu cür effektin səbəbi təcrübələrdə taclı boşalmanın gərginliyinin təxminən sabit qalması ola bilər; nəticədə artan sahə intensivliyi (və daha yüksək gərginlik) aşağı cərəyan deməkdir. Bundan əlavə, termik işlənmə zamanı nümunələrin qızdırılma sürətinin də onların elektret xassələrinə təsiri təcrübə olaraq müəyyən edilmişdir. Belə ki, qızdırılma sürəti böyük olduqca, nümunə daha qısa müddətdə ərimə temperaturuna çatacaqdır (məsələn, 2-5 dəq.). Relaksasiyanın yavaş olması səbəbindən soyuma bütün molekulyar zəncirlərin təsadüfi oriyentasiyasından və ilkin quruluş elementlərinin tamamilə formalaşmasından əvvəl başlayır. Buna görə dipolların sahə istiqamətində onların oriyentasiyası yarımçıq qalır.

Ədəbiyyat analizindən belə nəticəyə gəlmək olar ki, polimer kompozit materiallar əsasında elektretlərə marağın daima artmasına baxmayaraq, müxtəlif doldurucular əsasında polimer nanokompozitlərin elektret xassələrinin dəyişmə qanunauyğunluqları tədqiqatçılar tərəfindən hələ ətraflı araşdırılmamışdır. Nəticədə, hazırkı dövrdə polimer kompozit elektretlərin istehsal sahəsində praktiki imkanları nəzəri şərhi qabaqlayır. Buna görə də, tərkibində nano ölçülü müxtəlif doldurucular olan polimer əsaslı kompozitlərin poliarlaşma xassələrinin və elektret xassələrinin araşdırılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Polimer dielektrlərdə elektret halının öyrənilməsində dielektrlərin quruluşu, elektrofiziki xassələri və həmçinin dielektrikdə baş verən relaksasiya prosesləri vacib amillərdən hesab olunur. Bununla yanaşı, dielektrlərin elektret halı yükün yaşama müddəti, yük sıxlığının temperaturdan və eləcə də poliarlaşma gərginliyindən ( $E_p$ ) asılılığı kimi parametrlərlə xarakterizə olunur. Poliar polimerlərdə uzun müddətli elektret effektinin formalaşması poliarlaşmadan sonra onlarda əmələ gələn və sahənin təsiri kəsildikdən sonra tədricən azalan dipol-oriyentasiya poliarlaşması ilə izah olunur.

Elektretlərə olan maraq polimerlər fizikası və kimyasının sürətli inkişafı ilə əlaqədardır. Praktikada tətbiq edilən elektretlərin demək olar ki, hamısı polimer dielektrlərdən hazırlanmışdır. Verilmiş xüsusiyyətlərə malik elektretlərin alınma tələbatı dielektrlərin elektret halına əsaslanan kifayət qədər çətin görünən fiziki tədqiqatlara təkan vermişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, nümunələrin elektret halının tədqiqi üçün kifayət qədər səthi yüklərin mövcudluğu, yük stabilliyi və materialın TSD spektrində xarakteristik piklərin təbiəti ilə əlaqəli üç əsas parametrin araşdırılması tələb olunur.

Galop və Callahan [23] göstərmişlər ki, TSD spektrində ən əsas pik şüşələnmə temperaturu ətrafında olmalıdır. Təcrübə olaraq müəyyən edilmişdir ki, bu pik PP-yə müxtəlif təsirlərdən asılı deyil və ardıcıl bir neçə dəfə ölçmələrdə praktik olaraq dəyişmədən təkrarlanır. Həmçinin göstərilmişdir ki, daha yüksək temperaturlarda TSD spektrlərindən daha çox məlumat əldə etmək mümkündür. Yüksək temperaturda termostimullaşdırılmış cərəyanların qanunauyğunluqlarından asılı olaraq elektret halının formalaşma mexanizmləri və elektret halının xüsusiyyətləri haqda məlumat əldə etmək olar [1, 24-26].

Elektretləri keyfiyyətcə xarakterizə edən bir çox parametrlər mövcuddur: onlardan ən başlıcası yükün yaşama müddəti ( $\tau \sim 3-10$  il) və effektiv səthi yüklərin sıxlığıdır ( $\sigma_e \sim 10^{-5} \div 10^{-3} \text{ Kl/m}^2$ ) [27]. Xarici amillərin təsiri kəsildikdən sonra, yüklənmiş və eləcə də poliarlaşmış polimerlər əsasən metastabil halda olur. Poliarlaşmış halın relaksasiya müddəti olduqca uzun ola bilər, çünki polimerin stabil hala qayıtması üçün yük daşıyıcılar-dipollar potensial çəpəri aşmalıdır. Bu müddət ərzində dipollar  $\tau_d$  zamanından asılı olaraq yenidən istiqamətlənirlər (həcmi poliarlaşma yox olur) və elektret rütubətli mühitdə olduqca ətraf mühitin daxili keçiriciliyinin hesabına daxili elektrik sahəsinin neytrallaşması baş verir. Bu səbəbdən, daha uzun yaşama müddətinə malik elektretlər əldə etmək üçün, kiçik mütəhərrikiyə malik dipollara daha dərin yük tələləri olan və elektrik keçiriciliyi aşağı olan materiallar seçmək lazımdır.

Elektretlərin keçiriciliyi və ətraf mühit amilləri də yüklərin stabilliyinə təsir edən faktorlardandır [29]. Qeyri-tarazlıqda olan relaksasiya proseslərinin polimerlərin elektroaktiv xassələrinə təsiri də daim diqqət mərkəzindədir və çoxsaylı tədqiqatçılar tərəfindən aparılan işlərin əsas mövzusu olaraq qalır. Polimer elektretlər üçün Eguçi və Gutman [28] təcrübə olaraq sübut etmişlər ki, elektretlər mühitin rütubətinə olduqca həssasdırlar. Yalnız CaCl və P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> vasitəsilə tamamilə quru saxlanılmış nümunələrin yük saxlama qabiliyyəti yaxşı olur. Rütubətliyin 80% dən aşağı halında, elektretlərin quruduqca itirdikləri yükü geri qazandıqları müəyyən edilmişdir. Elektret halının müvəqqəti itirilməsi havanın tərkibində olan suyun elektretin səthində təbəqə əmələ gətirməsi və tədricən onun daxilindəki boşluqlara adsorbsiyası ilə izah olunur. Elektretlərin uzun müddət rütubətli mühitlərdə saxlanması nəticəsində havanın tərkibində olan su elektretin daxilindəki boşluqlara sızır və elektretə qalıcı zərərə səbəb olur. Bu isə, öz

növbəsində polimerin səthi elektrik keçiriciliyinin artmasına və səthdə olan yüklərin relaksasiyasına gətirib çıxarır.

Digər bir işdə [30] müəlliflər tərəfindən kristallaşmanın temperatur zaman şəraitinin elektrik sahəsinin təsiri altında polyarlaşdırılmış polipropilen və kadmiyum sulfid əsasında nanokompozitlərinin quruluşuna və xassələrinə təsiri araşdırılmışdır. Kristallaşmanın temperatur zaman şəraitinin PP/CdS əsaslı nanokompozitlərinin quruluşuna, möhkəmliyinə və fotolüminessensiya xassələrinə təsiri araşdırılmış və kristallaşmanın temperatur zaman şəraitinin və digər texnoloji parametrlərin polimerin üstmolekulyar quruluşunu, kompozitlərin komponentləri arasındakı fazalararası qarşılıqlı təsiri və fazalararası təbəqənin qalınlığını dəyişdiyi müəyyən edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, temperatur-zaman rejimlərindən biri olan yavaş soyudulma rejimində əldə edilən nanokompozitlərin lüminessensiya spektrlərinin intensivliklərinin artması, yeni CdS lüminessensiya mərkəzlərinin həyəcanlanmasına səbəb olan kompozitlərin komponentlərinin fazalararası qarşılıqlı təsirin artması ilə bağlıdır.

Polimer dielektriklərdə elektret effektinin tədqiqi yük halı və molekulyar səviyyədə yükün daşınması haqda informasiya əldə etməyə imkan verir. Təcrübə olaraq müəyyən edilmişdir ki, polimer dielektriklərin elektret halının formalaşmasında polimerin üst molekulyar quruluşu çox mühüm rol oynayır. Polimerlərin elektret xassələrinin onun elektrofiziki xassələrindən, üst molekulyar quruluşundan asılılığının müəyyənləşdirilməsi verilmiş tətbiq sahəsi üçün optimal polimer materialının seçilməsi zamanı xüsusi praktik əhəmiyyət kəsb edir [31]. Polyarlaşma şərtləri, polimer matrisə daxil edilən doldurucunun təbiəti, dielektrikin quruluşu və bu kimi digər amillər polimerlərin elektret xassələrinin formalaşmasında vacib rol oynayır. Bu istiqamətdə görülən işlər, müxtəlif üstmolekulyar quruluşlara malik polimerlərdə elektrik yüklərinin stabilləşməsinə və relaksasiya xassələrinin tədqiqinə təkan olmuşdur. Beynəlxalq simpoziumlarda bu istiqamətdə aparılan işlərə həsr olunmuş, elektretlər haqqında onlarla məqalə məruzə edilmişdir [32].

Verilmiş işdə [33] əridilmiş polipropilen (PP) liflər taclı boşalmanın təsiri altında elektrik sahəsində işlənməyə məruz qalmışdır. Liflərin elektret halı daha sonra termostimullaşdırılmış depolyarizasiya cərəyanı (TSDC) ilə tədqiq edilmişdir. Taclı boşalmanın təsiri altında polyarlaşmadan sonra PP liflərinin elektret halının Maksvell-Vaqner polarizasiyası və yük tələlərinin birgə təsirinə nəticəsi olduğu göstərilmişdir. Maksvell-Vaqner polyarlaşması, elektron şüa və ya taclı boşalmanın təsiri altında polyarizasiya kimi xarici mənbələrdən yüklü hissəciklər injeksiya olunmuş polimer nümunələr və liflər üçün xarakterikdir. Aktivləşmə enerjisi və bu proseslər üçün relaksasiya müddətləri müəyyən olunmuş və yük tələlərinin xüsusiyyətləri hesablanmışdır. Taclı boşalmanın təsiri altında polyarlaşdırılmış PP liflərində əmələ gələn elektret halının daha uzun müddətli (bir neçə ay) olduğu müəyyən edilmişdir. Termik işlənmə temperaturu və elektrik sahəsinin intensivliyinin PP liflərindəki elektret halına təsirinə dair analizi nəticəsində, sənaye istehsalı üçün PP əsaslı elektretin optimal texnoloji rejimləri təyin edilmişdir.

[16]-da göstərilmişdir ki,  $TiO_2$  nano hissəcikləri Pİ matrisində paylandıqda, nanokompozitlərdə iki cür mexanizmin baş verməsi mümkündür. Birincisi, toplu olaraq  $TiO_2$  nanohissəciklərinin daxil edilməsi ilə meydana gələn keçirici şəbəkə səbəbindən elektronlar asanlıqla elektrik sahəsinin təsiri altında nanokompozitlərə injeksiya oluna bilərlər.  $TiO_2$  nanohissəcikləri sərbəst həcmi azaltmaq üçün sərbəst həcmi və nisbətən böyük tələləri tuta bilər. İkincisi, nanohissəciklərin həcmə paylanması yığılmış elektrik enerjisinin paylanmasına təsir edir və bir elektronun "hot" elektron olma ehtimalı daha aşağı düşür. Beləliklə, nanohissəciklərin həcm boyu bərabər paylanması yüklü hissəciklərlə zəncirlərin birbaşa toqquşmasının qarşısını alır. Həmçinin,  $TiO_2$  nanohissəciklərinin polimer matrisə daxil edilməsi ilə nanokompozitlərin yaşama müddətinin artdığı müəyyən edilmişdir.

Tərkibində qeyri-üzvi əlavələr olan polimer əsaslı kompozitlərin xassələrinin araşdırılması ilə əldə olunan nəticələr onu deməyə imkan verir ki, bu cür materialların uzun müddətli elektret halı dielektrikin quruluşunun qeyri-bircinsliyi hesabına onun həcmində, komponentləri arasında mövcud olan fazalararası sərhəddin mövcudluğu hesabına formalaşır. Fazalararası sərhəd elektret halının uzun müddət saxlanması ilə yanaşı həmçinin dielektrikin həcmi boyunca Maksvell-Vaqner polyarlaşmasının yaranmasına gətirib çıxarır. Kristallik və amorf fazaların ayrılma sərhəddi olan bu fazalararası sərhəd həmçinin yük toplamaq qabiliyyətinə malik olan tələ rolunu oynayır.

Müəyyən edilmişdir ki, polimer matrisə lüminessensiya, maqnit, fotovoltaiq, fotorezistor və eləcə də digər aktiv xassələrə malik doldurucuların daxil edilməsilə nanokompozitin aktiv xassələri də dəyişə bilər. Aktiv xassələrdəki bu dəyişiklik nanokompozitin fazalararası sərhəddində yığılan yüklərin təsiri ilə hissəciklə matrisə arasındakı qarşılıqlı təsirin dəyişməsi hesabına baş verir [34]. Ona görə də, metal oksidlərinin polimer matrisəyə daxil edilməsi hesabına nanokompozitlərdə fotolüminessensiya, elektret, fotovoltaiq, fotokeçiricilik, maqnit və eləcə də digər xassələrin dəyişdirilməsi mümkündür. Odur ki, ədəbiyyatda metal oksid nanohissəciklərinin polimerə daxil edilməsilə yüksək aktiv xassələrə malik polimer nanokompozitlərin alınması və xassələrinin tədqiqinə dair işlər çox geniş yayılmışdır.  $TiO_2$  nanohissəciklərinin ən çox yayılmış fazaları - rutil və anataza oksigen vakansiyaları hesabına görünən oblasta düşən geniş lüminessensiya pikinə sahib luminescent maddələrdir [35]. Hər iki faza öz daxili fotolüminessensiya spektrlərinə görə bir-birindən kəskin şəkildə fərqlənir. Rutil kristal, sərbəst eksitonlara aid təqribən 3.0 eV qadağan olunmuş zonanın eninə yaxın dalğa uzunluğunda bir neçə dar fotolüminessensiya zolağı nümayiş etdirir [81]. Digər tərəfdən, 3.2 eV qadağan olunmuş zona eninə malik olan anatazın 2.3eV-də pikə sahib olan geniş bir spektrə malikdir [35].

Digər bir işdə [32],  $TiO_2$  nanohissəciklərinin konsentrasiyasının onların polipropilen (PP) polimer matrisində 5 % və 10% həcmi miqdarına uyğun olan PPT5 və PPT10 nanokompozitlərinin quruluşuna və fotolüminessensiya xassələrinə təsiri öyrənilmişdir. Fotolüminessensiya intensivliyinin polimer matrisində

titan dioksid nanohissəciklərinin konsentrasiyasının artması ilə artdığı müşahidə edilmişdir. Nanokompozitlərin inensivliyi 450–700 nm intervalda, 400 nm həyəcanlanma dalğa uzunluğunda ölçülmüşdür. TiO<sub>2</sub> nanohissəciklərinin 5% həcmi miqdarına uyğun olan nanokompozitlər üçün lüminessensiya spektrlərinin intensivliyinin, 10% həcmi miqdara uyğun nanokompozitlərlə müqayisədə daha çox olduğu müşahidə edilmişdir. Bu onunla izah olunur ki, nanohissəciklərin polimer matrisədə miqdarının artması onların aqlomerasiyasına gətirib çıxarır. Bu isə lüminessent nanohissəciklərin xüsusi səth sahəsinin kiçilməsinə səbəb olur.

TiO<sub>2</sub> nanohissəciklərinin ölçülərinin (30, 150, 300 və 500 nm) və polimer matrisədəki miqdarının (0%-50%) yekun TiO<sub>2</sub>, maye kristal (MK) və polimer əsaslı nanokompozitlərin fotolüminessensiya xassələrinə təsiri kvant nöqtələri (KN) daxil edilmiş polimer əsaslı nanokompozitlərlə müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır [36]. Müəyyən olunmuşdur ki, TiO<sub>2</sub>/MK/polimer sistemi üçün müşahidə olunan fotolüminessensiya spektrlərinin intensivliyi kvant nöqtələri daxil edilmiş polimer kompozitlə müqayisədə təxminən 6 dəfə daha çoxdur. Həmçinin, TiO<sub>2</sub>-nin 0,1 % həcmi miqdarında TiO<sub>2</sub>

nanohissəcikləri və MK/polimer matrisi arasında sinergizm effekti müşahidə edilmişdir ki, bu da düşən işığın gedilən yolunu və kvant nöqtələri ilə qarşılıqlı təsir ehtimalını artırır. Bu isə, öz növbəsində, belə materialların flüorosensiyasının artmasına səbəb olur. Nanohissəciklərin (150 nm) 0,1% miqdarına uyğun kompozitlərdə flüoressensiya xassələri materialın mexaniki xassələrini pisləşdirmədən yaxşılaşır. Lakin, bu effekt nanohissəciyin faiz miqdarının növbəti artımı ilə aradan qalxır. Beləliklə, TiO<sub>2</sub> nanohissəciklərinin polimerdə optimal həcmi miqdarı və ölçüsü müəyyən edilmişdir ki, bu da optik cihazlar üçün innovativ kvant nöqtələri panellərinin istehsalında atılmış mühüm addımdır.

Ədəbiyyat analizi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, polimer matrisə lüminessensiya, maqnit, fotovolttaik, fotorezistor və eləcə də digər aktiv xassələrə malik doldurucuların daxil edilməsilə nanokompozitin aktiv xassələri də dəyişə bilər. Aktiv xassələrdəki bu dəyişiklik nanokompozitin fazalararası sərhəddində yığılan yüklərin təsiri ilə hissəciklə matrisə arasındakı qarşılıqlı təsirin dəyişməsi hesabına baş verir.

- [1] G. Sessler and R. Gerhard-Multhaupt. Electrets: 3rd Ed., Laplacian Press, Morgan Hill, California, USA, 1999.
- [2] N. Kestelman. Electrets in engineering: Fundamentals and applications. Springer, 2000.
- [3] M. Goel. Electret sensors, filters and MEMS devices: New challenges in materials research. Current science, 2005, vol. 85, №4, pp. 443-453.
- [4] J. Giacometti, S. Fedosov and M. Costa. Brazilian J. Phys., 1999, vol. 29, №2, pp. 269-279.
- [5] J. A. Giacometti and O. N. Oliveira. Corona charging of polymers. IEEE Trans. Electr. Insul., 1992, vol. 27, №5, pp. 924-943.
- [6] D. Faust etc. Investigations into the reliability of electrophotography. 1975.
- [7] A. E. Job, J. A. Giacometti, and L. H. Mattoso. Applied Physics Letters, 1998, 72(25), 3279-3281.
- [8] S. Sapiha, J. Cerny and L. Martinu. 1993, The Journal of Adhesion, 42(1-2), 91-102.
- [9] M. Galikhanov, A. Borisova and R. Deberdeev. Russian J. Appl. Chem., 2005, vol. 78, №5, pp. 820-823.
- [10] N. Mohmeyer etc. Additives to improve the electret properties of isotactic polypropylene. Polymer, 2007, vol. 48, pp. 1612-1619.
- [11] C. Reedyk and M. Perlman. The measurement of surface charge. J. Electrochem. Soc., 1968, vol. 115, № 1, pp. 49-51.
- [12] L. Pinchuk etc. Engineering composite electrets material. 11th Int'l. Conf. Composite Materials, 1997, pp. 859-869
- [13] M.A. Ramazanov, A.S. Guseinova. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2013, 49 (2), p. 97-100.
- [14] G. M. Sessler. Electrets: recent developments. J. Electrostat., 2001, vol. 51-52, p.137-145.
- [15] R. Jourdain etc. New materials for micro-scale sensors and actuators: An engineering review. Materials Sci. and Engineering: R: Reports, vol.56, №1-6, 2007, pp. 1–129
- [16] B. Kulyka etc.. J. Alloys and Compounds, vol. 502, 2010, pp. 24–27,
- [17] J. Zha etc. J. Electrostat., vol. 69, 2011, pp. 255-260.
- [18] A. Viraneva etc. Effect of TiO<sub>2</sub> particle incorporation on the electret properties of corona charged polypropylene composite films. Bulg. Chem. Communications, 2013, vol. 45, №. B, pp. 73-76.
- [19] A. Mills. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 1997, 108(1), 1-35
- [20] A. L. Linsebigler. Chemical Reviews, 1995, 95(3), 735-758.
- [21] M. Anpo, Research on Chemical Intermediates, 1989, 11(1), 67-106.
- [22] T. Kazashka and T. Yovcheva. Composite electret's films on the base of the polylactic acid. University of Plovdiv, "Paisii Hilendarski", Scientific studies, Physics, 2013, vol. 38.
- [23] A. Viraneva, T. Yovcheva and M. Galikhanov. Electret properties of PP/ZnO and PP/CuO composite films. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2015, vol. 22, № 3, pp. 1343-1348.
- [24] Xia Zhongfu. Influence of quenching on the charge stability of polymer electrets. 6th International Symposium on Electrets, (ISE 6) Proceedings.
- [25] Thermold Design And Development Inc Wilson Nc. 1981. Final progress report on

- contract DAAK10-79-C-0403 (Thermold design and development, Inc).
- [26] *P.M. Aceeva, G.E. Zaikov.* Горение полимерных материалов. М.: Химия, 1981, 280 с.
- [27] *A.I. Gubkin.* Electrets. Nauka: Moscow, 1978, 13.
- [28] *G.A. Lushcheikin.* Polymer Electrets. Nauka: Moscow, 1976.
- [29] *Y.A. Gorokhvatskii.* Basics of Thermal Depolarization Analysis. Nauka: Moscow, 1981.
- [30] *F. Gutmann.* The Electret. Reviews of Modern Physics, 20(3), 1948, 457–472.
- [31] *A.M. Маггеррамов.* Электрические процессы в технике и химии, 2011, т. 47, №5, с. 60–64.
- [32] *Л. А. Костандов и др.* Способ получения композиционного материала. Х. М. А., Авт. Свид. СССР 763379; Бюл. изобр., №34, 1980, с. 129.
- [33] *S. Bazhenov.* J. Mater. Sci., 1997, v. 32, p. 797–802.
- [34] *A. Kravtsov etc.* Advances in Polymer Technology, 2000, 19(4), 312–316.
- [35] *M. Ramazanov etc.* Acta Physica Polonica A, 2017, 131(6), 1540–1543.
- [36] *N. D. Abazovic etc.* The Journal of Physical Chemistry B, 2006, 110(50), 25366–25370.
- [37] *S. Zhangetc.* Fluorescence enhancement of quantum dots from the titanium dioxide/liquid crystals/polymer composite films. Liquid Crystals, 48(3), 2020, 322–335.

**A.M. Rahimli**

### **PHOTOLUMINESCENCE AND ELECTRET PROPERTIES OF THERMOPLASTIC POLYMER-BASED NANOCOMPOSITES MODIFIED WITH METAL-OXIDE NANO PARTICLES**

It is known that the active properties of a nanocomposite can be changed by introducing various nanosized particles matrix possessing luminescent, magnetic, photovoltaic, photoresistive and other active properties into the polymer. However, due to the fact that the systematic analysis of above-mentioned properties of polymer-based nanocomposites modified with metal oxide nanoparticles is not fully carried out, it is important to continue research in this area, both experimentally and theoretically. The presented article is devoted to the production of thermoplastic polymer-based nanocomposites modified with oxide nanoparticles and the study of photoluminescence and electret properties.

**A.M. Рагимли**

### **ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТАЛЛООКСИДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ**

Известно, что активные свойства нанокompозита можно изменять, вводя в полимер различные наноразмерные частицы, обладающие люминесцентными, магнитными, фотоэлектрическими, фоторезисторными и другими активными свойствами. Однако в связи с тем, что систематический анализ этих свойств нанокompозитов на основе полимеров, модифицированных наночастицами оксидов металлов не проводился в полной мере, важно продолжить исследования в этой области как экспериментально, так и теоретически. Представленная статья посвящена получению нанокompозитов на основе термопластичных полимеров, модифицированных оксидными наночастицами, а также исследованию фотолюминесцентных и электретных свойств.

*Qəbul olunma tarixi: 26.10.2021*