

ÇOXDİVARLI KARBON NANOBORUNUN EPOKSİ POLİMERDƏ DİSPERSİYASININ SEM ANALİZİ VƏ HAZIRLANAN KOMPOZİTİN SABİT CƏRƏYAN KEÇİRİCİLİYİNİN TƏYİNİ

TƏRANƏ ORUCOVA¹, GÜLNAZ QƏHRƏMANOVA², RASİM CABBAROV¹

¹Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu,

Hüseyn Cavid pr. 131 Bakı, Azərbaycan

²Fransız-Azərbaycan Universiteti, Nizami küçəsi 183, Bakı, Azərbaycan

Ümumi olaraq, karbon nanoboru (KNB)-polimer kompozitin xüsusiyyətləri dolğu şəbəkəsinin strukturundan güclü şəkildə asılıdır. Bu məqalədə çox divarlı karbon nanoborunun (ÇDKN) epoksida dispersiyası, emal şərtləri və KNB-epoksi kompozitinin elektrik keçiriciliyinə təsir edən amilləri araşdırılmışdır. Epoksi polimerinə 4% KNB daxil edilərək onun elektrik keçiriciliyi tədqiq edilmişdir. Əldə olunan kompozitin SEM görüntüləri əldə edilmiş və KNB-epoksi kompoziti daxilində yaranmış müxtəlif şəbəkələrin onların elektrik keçiriciliyinə təsiri araşdırılmışdır.

Açar sözlər: Karbon nanoboru, epoksi, epoksi kompozit, elektrik xüsusiyyətləri

PACS: 72.80.Tm; 72.80.Tm, 64.60.ah, 82.35.Np

GİRİŞ

Son zamanlar karbon nanoboru (KNB) əsaslı nanokompozitlər çoxfunksiyalı tətbiqlərdəki istifadə imkanına görə böyük maraq kəsb edir[1]. Polimer və ya keramika materiallarına kiçik miqdarda KNB-ların əlavə edilməsi ilə elektrik keçiriciliyində əhəmiyyətli yaxşılaşma baş vermişdir [2, 3]. Həmçinin materialın tərkibinə KNB-ların əlavə etməklə onun elektrik, mexaniki və istilik xassələrini yaxşılaşdırmaq olar. KNB-lar bir matris materialına səpələndikdə matris daxilində KNB –nin keçirici şəbəkələri formalaşır. Bu şəbəkənin yaranması polimer matrisin növündən, emal texnologiyasından və istifadə olunan KNB materiallarının növündən asılı olacaq. Epoksi unikal mexaniki, istilik və elektrik xüsusiyyətlərinə malik olduğu üçün fiberlə gücləndirilmiş kompozitlərdə, yapışdırıcı və örtüklər kimi müxtəlif tətbiqlər üçün cəlbəedici [4-7]. Bundan əlavə bərkidilmiş epoksi kövrək, sərt və çatlaqların yayılmasına qarşı aşağı müqavimət və zəif təsir gücünə malikdir [8, 9]. Tədqiqatçılar epoksi-KNB kompozitlərinin mexaniki, istilik və elektrik xassələrini ətraflı araşdırıblar [10-13]. KNB dispersiyasını polimer matrisə tənzimləmək nanokompozitlərlə əlaqəli tətbiqlərdə vacibdir [16]. KNB-ların polimer matrisə effektiv şəkildə daxil edilməsi polimerlə qarşılıqlı təsirdən asılıdır [17,18]. KNB-nin səthində funksional qrupların tətbiqi polimerə səmərəli yapışmağa və daha yaxşı dispersiyaya kömək edir. Nanoborular və nanoboruların qovşağının təmas nöqtələrində nazik izolyasiya təbəqələri əmələ gələ bilər. Bu yazının məqsədi matrisin daxilində yaranan şəbəkəni və karbon nanoboru- epoksi kompozitinin elektrik keçiriciliyinə təsir edən amilləri araşdırmaqdır. Karbon nanoboruların aglomerasiyaya meyilliyinə görə kompozitin sintezi zamanı polimer içində vahid dispersiya əsas məsləhətdən biri hesab olunur [19-22].

EKSPERİMENT

Bu tədqiqatda müəlliflərin əvvəlki tədqiqatına [21, 22, 23] əsaslanaraq və həmin tədqiqatın davamı olaraq kütlə faizi 4% və ümumi həcmi 1,1mL olan

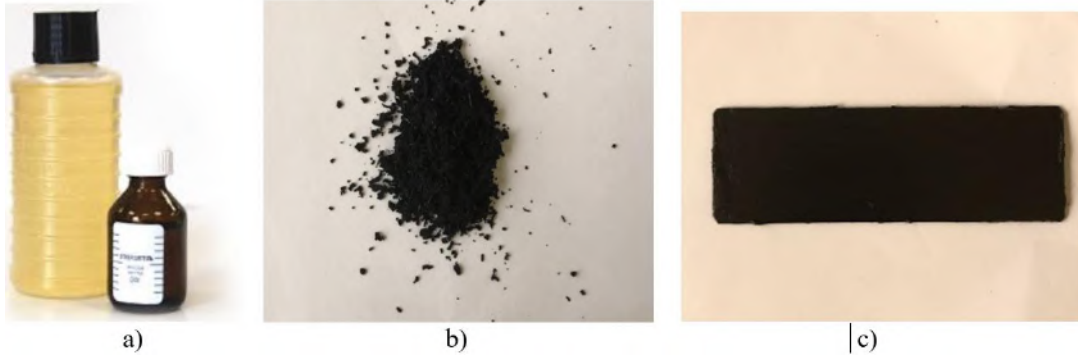
kompozit hazırlanmışdır. İstifadə olunan ÇDKNB A-CVD üsulu ilə sintez edilmişdir və sintez prosesi haqqında müəlliflərin əvvəlki 21, 22 və 23 nömrəli məqalələrində ətraflı qeyd edilmişdir. ÇDKNB-nun epoksida dispersiyasını təmin etmək üçün maqnit qarışdırıcı vasitəsilə 30°C temperaturda 4 saat qarışdırılmışdır. Daha sonra qarışığa 1% bərkidici/epoksi nisbətində bərkidici əlavə edilmişdir və alınan kompozit 2,5:7,5 (sm) ölçülü mikroskop şüşəsi üzərinə mexaniki yayılma üsulu ilə çəkilərək 50 mkm qalınlığında kompozit təbəqə formasına salınmışdır və 10 gün otaq temperaturunda qurudulmuşdur (Şəkil 1). Tədqiqatda istifadə olunan epoksi məişətdə istifadə üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Qurulduqdan sonra kompoziti xarakterizə etmək üçün Skanedic Elektron Mikroskopundan (SEM) istifadə edilmişdir (şəkil 2). SEM analizləri nümunənin səth boyu bütün hissələrində aparılmış və nəticələrindən ÇDKNB-ların epoksi daxilində tam dispersiya olunması müşahidə olunmuşdur. SEM nəticələri ÇDKNB-nun qeyri-kovelent polimerləşməsinə uyğundur. Belə ki, ÇDKNB-lar tam olaraq polimerlə örtülmüşdür və KNB-lar bir-birinə toxunaraq epoksi daxilində şəbəkə yaratmışdır. Belə polimerləşmə kompozitdə keçiriciliyi təmin edir.

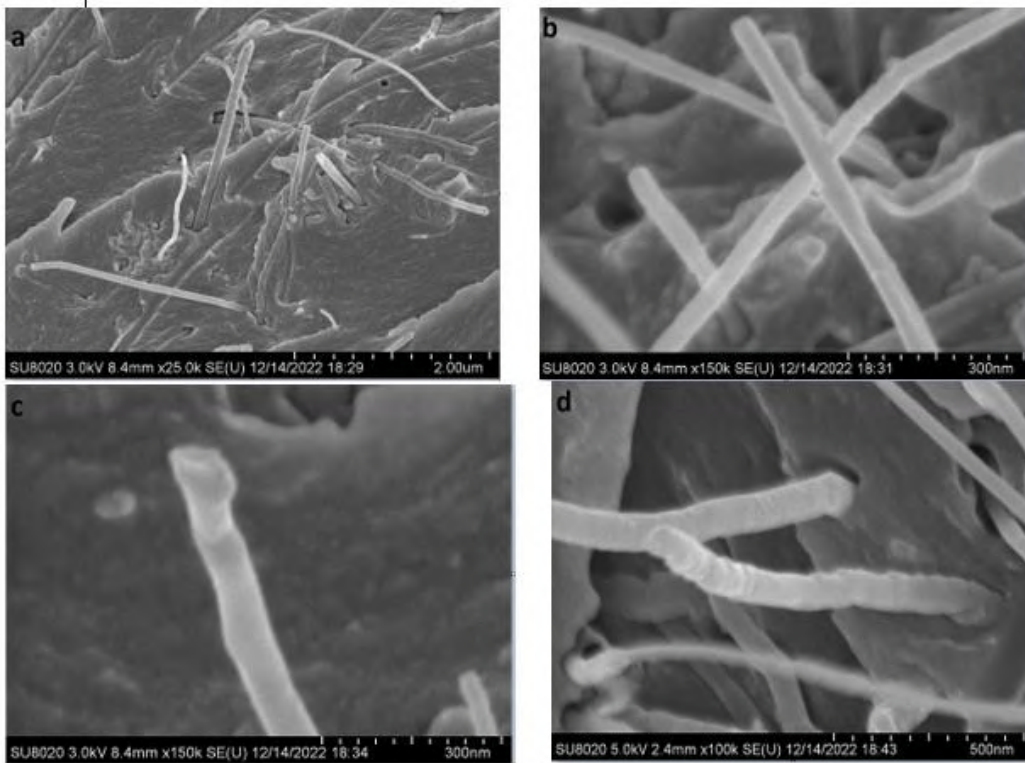
Kompozitin səth müqaviməti Keithley 6715B elektrometri vasitəsilə ölçülmüşdür. Səth müqavimətinin ölçülməsi üçün iki elektrod üsulundan istifadə edilmişdir. Kompozitin elektrik keçiriciliyi üçün volt-ampere xarakteristikası (VAX) ölçülmüşdür (şəkil 3). Sabit gərginlik mənbəyindən istifadə olunaraq 1-30 V aralığında hər addımı 1V olmaqla nümunəyə gərginlik verilmiş və nümunədən keçən cərəyan təyin edilmişdir. VAX-ı nümunənin səthində kontaktlar arasındakı məsafə 1 sm olmaqla müxtəlif hissələrdə dəfələrlə ölçülmüşdür və alınan nəticələr 99% dəqiqliklə bir-birini təkrarlamışdır. Bütün ölçülərin nəticələrinin orta statistik xətası hesablanaraq VAX qrafiki şəkil 3-də göstərilmişdir. VAX-nın xətti olmasından görünür ki, hazırlanan nümunə metallik xassəyə malikdir. ÇDKNB-nun kiçik faizi dielektrik xassəli epoksi polimerdə yüksək bircins keçiricilik yaratmışdır. VAX-nın xətti asılılığından səth müqavimətinin $1,7 \cdot 10^4$ Om və səth

keçiriciliyinin $3,4 \cdot 10^6 \text{Om} \cdot \text{sm}$ olması təyin edilmişdir. Bu nəticələri təmiz ÇDKNB/Epoksi kompozitlərinin

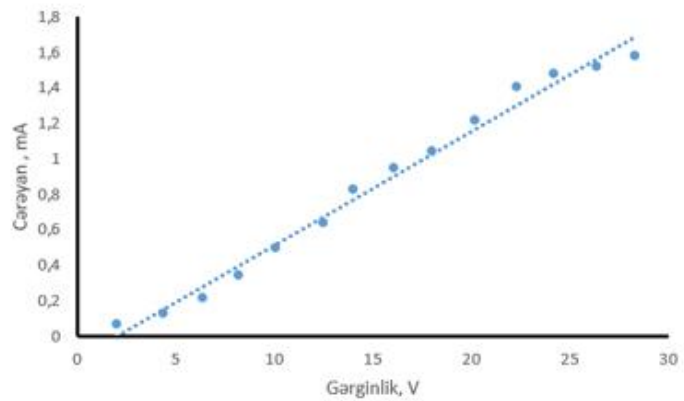
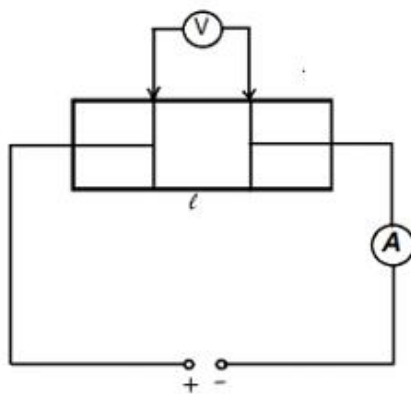
ədəbiyyatlarda verilmiş keçiricilikləri ilə müqayisəsi aparılmışdır.



Şəkil 1. Məişətdə istifadə üçün nəzərdə tutulmuş epoksi və bərkidici (a), ÇDKNB-sintezdən və termik təmizlənmədən sonra və şüşə üzərində ÇDKNB/Epoksi kompozit təbəqəsinin foto şəkilləri (b, c).



Şəkil 2. ÇDKNB/Epoksi kompozit təbəqəsinin səthinin müxtəlif hissələrindən SEM analizi.



Şəkil 3. Volt-ampere xarakteristikası üçün iki kontakt metodunun sxematik təsviri (a), hazırlanmış kompozitin VAX-ının statistik analizi (b).

NƏTİCƏ

A-CVD üsulu ilə sintez olunmuş və 450°C dərəcədə hava mühitində 30 dəq müddətində termik təmizlənmiş ÇDKNB-ların məişətdə kley kimi istifadə olunan, tam dielektrik xassələrinə malik epoksi ilə 4%-lik kompozit təbəqəsi hazırlanmışdır. Hazırlanmış 50 mkm qalınlıqlı nümu-

nələr hava mühitində və otaq şəraitində 10 gün müddətində qurudulduqdan sonra SEM analizləri aparılmış və VAX-ı ölçülmüşdür. SEM analizlərindən görünür ki, ÇDKNB-lar Epoksi daxilində bircins dispersiya kompozitin səhətində bircins elektrik keçiriciliyini təmin edir və bu dispersiya qeyri-kovalent polimerləşməyə uyğundur.

- [1] *E.T. Thostenson and T.W. Chou.* Adv. Mater. (Weinheim, Ger) 18, 2837, 2006.
- [2] *K. Ahmad, W. Pan and S. L. Shi.* Appl. Phys. Lett. 89, 133122, 2006.
- [3] *J.K. W. Sandler, J.E. Kirk, I.A. Kinloch, M.S.P. Shaffer and A.H. Windle.* Polymer 44, 5893, 2003; *J.C. Grunlan, A.R. Mehrabi, M.V. Bannan and J.L. Bahr.* Adv. Mater. (Weinheim, Ger.) 16, 150, 2004.
- [4] *J.W. Muskopf, S.B. McCollister.* Epoxy resins. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany, 1987.
- [5] *J.P. Pascault, R.J. Williams.* Epoxy Polymers: New Materials and Innovations, John Wiley & Sons: New York, 2009.
- [6] *J. Karger-Kocsis.* Epoxy polymers: new materials and innovations. *Macromol. Chem. Phys.* 2010, 211, 1836.
- [7] *C. Tan, H. Sun, B. M. Fung, B.P. Grady.* Properties of liquid crystal epoxy thermosets cured in a magnetic field. *Macromolecules* 2000, 33, 6249–6254.
- [8] *H. Lee, H. Neville.* Epoxy Resins: Their Applications and Technology. New York, USA, 1957. 978.
- [9] *S. Roy, K. Mitra, C. Desai, R. Petrova, S. Mitra.* Detonation nanodiamonds and carbon nanotubes as reinforcements in epoxy composites – a comparative study. *J. Nanotechnol. Eng. Med.* 2013, 4, 011008.
- [10] *C. Ma, H-Y Liu, X. Du, L. Mach, F. Xu, Y-W Mai.* Fracture resistance, thermal and electrical properties of epoxy composites containing aligned carbon nanotubes by low magnetic field. *Compos. Sci. Technol.* 2015, 114, 126–135.
- [11] *F. Vahedi, H. Shahverdi, M. Shokrieh, M. Esmkhani.* Effects of carbon nanotube content on the mechanical and electrical properties of epoxy-based composites. *New Carbon Mater.* 2014, 29, 419–425.
- [12] *V. Mahesh, B. Muralidhara, R. George.* Studies of influence on multiwalled carbon nanotubes (MWCNT's) reinforced epoxy based composites. *IJMER* 2014, 4, 58–63.
- [13] *B.P. Grady.* Recent developments concerning the dispersion of carbon nanotubes in polymers. *Macromol. Rapid Commun.* 2010, 31, 247–257.
- [14] *E.T. Thostenson, T.W. Chou.* Processing-structure-multi-functional property relationship in carbon nanotube/epoxy composites. *Carbon* 2006, 44, 3022–3029.
- [15] *L. Ci, J. Bai.* The reinforcement role of carbon nanotubes in epoxy composites with different matrix stiffness. *Compos. Sci. Technol.* 2006, 66, 599–603.
- [16] *H. Miyagawa, L.T. Drzal.* Thermo-physical and impact properties of epoxy nanocomposites reinforced by single-wall carbon nanotubes. *Polymer*, 2004, 45, 5163–5170.
- [17] *Y.H. Liao, O. Marietta Tondin, Z. Liang, C. Zhang, C. Wang.* Investigation of the dispersion process of SWNTs/SC-15 epoxy resin nanocomposites. *Mater. Sci. Eng. A* 2004, 385, 175–181.
- [18] *D. Tasis, N. Tagmatarchis, A. Bianco, M. Prato.* Chemistry of carbon nanotubes. *Chem. Rev.* 2006, 106, 1105–1136.
- [19] *F.H. Gojny, M.H. Wichmann, B. Fiedler, K. Schulte.* Influence of different carbon nanotubes on the mechanical properties of epoxy matrix composites—a comparative study. *Compos. Sci. Technol.* 2005, 65, 2300–2313.
- [20] *C. Carpenter, P. Shipway, Y. Zhu, D. Weston.* Effective dispersal of CNTs in the fabrication of electrodeposited nanocomposites. *Surf. Coat. Technol.* 2011, 205, 4832–4837.
- [21] *S.S. Abdullayeva, N.N. Musayeva, C. Frigeri, A.B. Huseynov, R.B. Jabbarov, R.B. Abdullayev, C.A. Sultanov and R.F. Hasanov.* 2015, Characterization of High Quality Carbon Nanotubes Synthesized via Aerosol—CVD. *Journal of Advances in Physics*, 11, 3229–3240.
- [22] *Gülnoz Qəhrəmanova, Fəridə Aliyeva, Rasim Cabbarov.* Çox divarlı karbon nanoboru/polimer (Epoksi, Polipropilen, Xitosan) Kompozitlərinin hazırlanması və elektrik xassələri// Azerbaijan Journal of Physics. 2021 volume XXVII No2, section: AZ, p-19-25
- [23] *S.H. Abdullayeva, G.K. Gahramanova, F.A. Aliyeva, R.B. Jabbarov.* Fabrication of multi-walled carbon nanotubes thin films” Sumgayit State University and Kazan State Power Engineering University the II International Scientific Conference on Topical Issues of Applied Physics and Energy, page 160-161 Sumqayit – 2020

Tarana Orujova, Gulnaz Gahramanova, Rasim Jabbarov

SEM-ANALYSIS OF MULTIWALLED CARBON NANOTUBE DISPERSION IN EPOXY POLYMER AND DETERMINATION OF THE CONSTANT CURRENT CONDUCTIVITY OF THE PREPARED COMPOSITE

In general, the properties of carbon nanotube (CNT)-polymer composite strongly depend on the structure of the filler network. This paper deals with the epoxy dispersion of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs), processing conditions and factors affecting the electrical conductivity of the epoxy CNT composite. By introducing 4% CNTs into the epoxy polymer, its electrical conductivity was investigated. SEM images of the resulting composite were obtained and the effect of different networks created inside the CNT-epoxy composite on their electrical conductivity was studied.

Тарана Оруджова, Гульназ Гахраманова, Расим Джаббаров

SEM-АНАЛИЗ ДИСПЕРСИИ МНОГОСТЕННОЙ УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКИ В ЭПОКСИДНОМ ПОЛИМЕРЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ТОКА ГОТОВОГО КОМПОЗИТА

В общем свойства композита углеродной нанотрубки (УНТ)-полимер сильно зависит от структуры сети наполнителя. В данной статье рассматривается дисперсия многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) в эпоксидной смоле, условия обработки и факторы, влияющие на электропроводность эпоксидного композита УНТ. Была исследована электропроводность композита при введении 4% УНТ в эпоксидный полимер. Были получены СЭМ-изображения полученного композита и изучено влияние различных сетей, созданных внутри композита УНТ-эпоксидная смола, на их электропроводность.

Qəbul olunma tarixi: 21.09.2023