

PMMA ASOSIDAGI QATTIQ POLIMER ELEKTROLITLARDA DIELEKTRIK RELAKSATSIYA VA ION O‘TKAZUVCHANLIKNING O‘ZARO BOG‘LIQLIGI

Uktamaliyev Bekzod
Abdukarimov Abdullaziz
Mamatkarimov Odiljon
Syadaliyev Abdulbori
Baxromjonova Shoxista

Namangan davlat pedagogika instituti

E-mail: uktamaliyevb@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.23333484>

Annotatsiya. Ushbu tezisdagi polimetilmetakrilat (PMMA) asosidagi qattiq polimer elektrolitlarda dielektrik relaksatsiya va ion o‘tkazuvchanlik jarayonlarining o‘zaro bog‘liqligi nazariy hamda ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilingan. Polimer matritsada zaryad tashuvchilarning harakatchanligi, ionlarning koordinatsion o‘zaro ta’siri, segmental relaksatsiya va fazalararo qutblanishning elektr transportiga ta’siri ko‘rib chiqilgan. Kompleks dielektrik singdiruvchanlik, elektr moduli va impedans spektroskopiyasi yordamida ion transporti mexanizmlarini baholash imkoniyatlari asoslangan.

Kalit so‘zlar: PMMA, qattiq polimer elektrolit, ion o‘tkazuvchanlik, dielektrik relaksatsiya, impedans spektroskopiyasi, elektr moduli, aktivatsiya energiyasi.

Аннотация. В тезисе на основе теоретического анализа и научной литературы рассмотрена взаимосвязь диэлектрической релаксации и ионной проводимости в твёрдых полимерных электролитах на основе полиметилметакрилата (ПММА). Проанализировано влияние подвижности носителей заряда, координационных взаимодействий ионов, сегментальной релаксации полимерных цепей и межфазной поляризации на процессы электрического транспорта. Рассмотрены возможности исследования механизмов ионного переноса с использованием комплексной диэлектрической проницаемости, электрического модуля и импедансной спектроскопии.

Ключевые слова: ПММА, твёрдый полимерный электролит, ионная проводимость, диэлектрическая релаксация, импедансная спектроскопия, электрический модуль, энергия активации.

Abstract. This thesis presents a theoretical and literature-based analysis of the relationship between dielectric relaxation and ionic conductivity in poly(methyl methacrylate) (PMMA)-based solid polymer electrolytes. The effects of charge-carrier mobility, ion coordination, polymer-chain segmental relaxation, and interfacial polarization on electrical transport are discussed. The potential of complex dielectric permittivity, electric modulus formalism, and impedance spectroscopy for characterizing ionic transport mechanisms is examined. Particular attention is given to the relationship between relaxation dynamics and ionic conductivity and its significance for energy-storage applications.

Keywords: PMMA, solid polymer electrolyte, ionic conductivity, dielectric relaxation, impedance spectroscopy, electric modulus, activation energy.

KIRISH

Zamonaviy litiy-ion va boshqa elektrokimyoviy energiya saqlash qurilmalarining rivojlanishi yuqori ion o'tkazuvchanlikka, mexanik barqarorlikka va maqbul elektrokimyoviy xususiyatlarga ega elektrolit materiallarni ishlab chiqishni talab qiladi. Shu jihatdan polimetilmetakrilat asosidagi polimer elektrolitlar istiqbolli tadqiqot obyekti. PMMA tarkibidagi karbonil guruhlari litiy ionlari bilan koordinatsion o'zaro ta'sirlashishi mumkin; nisbatan yuqori shishalanish harorati esa xona haroratida segmental harakatni cheklashi mumkin [1].

Tadqiqotning maqsadi — PMMA asosidagi qattiq polimer elektrolitlarda dielektrik relaksatsiya va ion o'tkazuvchanlikning fizik bog'liqligini nazariy tahlil qilish hamda uni eksperimental aniqlash mezonlarini asoslash.

ASOSIY QISM

Dielektrik relaksatsiyaning fizik mohiyati. Dielektrik relaksatsiya — o'zgaruvchan elektr maydon ta'sirida yuzaga kelgan qutblanishning maydon o'zgarishiga kechikib javob berishidir. Polimer elektrolitlarda ionlarning lokal siljishi, dipollarning qayta yo'nalishi, segmental harakat va fazalararo zaryad to'planishi bu hodisaga hissa qo'shishi mumkin.

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) - i\varepsilon''(\omega) \quad (1)$$

Bu yerda ε' — dielektrik singdiruvchanlikning haqiqiy qismi, ε'' — yo'qotishlarni tavsiflovchi mavhum qism, $\omega = 2\pi f$ — burchak chastota. Oddiy Debay relaksatsiyasi uchun:

$$\tau = 1/(2\pi f_{\max}) \quad (2)$$

Real polimer elektrolitlarda relaksatsiya ko'pincha Debay modelidan chetlanadi; shuning uchun relaksatsiya vaqtini tanlangan model va spektr turiga mos baholash lozim.

Ion o'tkazuvchanlik va uning fizik parametrlari

Ion o'tkazuvchanlik zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi va harakatchanligiga bog'liq. Musbat harakatchanlik moduli ishlatilganda ionlarning hissasi quyidagicha yoziladi:

$$\sigma_{\text{ion}} = \sum n_i |q_i| \mu_i \quad (3)$$

Impedans spektroskopiyasida aniqlangan hajmiy qarshilik asosida:

$$\sigma_{dc} = l/(R_{\beta} S) \quad (4)$$

Bu yerda l — namuna qalinligi, S — elektrod yuzasi, R_{β} — hajmiy qarshilik. Ayrim tizimlarda haroratga bog'liqlik Arrenius ifodasi bilan tavsiflanadi:

$$\sigma_{dc}(T) = \sigma_0 \exp[-E_a/(k_{\beta} T)] \quad (5)$$

Segmental harakatga kuchli bog'langan elektrolitlarda Vogel–Tammann–Fulcher tipidagi bog'lanish ham kuzatilishi mumkin.

Dielektrik relaksatsiya va ion transportining o'zaro bog'liqligi

Ion transporti va dielektrik relaksatsiya ionlarning lokal harakati, koordinatsion muhit o'zgarishi va polimer segmentlarining qayta joylashishi orqali bog'langan. Kompleks elektr moduli ionlarning dinamik javobini tahlil qilishda ishlatiladi:

$$M^*(\omega) = 1/\varepsilon^*(\omega) = M'(\omega) + iM''(\omega) \quad (6)$$

Biroq lokal dielektrik relaksatsiya va uzoq masofali ion transporti har doim bir xil vaqt masshtabida kechmaydi. Shuning uchun $\varepsilon^*(\omega, T)$, $M^*(\omega, T)$, $\tau(T)$, $\sigma_{dc}(T)$ va E_a parametrlarini birgalikda o'rganish maqsadga muvofiq [7–9].

Ilmiy tadqiqotlar tahlili va istiqbollar. Dastlabgi ishlarimizda tomonidan polimer elektrolitlarning ion o'tkazuvchanligi, impedans parametrlari hamda litiy tuzlarini saqllovchi tizimlarning transport xususiyatlariga bag'ishlangan ishlar e'lon qilingan [1–6]. Ushbu tadqiqot yo'nalishlari PMMA–LiTf va PMMA–LiTf–TiO₂/ZnO tizimlarida chastota hamda haroratga bog'liq dielektrik spektrlarni solishtirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

TiO₂ va ZnO nanozarralari polimer–yarimo'tkazgich fazalararo chegarasida zaryad to'planishi va relaksatsiya jarayonlariga ta'sir ko'rsatishi mumkin. Biroq ta'sirning yo'nalishi va miqdori tajriba bilan tekshirilishi kerak; ushbu tezis yangi eksperimental natijalarni da'vo qilmaydi.

XULOSA

PMMA asosidagi qattiq polimer elektrolitlarda dielektrik relaksatsiya va ion o'tkazuvchanlik bir-biri bilan bog'liq, biroq aynan bir xil fizik jarayon emas. Kompleks impedans, dielektrik singdiruvchanlik va elektr moduli spektrlarini birgalikda tahlil qilish ion transportining xarakterli vaqtlarini, aktivatsiya energiyasini va polimer matritsa dinamikasining rolini aniqlashga yordam beradi. PMMA–LiTf–TiO₂/ZnO kompozitlarini qiyosiy tadqiq etish fazalararo elektrofizik jarayonlarni chuqurroq tushuntirishga xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Mamatkarimov O., Uktamaliyev B., Abdurkarimov A. Determination of ionic conductivity of polymer electrolytes in Li-ion batteries using electrochemical impedance spectroscopy. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*. 2021;11(7):141–146. DOI: 10.5958/2249-7137.2021.01735.3.
2. Uktamaliyev B.I., Abdurkarimov A.A., Mamatkarimov O.O. Ionic Conductivity and Dielectric Constant of a Solid Polymer Electrolyte Containing Salts LiTf₂ and MgTf₂. *Converter*. 2021;7:897–902.
3. Uktamaliyev B.I. et al. Determination of transport properties for polymer electrolytes containing LiTf and MgTf₂ salts. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2023;763(1). DOI: 10.1080/15421406.2023.2191446.
4. Uktamaliyev B. The temperature dependence of active and reactive impedances of PMMA–EC–LiTf/MgTf₂ solid polymer electrolytes. *Namangan muhandislik-texnologiya instituti ilmiy-texnika jurnali*. 2023;8(3):86–91.
5. Uktamaliyev B.I. Electrochemical Impedance Spectroscopy Characterization of Solid Polymer Electrolytes. *Ilm sarchashmalari*. 2025;8-son.
6. Abdurkarimov A.A., Uktamaliyev B.I., Imomaliyev G.X. Components of Li-ion Battery Based on Polymers and Their Preparation Technology. *NamDU ilmiy axborotnomasi*. 2021;10-son.
7. Raja V., Sharma A.K., Narasimha Rao V.V.R. Impedance spectroscopic and dielectric analysis of PMMA-CO-P4VPNO polymer films. *Materials Letters*. 2004;58(26):3242–3247. DOI: 10.1016/j.matlet.2004.05.061.
8. Low Frequency Dielectric Relaxation and Conductance of Solid Polymer Electrolytes with PEO and Blends of PEO and PMMA. *Polymers*. 2020;12(5):1009.

9. Kanimozhi G. et al. Conductivity and dielectric permittivity studies of KI-based nanocomposite (PEO/PMMA/KI/I₂/ZnO nanorods) polymer solid electrolytes. *Polymer Composites*. 2019;40:2919–2928. DOI: 10.1002/pc.25123.

10. Abacı U., Güney H.Y., Yılmazoğlu M. Plasticizer effect on dielectric properties of poly(methyl methacrylate)/titanium dioxide composites. *Polymers & Polymer Composites*. 2021;29. DOI: 10.1177/09673911211014757.