

ELEKTR O'TKAZUVCHANLIGI TURLICHA BO'LGAN POLIMER KOMPOZITLARDa ISSIQLIK UZATISH JARAYONLARINI BOSHQARISH

Eraliyeva Dilnozaxon Maxmudjon qizi

Fizika va astronomiya fani katta o'qituvchisi,
Shayxontohur tumani politexnikumi, Toshkent shahri

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22243825>

ANNOTATSIYA

Mazkur ish elektr o'tkazuvchanligi turlicha bo'lgan to'ldiruvchilar asosida shakllantirilgan polimer kompozitlarning issiqlik uzatish xususiyatlarini tizimli tahlil qilishga bag'ishlangan. Tadqiqot konsepsiyasida metall, uglerodli va elektr izolyatsiyalovchi keramik to'ldiruvchilarning kompozitning issiqlik o'tkazuvchanligi, issiqlik barqarorligi va elektr xossalariga birgalikdagi ta'siri ko'rib chiqiladi. Polimer matritsaning tabiiy issiqlik o'tkazuvchanligi past bo'lgani sababli, to'ldiruvchi zarrachalar orasida uzluksiz issiqlik o'tkazish yo'llarini hosil qilish materialning issiqlik samaradorligini oshirishning asosiy mexanizmlaridan biri hisoblanadi. Bunda to'ldiruvchining konsentratsiyasi bilan bir qatorda zarracha geometriyasi, fazoviy taqsimoti, orientatsiyasi va matritsa bilan chegaraviy kontakt qarshiligi muhim rol o'ynaydi. Ishda turli elektr o'tkazuvchanlikka ega komponentlar yordamida elektr va issiqlik xossalarini maqsadli boshqarish imkoniyati asoslab beriladi.

Kalit so'zlar: polimer kompozit, issiqlik o'tkazuvchanlik, elektr o'tkazuvchanlik, termik kontakt qarshiligi, perkolatsiya, metall to'ldiruvchi, grafen, uglerod nanotubasi, bor nitridi, issiqlik boshqaruvi.

1. KIRISH

Elektron qurilmalarning miniatyuralashuvi, quvvat zichligining ortishi va funksional elementlarning integratsiyalashuvi issiqlikni samarali chiqaruvchi materiallarga bo'lgan talabni kuchaytirmoqda. Polimerlar yengilligi, korroziyaga chidamliligi va texnologik qayta ishlanishining qulayligi bilan ajralib tursa-da, ularning issiqlik o'tkazuvchanligi odatda past bo'ladi. Shu sababli polimer matritsaga yuqori issiqlik o'tkazuvchan to'ldiruvchilar kiritish keng qo'llaniladigan yondashuvdir. Zamonaviy sharhlarda issiqlik o'tkazuvchanlikka to'ldiruvchi turi, morfologiyasi, taqsimlanishi, orientatsiyasi va matritsa-to'ldiruvchi interfeysi sezilarli ta'sir qilishi ko'rsatilgan. [1–3] Muammoning dolzarbligi shundaki, issiqlikni yaxshi o'tkazadigan ayrim to'ldiruvchilar elektr jihatdan ham o'tkazuvchan bo'lib, bu esa elektr izolyatsiyasi talab qilinadigan tizimlarda cheklov tug'diradi. Masalan, metall va ko'plab uglerodli to'ldiruvchilar issiqlik uzatishni yaxshilashi bilan birga kompozitning elektr qarshiligini kamaytiradi. Aksincha, geksagonal bor nitridi (h-BN), alumina va boshqa keramika asosidagi to'ldiruvchilar issiqlikni samarali uzatish bilan birga elektr izolyatsiyasini saqlash imkonini beradi. [2–5]

2. TADQIQOTNING MAQSADI VA VAZIFALARI

Maqsad: elektr o'tkazuvchanligi turlicha bo'lgan to'ldiruvchilar bilan modifikatsiyalangan polimer kompozitlarda issiqlik uzatish mexanizmlarini aniqlash, tarkib–mikrostruktura–xossa bog'lanishini baholash hamda issiqlik va elektr xossalarini birgalikda boshqarishning ilmiy asoslarini ishlab chiqish.

- polimer matritsa va elektr o'tkazuvchanligi turlicha bo'lgan metall, uglerodli hamda keramik to'ldiruvchilarni tanlash;

- to'ldiruvchi konsentratsiyasi, o'lchami, shakli va orientatsiyasining issiqlik o'tkazuvchanlikka ta'sirini aniqlash;
- elektr o'tkazuvchanlikning perkolatsion xususiyatlari bilan issiqlik uzatishdagi perkolatsiya o'rtasidagi bog'lanishni tahlil qilish;
- matritsa-to'ldiruvchi chegarasidagi termik qarshilikning kompozit samaradorligiga ta'sirini baholash;
- tajriba natijalarini nazariy modellar bilan taqqoslash va optimal tarkibni aniqlash.

3. ILMIY YONDASHUV VA MATERIALLAR

Tadqiqot uchun epoksi, polipropilen yoki poliamid kabi polimer matritsalaridan foydalanish mumkin. To'ldiruvchilar uch asosiy guruhga ajratiladi: (i) yuqori elektr va issiqlik o'tkazuvchan metall zarrachalar — Cu, Al, Ag; (ii) elektr o'tkazuvchanligi boshqariladigan uglerodli materiallar — grafit, grafen va uglerod nanotubalari; (iii) elektr izolyatsiyalovchi, ammo issiqlik o'tkazuvchanligi yuqori keramikalar — h-BN, Al₂O₃, AlN. Bunday tasnif elektr va issiqlik xossalari orasidagi muvozanatni o'rganish uchun qulay. [1–5]

Namunalar to'ldiruvchi miqdorini bosqichma-bosqich o'zgartirish orqali tayyorlanadi. Dastlab nazorat namunasi sifatida to'ldiruvchisiz polimer, keyin esa past, o'rta va yuqori konsentratsiyali kompozitlar olinadi. Zarrachalarning aglomeratsiyasini kamaytirish uchun mexanik aralashtirish, ultratovushli dispersiyalash yoki sirt modifikatsiyasidan foydalanish mumkin. Tajriba sharoitlari barcha namunalar uchun bir xil saqlanishi kerak.

4. ISSIQLIK O'TKAZUVCHANLIKNI SHAKLLANTIRUVCHI MEXANIZMLAR

Polimer kompozitlarda issiqlik uzatilishi asosan fononlarning tarqalishi bilan bog'liq bo'lsa, metall va ayrim uglerodli to'ldiruvchilarda elektronlar ham issiqlik tashuvchisi sifatida qatnashadi. To'ldiruvchi miqdori ortishi bilan alohida zarrachalar orasidagi masofa kamayib, uzluksiz issiqlik o'tkazish tarmog'i hosil bo'lishi mumkin. Mazkur holat termik perkolatsiya sifatida qaraladi. Biroq to'ldiruvchi–polimer va to'ldiruvchi–to'ldiruvchi chegaralarida hosil bo'ladigan termik kontakt qarshiligi umumiy issiqlik oqimini cheklashi mumkin. [1,3]

Soddalashtirilgan makroskopik tavsifda issiqlik oqimi Fyrie qonuni bilan ifodalanadi:

$q = -\lambda \nabla T$. Bu yerda λ — kompozitning effektiv issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti. Λ faqat to'ldiruvchining o'ziga xos issiqlik o'tkazuvchanligiga emas, balki uning kompozitdagi fazoviy tarmog'iga ham bog'liq. Shuning uchun yuqori λ ga ega zarrachalarni shunchaki ko'p miqdorda qo'shish har doim ham optimal natija bermaydi. Zarracha morfologiyasi ham muhim: bir o'lchamli nanotolalar, ikki o'lchamli grafen yoki BN plastinkalari uzoqroq va samaraliroq issiqlik yo'llarini shakllantirishi mumkin. Uch o'lchamli uzluksiz tarmoqlar esa issiqlik qarshiligini kamaytirishga xizmat qiladi. To'ldiruvchining orientatsiyasi ham yo'nalishga bog'liq issiqlik o'tkazuvchanlikni yuzaga keltirishi mumkin. [1,2]

5. ELEKTR O'TKAZUVCHANLIK VA ISSIQLIK XOSSALARINING O'ZARO BOG'LANISHI

Elektr va issiqlik o'tkazuvchanlikni birgalikda tahlil qilish kompozitning funksional qo'llanish sohasini aniqlashda muhimdir. Metall to'ldiruvchilar elektr va issiqlik o'tkazuvchanlikni bir vaqtda oshirishi mumkin. Grafen, grafit va CNT kabi uglerodli materiallarda esa yuqori issiqlik o'tkazuvchanlik bilan bir qatorda elektr o'tkazuvchanlikni boshqarish imkoniyati mavjud. Biroq elektr izolyatsiyasi zarur bo'lgan termik interfeys materiallarida bunday to'ldiruvchilar konsentratsiyasini oshirish maqsadga muvofiq bo'lmasligi mumkin. [2,4]

Shu nuqtai nazardan h-BN va Al_2O_3 kabi elektr izolyatsiyalovchi to'ldiruvchilar alohida qiziqish uyg'otadi. Ular issiqlik uzatishni yaxshilagan holda kompozitning dielektrik xususiyatlarini saqlashga imkon beradi. Zamonaviy tadqiqotlarda to'ldiruvchining morfologiyasi, dispersiyasi, sirt modifikatsiyasi va gibrid tarmoqlar yordamida issiqlik o'tkazuvchanlik hamda elektr izolyatsiyasi o'rtasidagi optimal muvozanatni olishga intilish kuzatilmoqda. [4,5]

6. KUTILAYOTGAN NATIJALAR VA ILMIY YANGILIK

Tadqiqot natijasida to'ldiruvchi konsentratsiyasi bilan effektiv issiqlik o'tkazuvchanlik va elektr o'tkazuvchanlik orasidagi bog'lanishning xarakteri aniqlanishi kutiladi. Ayniqsa, elektr perkolatsiya chegarasi bilan termik perkolatsiya chegarasining bir-biriga mos kelishi yoki farqlanishi kompozitning amaliy qo'llanishini belgilovchi muhim parametr sifatida qaraladi. Ilmiy jihatdan asosiy e'tibor faqat yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka emas, balki issiqlik o'tkazuvchanlik–elektr qarshilik–mexanik barqarorlik uchligi orasidagi optimal muvozanatni aniqlashga qaratiladi. Tajriba natijalari asosida kompozitning tarkibi va mikrostrukturasi bilan issiqlik o'tkazuvchanligi orasidagi empirik bog'lanish ishlab chiqilishi mumkin. Elektr xossalarini to'rt zondli usul yoki I–V xarakteristika orqali, issiqlik o'tkazuvchanlikni esa mos standart kalorimetrik yoki issiqlik oqimi usullari orqali baholash mumkin. Mikrostrukturani SEM, zarur hollarda XRD yoki boshqa instrumental usullar bilan tavsiflash tadqiqot natijalarini chuqurlashtiradi.

7. AMALIY AHAMIYATI

Taklif qilinayotgan yondashuv elektron qurilmalar uchun issiqlik interfeys materiallari, elektr izolyatsiyalovchi issiqlik o'tkazuvchi qoplamalar, akkumulyator modullari, quvvat elektronikasining issiqlik boshqaruvi hamda yengil konstruksion materiallarni ishlab chiqishda qo'llanishi mumkin. Yuqori issiqlik o'tkazuvchanlik va elektr izolyatsiyasini birlashtirish zarur bo'lgan holatlarda keramik to'ldiruvchilar, yuqori issiqlik va elektr o'tkazuvchanlik talab qilinadigan holatlarda esa metall yoki uglerodli to'ldiruvchilar istiqbolli hisoblanadi. [2,4,5]

8. XULOSA

Elektr o'tkazuvchanligi turlicha bo'lgan to'ldiruvchilar asosidagi polimer kompozitlarda issiqlik uzatish xususiyatlari to'ldiruvchining fizik tabiati bilan bir qatorda uning konsentratsiyasi, morfologiyasi, fazoviy taqsimlanishi, orientatsiyasi va interfeys xususiyatlari bilan belgilanadi. Metall va uglerodli to'ldiruvchilar elektr hamda issiqlik o'tkazuvchanlikni oshirish imkonini bersa, h-BN va ayrim oksidli keramika to'ldiruvchilari elektr izolyatsiyasini saqlagan holda issiqlikni samarali uzatishga imkon beradi. Demak, kompozitni loyihalashda bitta parametрни maksimal qilish emas, balki elektr, issiqlik va strukturaviy xususiyatlarning o'zaro muvozanatini ta'minlash asosiy ilmiy vazifa bo'lib qoladi. Ushbu yondashuv yuqori samarali issiqlik boshqaruvi materiallarini yaratish uchun istiqbolli yo'nalish hisoblanadi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Zhang H., Zhang X., Fang Z. et al. Recent Advances in Preparation, Mechanisms, and Applications of Thermally Conductive Polymer Composites: A Review. *Journal of Composites Science*, 2020, 4(4), 180.
2. Thermal Conductive Polymer Composites: Recent Progress and Applications. *Molecules*, 2024, 29(15), 3572.

3. Thermal conductivity of polymer-based composites: Fundamentals and applications. Progress in Polymer Science.
4. Recent advances in thermal-conductive insulating polymer composites with various fillers. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2024, 178, 107998.
5. Development and Perspectives of Thermal Conductive Polymer Composites. Nanomaterials, 2022, 12(20), 3574.
6. Recent Advances in the Rational Design of Thermal Conductive Polymer Composites. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2021.
7. Recent advances in thermal properties of graphene/hexagonal boron nitride heterostructures and their polymer nanocomposites. 2025.