

Nurmatova Gulnora Boymamat qizi

gulnoranurmatova183@gmail.com

Ochilova Nigina Rustam qizi

niginaochilova68@gmail.com

Usanova Farzona Beknazar qizi

Termiz davlat universiteti talabalari

Annotatsiya: Ushbu maqolada nanomateriallar asosida ishlab chiqilgan yuqori energiya zichligiga ega akkumulyatorlar tizimlari tahlil qilinadi. Nanostrukturalangan elektrod materiallari, ularning elektrokimyoviy xususiyatlari, energiya zichligi, sikl chidamliligi va zaryad/razryad samaradorligi bo'yicha natijalar ilmiy asosda bayon etilgan. Maqolada Li-ion akkumulyatorlarining nanomateriallar yordamida samaradorligini oshirish imkoniyatlari va kelajak istiqbollari ham ko'rib chiqilgan.

Kalit so'zlar: nanomateriallar, yuqori energiya zichligi, Li-ion akkumulyator, elektrod, nanokompozit, zaryad samaradorligi

Kirish: So'nggi o'n yilliklarda energiya saqlash tizimlariga bo'lgan talab sezilarli darajada oshdi. Ayniqsa, elektr transport vositalari, portativ elektronika va saqlash tizimlarida yuqori energiya zichligi va tezkor zaryadlanish xususiyatiga ega akkumulyatorlar zarur. An'anaviy elektrod materiallari (grafit, LiCoO_2 , LiFePO_4) o'z energiya zichligi va sikl chidamliligi bilan cheklangan bo'lib, texnologik rivojlanish talablari uchun yetarli emas. Shu sababli, nanomateriallar asosida elektrodlar yaratish bugungi kunda ilmiy tadqiqotlarning markaziy yo'nalishi hisoblanadi.

Nanostrukturalangan materiallarning yuqori yuzasi maydoni, qisqa ion yo'llari va tez elektrokimyoviy javob berish xususiyati akkumulyatorlarning energiya zichligini oshirishga imkon beradi. Shu bilan birga, ularning o'lchami va morfologiyasi elektrodning ichki qarshiligini kamaytiradi va zaryad/razryad siklini uzaytiradi.

Akkumulyator energiya zichligi odatda quyidagi omillar bilan belgilanadi:

1. elektrod materialining nazariy sig'imi ($\text{mA} \cdot \text{soat/g}$),

2. ishchi kuchlanish diapazoni (V),
3. ion va elektron transport tezligi,
4. elektrodning mexanik barqarorligi,
5. elektrolitning elektrokimyoviy oynasi va xavfsizligi.

Nanomateriallar ushbu parametrlarga bir vaqtning o'zida ta'sir etish imkoniyatiga ega. Chunki nanostrukturali materiallarda:

- 1) sirt maydoni yuqori,
- 2) ion diffuziya yo'li qisqa,
- 3) elektron o'tkazuvchanlikni boshqarish oson,
- 4) fazalararo interfeyslar ko'p bo'ladi.

Natijada, nanomateriallar asosida elektrod va elektrolit tizimini optimallashtirish yuqori energiya zichligiga erishishning eng istiqbolli yo'li hisoblanadi.

Akkumulyator energiya zichligi odatda ikki asosiy ko'rsatkich bilan baholanadi: gravimetrik energiya zichligi (Wh/kg) va volumetrik energiya zichligi (Wh/L). Gravimetrik energiya zichligi akkumulyatorning umumiy massasi birligiga to'g'ri keladigan energiya miqdorini ifodalasa, volumetrik energiya zichligi bir hajm birligiga to'g'ri keladigan energiyani ko'rsatadi. Elektr transport vositalari uchun har ikkala ko'rsatkich ham muhim bo'lib, ayniqsa volumetrik energiya zichligi avtomobil dizayni va masofa ko'rsatkichlariga bevosita ta'sir qiladi.

An'anaviy Li-ion tizimlarda energiya zichligini oshirishning asosiy yo'li katod materialining sig'imini oshirish yoki anodda yuqori sig'imli materiallardan foydalanishdan iborat. Ammo bu yo'nalishda bir qator muammolar yuzaga keladi. Yuqori sig'imli anodlar, masalan kremniy yoki litiy-metall, sikllanish jarayonida kuchli hajmiy o'zgarishga uchraydi va bu elektrodning yoriqlanishi hamda elektr kontaktlarning uzilishiga olib keladi. Yuqori kuchlanishda ishlaydigan katodlar esa elektrolitning parchalanishini tezlashtiradi, katod sirtida passiv qatlamlar hosil bo'lishiga sabab bo'ladi va natijada ichki qarshilik ortib boradi.

Bundan tashqari, energiya zichligini oshirish bilan xavfsizlik muammolari ham keskinlashadi. Litiy-metall anodlarda dendritlar paydo bo'lishi qisqa tutashuv va termik runaway xavfini oshiradi. Shuningdek, yuqori energiya zichligiga ega tizimlarda elektrolitning oksidlanish barqarorligi pasayishi mumkin. Shu sababli, yuqori energiya zichligi faqat sig'imni oshirish bilan emas, balki interfeys barqarorligi, ion transporti va mexanik mustahkamlikni ta'minlash orqali erishiladigan kompleks ilmiy muammo sifatida qaraladi.

Nanomateriallarning elektrokimyoviy tizimdagi afzalliklari:

Nanomateriallar akkumulyatorlarda quyidagi fundamental xususiyatlari bilan ustunlik qiladi. Birinchidan, nanostrukturali materiallarda sirt maydoni juda yuqori bo‘ladi. Bu elektrod-elektrolit interfeysida ko‘proq reaksiya faol nuqtalar paydo bo‘lishiga olib keladi va natijada elektrodning amaliy sig‘imi ortadi. Ikkinchidan, nanometr o‘lchamdagi zarralarda ion diffuziya yo‘li qisqaradi, bu esa tez zaryadlash va yuqori quvvat ko‘rsatkichlarini ta‘minlaydi. Uchinchidan, nanomateriallar kompozit shaklda ishlatilganda elektr o‘tkazuvchanlikni keskin oshirishi mumkin. Masalan, grafen yoki uglerod nanotubalari asosida hosil qilingan gibridd strukturalar elektrodning umumiy elektron transportini yaxshilaydi.

Biroq nanomateriallarning afzalliklari bilan bir qatorda muammolari ham mavjud. Yuqori sirt maydoni elektrolit bilan yon reaksiyalar ehtimolini oshirishi mumkin. Bundan tashqari, nanomateriallar agregatsiyaga moyil bo‘lib, bir tekis dispersiya hosil qilinmasa, amaliy natijalar keskin pasayadi. Shu sababli, zamonaviy tadqiqotlarda nanomateriallardan foydalanish faqat ularning kichik o‘lchami bilan emas, balki interfeys muhandisligi, sirt modifikatsiyasi, qobiq bilan qoplash hamda kompozit dizayn orqali amalga oshiriladi.

Nanomateriallar asosida anod materiallarini rivojlantirish: Kremniy asosidagi nanostrukturali anodlar: Kremniy litiy bilan qotishma hosil qilish qobiliyati sababli juda yuqori nazariy sig‘imga ega. Bu ko‘rsatkich grafitdan deyarli o‘n barobar yuqori bo‘lib, energiya zichligini sezilarli oshirish imkonini beradi. Ammo kremniy anodning asosiy kamchiligi litiylanish va delitiylanish jarayonida 300% gacha hajmiy kengayishidir. Bu kengayish natijasida elektrod zarralari parchalanadi, tok kollektor bilan kontakt uziladi, SEI qatlamining qayta-qayta hosil bo‘lishi esa elektrolit sarfini oshiradi.

Nanostrukturali kremniy bu muammolarni yumshatadi. Masalan, kremniy nanotolalar, nanog‘ovakli kremniy va yadro-qobiq (core-shell) strukturalar hajmiy stressni taqsimlaydi va mexanik barqarorlikni oshiradi. Kremniy zarralarini uglerod qobiq bilan qoplash esa SEI qatlamining nazoratsiz o‘shishini cheklaydi va elektrodning sikllanish barqarorligini sezilarli yaxshilaydi. Shuningdek, kremniy-uglerod kompozitlarida uglerod fazasi elektron o‘tkazuvchanlikni oshirib, elektrodning ichki qarshiligini kamaytiradi.

Metall oksidlar va nanokompozit anodlar: Kremniydan tashqari, metall oksidlar (Fe_2O_3 , Co_3O_4 , SnO_2 va boshqalar) ham yuqori sig‘imli anod materiallari sifatida ko‘rib chiqiladi. Bu materiallar konversiya reaksiyasi orqali litiy bilan o‘zaro ta‘sirlashadi va yuqori sig‘im ko‘rsatadi. Ammo ularning ham asosiy muammosi

hajmiy o'zgarish va past elektr o'tkazuvchanlikdir. Nanostrukturali metall oksidlar, ayniqsa uglerod bilan kompozit shaklda ishlatilganda, bu muammolarni sezilarli kamaytiradi. Uglerod nanostrukturalar mexanik mustahkamlikni oshiradi va elektron transportni yaxshilaydi.

Litium-metall anod va dendritlarning oldini olish: Litium-metall anod yuqori energiya zichligiga ega tizimlar uchun eng ideal anod hisoblanadi. Biroq dendritlar muammosi litium-metallning sanoat miqyosida qo'llanilishini cheklab kelmoqda. Dendritlar elektrod sirtida litium cho'kishining notekis taqsimlanishi natijasida hosil bo'ladi va separatorni teshib o'tib, qisqa tutashuvga olib kelishi mumkin.

Nanomateriallar yordamida dendrit muammosi quyidagi yondashuvlar orqali hal qilinadi: birinchidan, litium cho'kishi uchun 3D g'ovakli tok kollektorlar yaratiladi. Bunday strukturalar litium oqimini bir tekis taqsimlaydi va lokal tok zichligini kamaytiradi. Ikkinchidan, sun'iy SEI qatlamlari (nanometr qalinlikdagi himoya qoplamalar) litium sirtida barqaror interfeys hosil qiladi. Uchinchidan, qattiq elektrolitlar yoki gibrid elektrolitlar dendritlarning o'sishini mexanik jihatdan cheklashi mumkin.

Qattiq holatli elektrolitlar va nanointerfeys muhandisligi: Yuqori energiya zichligiga ega tizimlarda xavfsizlik masalasi ham hal qiluvchi omil hisoblanadi. Suyuqlik elektrolitlar yonuvchan bo'lib, qisqa tutashuv yoki yuqori haroratda xavfli holatlarni yuzaga keltirishi mumkin. Shu sababli qattiq holatli elektrolitlar asosida akkumulyatorlar yaratish istiqbolli yo'nalish hisoblanadi.

Qattiq elektrolitlar (sulfidli, oksidli, polimerli) yuqori xavfsizlikni ta'minlashda, ularning asosiy muammosi elektrod-elektrolit interfeysida yuqori qarshilik hosil bo'lishidir. Nanomateriallar yordamida interfeysda moslashuvchan buffer qatlamlar yaratilib, ion o'tish yo'li yaxshilanadi. Bundan tashqari, nanokeramika-polimer kompozit elektrolitlar ion o'tkazuvchanlikni oshirish va mexanik barqarorlikni ta'minlashda samarali yechim bo'lib xizmat qiladi.

Nanomateriallar orqali energiya zichligini oshirishning ilmiy mexanizmlari: Nanomateriallar energiya zichligini oshirishda bir nechta fundamental mexanizmlar orqali ta'sir ko'rsatadi. Birinchidan, nanostrukturalar elektrod ichida ion diffuziyasini tezlashtiradi. Ikkinchidan, elektr o'tkazuvchanlikning oshishi natijasida elektrodning ichki qarshiligi kamayadi va yuqori tok zichligida ham sig'im saqlanib qoladi. Uchinchidan, nanokompozitlar elektrodning mexanik mustahkamligini oshirib, sikllanish davomida yuzaga keladigan yoriqlarni kamaytiradi. To'rtinchidan, nanoqoplamalar va sirt modifikatsiyasi elektrod sirtida barqaror SEI va CEI qatlamlarini hosil qilib, elektrolit sarfini kamaytiradi.

Xulosa: Nanomateriallar asosida yuqori energiya zichligiga ega akkumulyatorlar yaratish zamonaviy elektrokimyo va materialshunoslikning eng muhim ilmiy yoʻnalishlaridan biridir. Nanostrukturali anodlar, xususan kremniy va litiy-metall asosidagi tizimlar energiya zichligini keskin oshirish imkonini beradi. Nikelga boy katodlar, yuqori kuchlanishli materiallar hamda Li-S tizimlar nanomateriallar yordamida barqarorlashtirilganda yuqori sigʻim va uzoq sikllanishga erishiladi. Qattiq holatli elektrolitlar va nanointerfeys muhandisligi esa xavfsizlik va dendrit muammosini bartaraf etishda muhim rol oʻynaydi. Shunday qilib, nanomateriallar akkumulyator energiya zichligini oshirish bilan bir qatorda, ularning xavfsizligi, tez zaryadlanishi va uzoq muddat xizmat qilishini taʼminlovchi strategik omil sifatida qaraladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Tarascon J. M., Armand M. Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 2001.
2. Goodenough J. B., Park K. S. The Li-ion rechargeable battery: a perspective. *J. Am. Chem. Soc.*, 2013.
3. Manthiram A. A reflection on lithium-ion battery cathode chemistry. *Nature Communications*, 2020.
4. Bruce P. G. et al. Li-O₂ and Li-S batteries with high energy storage. *Nature Materials*, 2012.
5. Xu K. Electrolytes and interphases in Li-ion batteries and beyond. *Chemical Reviews*, 2014.
6. Janek J., Zeier W. G. A solid future for battery development. *Nature Energy*, 2016.
7. Zhang R. et al. Dendrite-free lithium metal anodes. *Nature Reviews Materials*, 2020.
8. Liu N. et al. Silicon nanowire anodes for high-capacity lithium batteries. *Nature Nanotechnology*, 2014.
9. Seh Z. W. et al. Two-dimensional materials for energy storage. *Science*, 2016.
10. Yang Y. et al. Solid-state lithium batteries. *Chemical Reviews*, 2022.