

UO‘K: 621.357.2:621.357.3

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.2.2025.9

NATRIY-OLTINGUGURTLI BATAREYALAR “SHUTTLE” EFFEKTINI KAMAYTIRUVCHI SOPOLIMERLI GELSIMON ELEKTROLIT SINTEZI



**Hakimov Farrux
Shokirjonovich**

DSc doktorant, Farg'ona davlat
texnika universiteti, Farg'ona,
O'zbekiston

E-mail: xakimov_farrux@list.ru
ORCID ID: 0000-0001-6339-3946



**Jalolov Jasurbek
Mahmudjon o'g'li**

Assistent, Farg'ona davlat texnika
universiteti, Farg'ona, O'zbekiston
E-mail:

jasurbekjalolov777@gmail.com
ORCID ID: 0009-0009-2926-2219



**Xamdamova Shoxida
Sherzodovna**

O'quv ishlari bo'yicha prorektor,
DSc, professor, Oziq-ovqat
texnologiyasi va muhandisligi
xalqaro instituti, Toshkent,
O'zbekiston

E-mail: hamdamova79@list.ru
ORCID ID: 0000-0002-0614-8263



**Maksumova Oyto'ra
Sitdikovna**

K.f.d., professor, Toshkent kimyo-
texnologiya instituti, Toshkent,
O'zbekiston

E-mail: omaksumovas@mail.ru
ORCID ID: 0009-0008-0548-395X

Annotatsiya. Plastifikatsiyalangan akrilonitril (AN)-metil akrilat (MA) sopolimerlari asosidagi gel polimer elektrolitdan samarali natriy-oltingugurt batareyalari (Na-SB) uchun istiqbolli yechim sifatida taklif etilgan. Ushbu ishda, AN-MA sopolimer tarkibi va suyuq elektrolit miqdori optimallashtirilgan holda, ichki qarshiligi 1 Omgacha bo'lgan polimer elektrolitlar ishlab chiqilgan. Bu elektrolitlar natriy elektrodlarining yuzasiga “shuttle” effekti ta'sirida oqib o'tuvchi oltingugurtli sezilarli darajada kamaytirib, elektrokimyoviy barqarorlikni oshirgan. Skanerli elektron mikroskopiya (SEM) va energiya dispersiv rentgen spektroskopiyasi (EDS) yordamida sopolimer va gel elektrolitning sirt tasviri va elementar tahlili amalga oshirildi. Gel elektrolit tarkibidagi suyuq elektrolitning ortishi bilan yuzaning tekislanishi (amorflanishi) ko'rsatildi. Gel elektrolitda ortiqcha suyuq elektrolitning bo'lishi “shuttle” effektini oshib ketishiga sabab bo'lishi aniqlandi.

Kalit so'zlar: ichki qarshilik, elektrokimyoviy barqarorlik, natriy oltingugurtli batareya, passivatsiya, polimer elektrolit, sopolimer gel elektroliti, oqava suv tuzidan kompozit katod, energiya saqlash tizimi, uglerod nanoquvurlari, “shuttle” effekti, nominal solishtirma sig'imi.

СИНТЕЗ ГЕЛЕОБРАЗНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА С СОПОЛИМЕРОМ, СНИЖАЮЩЕГО «ЧЕЛНОЧНЫЙ» ЭФФЕКТ НАТРИЕВО-СЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

**Хакимов Фаррух
Шокирджонович**

Докторант, Ферганский
государственный технический
университет, Фергана,
Узбекистан

**Джалолов Джасурбек
Махмуджон угли**

Ассистент, Ферганский
государственный технический
университет, Фергана,
Узбекистан

**Хамдамова Шохид
Шерзодовна**

Проректор по учебной работе,
доктор наук, профессор,
Международный институт
пищевых технологий и
инжиниринга,
Ташкент, Узбекистан

**Максумова Ойтора
Ситдиқовна**

Доктор наук, профессор,
Ташкентский химико-
технологический институт,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В качестве перспективного решения для эффективных натрий-серных аккумуляторов (Na-SB) предложен гелеобразный полимерный электролит на основе пластифицированных сополимеров акрилонитрила (AN) и метилакрилата (MA). В данной работе

были разработаны полимерные электролиты с внутренним сопротивлением до 1 Ом путем оптимизации состава сополимера AN-MA и содержания жидкого электролита. Эти электролиты значительно уменьшили количество серы, поступающей на поверхность натриевых электродов за счет «челночного» эффекта, что повысило электрохимическую стабильность. Визуализация поверхности и элементный анализ сополимера и гелевого электролита проводились с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС). Было продемонстрировано сглаживание поверхности (аморфизация) при увеличении содержания жидкого электролита в геле-электролите. Было обнаружено, что присутствие слишком большого количества жидкого электролита в гелеобразном электролите приводит к усилению челночного эффекта.

Ключевые слова: внутреннее сопротивление, электрохимическая стабильность, натрий-серный аккумулятор, пассивация, полимерный электролит, сополимерный гелевый электролит, композитный катод из соли сточных вод, система накопления энергии, углеродные нанотрубки, челночный эффект, номинальная удельная емкость.

SYNTHESIS OF A GEL-LIKE ELECTROLYTE WITH A COPOLYMER THAT REDUCES THE “SHUTTLE” EFFECT OF SODIUM-SULFUR BATTERIES

**Khakimov Farrukh
Shokirjonovich**

Doctoral student, Fergana State
Technical University,
Fergana, Uzbekistan

**Jalolov Jasurbek
Makhmudjon ugli**

Assistant, Fergana State Technical
University, Fergana, Uzbekistan

**Khamdamova Shokhida
Sherzodovna**

Vice-Rector for Academic Affairs,
Doctor of Sciences, Professor,
International Institute of Food
Technology and Engineering,
Tashkent, Uzbekistan

**Maksumova Oytora
Sitdikovna**

Doctor of Sciences, Professor,
Tashkent Institute of Chemical
Technology, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. A gel polymer electrolyte based on plasticized acrylonitrile (AN)-methyl acrylate (MA) copolymers is proposed as a promising solution for efficient sodium-sulfur batteries (Na-SB). In this work, polymer electrolytes with an internal resistance of up to 1 Ohm were developed by optimizing the AN-MA copolymer composition and the amount of liquid electrolyte. These electrolytes significantly reduced the sulfur migration to the surface of sodium electrodes due to the “shuttle” effect, increasing electrochemical stability. Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) were used to image the surface and perform elemental analysis of the copolymer and gel electrolyte. It was shown that the surface flattening (amorphization) occurred with an increase in the liquid electrolyte content of the gel electrolyte. It was found that the presence of excess liquid electrolyte in the gel electrolyte caused an increase in the “shuttle” effect.

Keywords: Internal resistance, electrochemical stability, sodium-sulfur battery, passivation, polymer electrolyte, copolymer gel electrolyte, composite cathode from wastewater salt, energy storage system, carbon nanotubes, shuttle effect, nominal specific capacity.

Kirish. Mamlakatimiz va jahon atmosfera-sining keskin yomonlashuvi inson salomatligiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda [1]. Shu sababdan ko'plab chiqindisiz va energiyatejamkor texnologiyalarga bo'lgan talab keskin oshmoqda [2-4]. Shuningdek, hozirda alternativ energiya manbalaridan olinadigan energiyani yig'ish va saqlash ham olimlar oldida turgan muhim masalalardan bo'lib turibdi [6]. Buning uchun hozirda omma-

lashgan litiy-ion batareyalari (LIBs) zamonaviy energiya saqlash tizimlarida keng qo'llanilsada, ularning energiya zichligi yangi avlod texnologiyalarining talablarini to'liq qondira olmaydi [7]. Shu sababli, litiy-oltingugurt batareyalari (LSBs) yuqori nazariy quvvat sig'imi ($1675 \text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$) va energiya zichligi ($2567 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$) tufayli istiqbolli alternativ sifatida qaralmoqda [8–11]. Biroq, LSBs ning tijoratlashtirilishi polisulfidlarning “shuttle”

effekti, oltingugurtning past elektr o'tkazuvchanligi va hajm kengayishining katta miqdori kabi muammolar tufayli cheklanmoqda. Bu muammolarni bartaraf etish uchun turli strategiyalar, jumladan, kompozit katodlar, modifikatsiyalangan ajratgichlar va gel polimer elektrolitlari (GPEs) keng o'rganilgan [12,13].

Gel polimer elektrolitlari (GPEs) suyuq elektrolitlarning yuqori ion o'tkazuvchanligi va qattiq polimer elektrolitlarning mexanik barqarorligini birlashtirgan holda, LSBs uchun istiqbolli yechim sifatida taklif etilgan. Plastifikatsiyalangan akrilonitril (AN)-metil akrilat (MMA) sopolimerlari asosidagi GPEs yuqori ion o'tkazuvchanligi (10^{-3} S/cm), litiy elektrodlarining passivatsiyasini kamaytirish va elektrokimyoviy barqarorlikni oshirish xususiyatlariga ega. Bundan tashqari, PVDF-HFP gel elektroliti yordamida oltingugurt katodida yupqa va zich qoplamalar hosil qilinishi mumkin, bu esa polisulfidlarning "shuttle" effektini sezilarli darajada kamaytiradi [14].

Litiy zahiralarning cheklanganligi va mahalliy natriy va oltingugurt zahiralarning mo'lligi sababli ushbu tadqiqot ishimizda natriy-oltingugurtli batareyalar (Na-SB) uchun elektrolit ishlab chiqilgan. AN-MA sopolimerlari asosidagi plastifikatsiyalangan polimer elektrolitlar va chiqindi suvidan olingan Na-Sli tuzdan tarkib topgan kompozit katod sintez qilindi. Uglerod nanoquvurlari (CNQ) o'tkazuvchan skelet sifatida ishlatilib, elektron o'tkazuvchanlikni oshirish va elektrokimyoviy faol materiallardan samarali foydalanish ta'minlandi. Tayyorlangan kompozit katodlar yuqori quvvat sig'imi $0.1\text{C} - 3\text{C}$ tezlikda 180 mAs g^{-1} nominal solishtirma sig'imni namoyish etdi. Bu yondashuv Na-SB larning tijorat qo'llanilishi uchun yangi imkoniyatlarni ochadi va energiya saqlash tizimlarining rivojlanishiga hissa qo'shadi. Shuningdek, tadqiqotda AN-MA sopolimerlari asosidagi polimer elektrolitlarning sintezi, tavsifi va ularning elektrokimyoviy xususiyatlaridan ichki qarshiligi o'rganildi. Qolaversa, chiqindi suvdan olingan Na-S tuzi fraksiyasidan [15] katod tayyorlandi va ularning Na-SB lardagi samaradorligi baholandi. Natijalar, ushbu materiallarning yuqori ion o'tkazuvchanligi, mexanik barqarorligi va "shuttle" effektini kamaytirish qobiliyati Na-SB larning amaliy qo'llanilishi uchun katta imkoniyatlar ekanligini ko'rsatdi.

Tajriba qismi. Sopolimer sintezi. Yuqori tozalikdagi akrilonitril (AN) va metil akrilat (MA) monomerlari Navoiyazot AJdan tomonidan taqdim etildi va vakuum ostida haydash orqali polimerlanish ingibitorlaridan tozalab olindi. Poli(akrilonitril-so-metil akrilat) (P(AN-so-MA)) sopolimeri dimetil formamid (DMF) erituvchisi muhitida azobisizobutironitril (AIBN) inisiatori hamda 2-merkaptetanol zanjir uzatish agenti ishtirokida polimerlash usuli bilan sintez qilindi [2].

Suyuq elektrolit sintezi. NaClO_4 [15] ning 1 molyarli elektrolitdagi eritmasi tayyorlanib, unda sintez qilib olingan sopolimer bo'ktirildi va gel-simon holatga keltirildi.

Batareyani ishlab chiqarish. Olingan gel elektrolitni tekshirish uchun Swagelok tipidagi batareya namunasi ishlab chiqildi. Elektrolit natriy ionlariga nisbatan oksidlanadigan hamda qaytariladigan elektrodlar (mos ravishda natriy-oltingugurtli katod hamda uglerodli anod) orasiga joylashtiriladi.

Gel elektrolit sirt yuzasining tahlili. Olingan sopolimer va tijorat poliakrilonitril na'munalarning mikro tuzilmalari maydon emissiya skanerlash elektron mikroskopiya (FESEM, Gemini SEM 500) va yuqori aniqlikdagi transmissiya elektron mikroskopiya (HRTEM, FEITalos F200X) bilan tahlil qilindi. Element taqsimoti energiya dispersli rentgen spektroskopiya (EDS) bilan jihozlangan SEM tomonidan tahlil qilindi.

Batareyaning elektr xususiyatini aniqlash. Batareyaning ichki qarshiligi va kuchlanishi PeakTech 3320 (Germaniya) raqamli multimetri yordamida aniqlandi. Oddiy multimetr bilan ham batareyalarning kuchlanishi va qarshiligi aniqlandi. Bunda ushbu tipdagi elektrolitning [30] Na-SBlarda qo'llagan holda elektr xususiyatlari aniqlandi.

Ichki qarshilikni o'lchash uchun elektrolit natriy ionlariga nisbatan oksidlanadigan hamda qaytariladigan elektrodlar (mos ravishda natriy oltingugurtli katod hamda uglerodli anod) orasiga joylashtiriladi. So'ng quyidagi metodologiya yordamida ularning ichki qarshiliklari aniqlanadi.

Elementni zaryadlash uchun LC03222 seriya nomerli "AC/DC power supply pro 0...12V/3A" qurilmasidan, ichki qarshilikni o'lchash uchun multimetr hamda kompyuterlashgan "Power Analyser CASSY T27/100" seriyali qurilmasida amalga oshirildi.

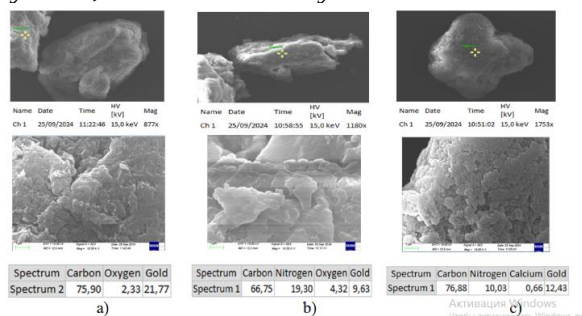
Avval tahlil qilinayotgan batareya 5 V kuchlanish va 3 A tok kuchida ishlovchi zaryadlagich bilan zaryadlanadi. Keyin polimerning ichki qarshiligi qiymatini multimetr yoki kompyuterlashgan qurilma yordamida topilgan kuchlanish va tok kuchi qiymatlariga asosanib Om qonuniga binoan quyidagi formula yordamida hisoblab topiladi va alternativlari bilan solishtirilgan holda optimal tarkib aniqlanadi:

$$R_i = (U_1 - U_2) / (I_2 / R_a) \quad (1)$$

$$R_i = (U - I R_a) / I \quad (2)$$

bu yerda R_a - aktiv qarshilik, U_1 - boshlang'ich kuchlanish, U_2 - yuklama (aktiv qarshilik) ulan-gandan keyingi qarshilik, I - oqib o'tayotgan tok.

Natijalar va munozara. 3.1. *Sopolimerning sirt yuzasi, tarkibi va xususiyatlari.*



1-rasm. P(AN-co-MMA) sopolimerining SEM-EDS tasviri va sirtining oltin purkalgan holdagi elementar tahlili:

a) quruq P(AN-so-MA) b) bo'ktirilgan P(AN-so-MA) c) tijoratlashtirilgan PAN.

SEM-EDS laboratoriya instrumenti yordamida sintez qilib olingan P(AN-so-MA) sopolimerining sirt yuzasi tahlili amalga oshirilib, tarkibi aniqlangan. 1-rasmda ko'rsatilganidek, polimerga MA monomerining kiritilishi uning amorfligini oshiradi, bu esa uning plastifikatorlarda eruvchanligini yaxshilaydi, shishalanish harorati (T_g) ning esa pasayishiga olib keladi. Bu xususiyatlar bilan u elektrolit sifatida foydalanishda poliakrilonitrildan afzalroqligi aniqlandi. Chunki, sopolimer bo'kuvchanligi Navoiyazot AJ tomonidan ishlab chiqilgan PANga nisbatan yuqori bo'lib, bu uning suyuq elektrolit molekulalarini o'zida tutib tura olish xususiyatini ifodalaydi. Bu esa yaxlit yuza hosil qilib, oltingugurt harakatiga to'sqinlik qiladi, natriy ionining harakatlanishiga to'sqinlik qilmaydi. 1-rasmda ko'rsatilganidek, sopolimer bo'ktirilganda uning sirt yuzasiga azotning chiqishi sodir bo'lib, bu akrilonitril azotining natriy bilan

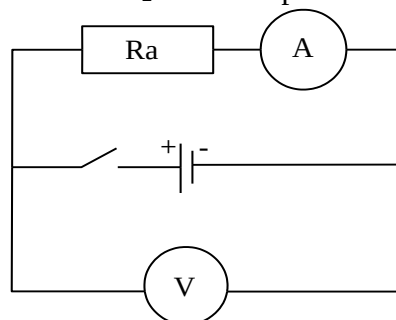
ta'sirlashuvini yaxshilaydi va elektr o'tkazuvchanlikka ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

79 wt.% dan yuqori suyuq elektrolit qo'shilganda, polimer elektrolitlarning mexanik mustahkamligi pasayadi. Shishalanish harorati (T_g) suyuq elektrolit miqdori ortishi bilan pasayadi. Sopolimerning plastifikatorsiz shishalanish harorati esa 12.5°C (100% MA bo'lgan holda) dan 104°C (100% AN bo'lgan holda) gacha o'zgaradi. Yuqori miqdorli suyuq elektrolit matritsa polimerini plastifikatsiyalash va ionlarni o'tkazish uchun mahalliy yo'llar yaratadi. Na-SBlar uchun ushbu tipdagi gel elektrolitni qo'llashda esa suyuq elektrolitning keragidan ortiq bo'lishi erituvchi orqali oltingugurtning katoddan anodga oqib o'tishi, ya'ni "shuttle" effektini ham tezlashtirib yuboradi, bu esa anodning tez aktivsizlanib qolishiga sabab bo'ladi.

SEM-EDS tahlilida oltinni na'muna sirtiga purkash orqali hosil qilingan qoplama zaryadni kamaytiradi va o'tkazuvchan bo'lmagan namunaning tepasida o'tkazuvchan qatlamni hosil qilish orqali SEMda sirtini yuqori aniqlikda tasvirlash imkonini beradi.

Gelsimon elektrolit elektr xususiyatlarini o'rganish

Qisqa tutashuv bo'lmisligi uchun standart yuklama qarshilik (0,1 Om yoki 1 Om yoki 10 Omli) sxemaga ulanadi (2-rasmlarga qarang). So'ng ushbu sxemadagi (1) va (2) formulalar uchun kerakli bo'lgan o'zgaruvchilar U_2 va I lar topiladi.



2-rasm. Multimetr yoki kompyuterlashgan power analyser Cassy T27/100 seriyali qurilmasiga tahlil qilinayotgan batareyaning ulanishi sxematik tasviri.

Ushbu tahlil usulining grafik (a) hamda sxematik (b) tasviri 1-rasmda ifodalangan. Topilgan qiymatlardan ikkala formula orqali olingan eng yaqin qiymatlar ajratib olinadi. Olingan U_2 va I lar (1) va (2) formularga qo'yilib mos ravishda

batareyaning ichki qarshiligi (R_i) aniqlandi. 1,5 V kuchlanishga ega batareyalar uchun ichki qarshilik miqdori 1 Omdan kichkina bo'lishi talab etiladi [16,17].

Shu bilan birgalikda gel elektrolitning suyuq komponentlarining minimal qiymatiga erishish kerak bo'ladi. Shu bois bu usul bilan kerakli ichki qarshilikka ega bo'lgan optimal tarkib aniqlanadi. Eritmada tuzning konsentratsiyasi ortishi bilan uning o'tkazuvchanligi ortib, batareyaning ichki qarshiligi kamayib boradi, biroq ma'lum bir konsentratsiyaga yetgach uning qarshiligi yana orta boshlaydi (1-jadvalga qarang), bunga elektrolitning qovushqoqligi ortishi, gidratlangan ion juftlari hosil qilishi, hamda ma'lum zaryadga ega bo'lgan zarra-chalar bulutining qarshiligini sabab qilib ko'rsatilgan [18].

1-jadval

Kompyuterlashgan CASSY T27/100 seriyali quvvat analizatori yordamida aniqlangan turli konsentratsiyadagi polimer va tuz tutgan elektrolitli sinov batareyasining ichki qarshiliklari

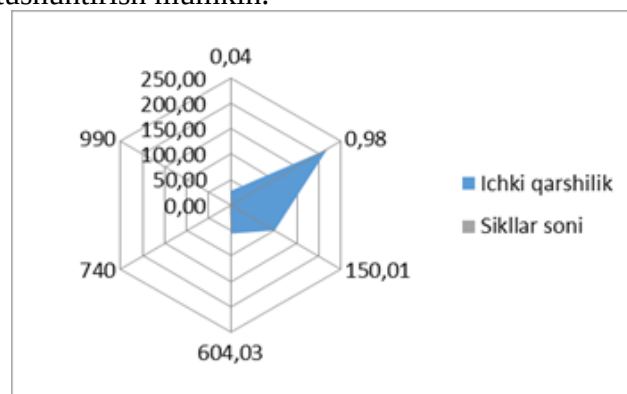
Ko'rsatgichlar	Plastifikator (suyuq elektrolit) ning massa ulushi %					
	91	79	68	54	42	30
Tuzning molyar konsentratsiyasi 0.61 M bo'lganda ichki qarshilik, Om	0,04	0,98	150,01	604,03	740	990
Sikllar soni, dona	28	219	100	56	2	0

Elektrolitdagi polimerning massa ulushi ortishi bilan esa uning o'tkazuvchanligi kamayib boradi, bunga uning kristallanish (shishalanish) haroratining ko'tarilishi sabab qilib ko'rsatilgan [19, 20]. Kerakli ion o'tkazuvchanlikka erishish uchun elektrolitda kerakli miqdorda plastifikatorning bo'lishi talab etiladi.

Elektrolit ichki qarshiligining "shuttle" effektiga ta'siri.

3-rasmda ko'rsatilganidek, suyuq elektrolit miqdori ortishi bilan polimer elektrolitlarning ion o'tkazuvchanligi oshadi. 79 wt.% suyuq elektrolit tutgan 0.61 M li NaClO₄ tutgan gel elektrolitning ichki qarshiligi 1 Omdan kamayadi. Bu natija ionlarning harakatchanligi va tashuvchi ionlar sonining ortishi bilan bog'liq. Past miqdorli elektrolitlarda ionlar polimer matritsasining bo'sh hajmi orqali harakatlanadi, yuqori miqdorlarda esa suyuq fazada tez harakatlanadi. Tez harakatlanish

oltingugurtning ion bilan birgalikda katoddan oqib chiqib ketishiga sabab bo'ladi. Bu esa sikllar sonini keskin tushirib yuboradi (219 dan 12 tagacha). Polimer konsentratsiyasining ortishi bilan sikllar sonining kamayishini uning ichki qarshiligining ortishi natijasida elektrolitning haroratini oshishi, elektrolitning anod bilan reaksiyaga kirishuvchanligi ortib ketishi, bu bilan tizim bosimini ortishi, oxir-oqibat dentrit hosil bo'lishi tezlashishi va katod bilan tez qisqa tutashish sodir bo'lishi bilan tushuntirish mumkin.



3-rasm. Ichki qarshilik hamda sikllar sonining bog'liqlik grafigi.

Chiqindi suvlardan olingan Na-S kompozit katodli Na-SB ishlashi 200 sikldan oshdi.

Xulosa. Ushbu ishda, natriy-oltingugurt batareya (Na-SB) lari uchun yuqori samaradorlikka ega bo'lgan gel elektrolit ishlab chiqildi. Gelsimon elektrolit nafaqat katodning hajm kengayishiga bardoshli, balki polisulfidlarning "shuttle"effektini ham sezilarli darajada kamaytirdi. Uglerod nano-quvvur (CNQ) lari elektronlarning o'tishini ta'minlovchi o'tkazuvchan skelet vazifasini bajarib, elektrokimyoviy faol materiallardan samarali foydalanishni ta'minladi.

Asosiy natijalar:

Yuqori boshlang'ich quvvat sig'imi: Na-S katodi 0.1C - 3C aralash tezlikda, har sikl orasida 5 minutdan tanaffus davri bilan, 180 mAh/g nominal solishtirma sig'imni namoyish etdi. P(AN-co-MA) asosidagi plastifikatsiyalangan polimer elektrolitlar 0.98 Om ichki qarshilik, mexanik barqarorlik va natriy elektrodleri bilan yaxshi moslashuvchanlikni namoyish etdi. Ushbu elektrolit uchun ishlab chiqilgan sopolimerning bo'kkan va quruq holatdgisining, qolaversa, tijoratlashtirilgan poliakrilonitrilning sirt yuzasi tasviri oltin purkalgan holda

aniq tasvirlandi, sirlari bo'ylab elementlar tarqalishi aniqlandi. Bunda plastifikatsiyalanganda nitril guruhining sirt yuzaga chiqishi aniqlandi. Bu elektrolitlar Na-SBs ning ko'p siklli ishlashini ta'minlashda va kelajakda litiy-ion, hamda natriy-ion batareyalar o'rnini egallashida muhim rol o'ynaydi.

Minnatdorchilik: Xitoy Respublikasining Shimoliy Xitoy Texnologiya Universiteti va Pekin

Fan va Texnologiya Universiteti professor-o'qituvchilari Prof. WenCheng Li hamda Dr. Keqi Wu larga instrumental tahlillarni amalga oshirishda amaliy yordam berganliklari uchun minnatdorchilik bildiramiz.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Juraev , N., Mukhtorov , N., & Khakimov , F. (2024). ADVANCEMENTS IN TECHNOLOGIES FOR AIR POLLUTION MITIGATION. Академические исследования в современной науке, 3(41), 174–180. Retrieved from <https://inlibrary.uz/index.php/arims/article/view/49744>
2. Khakimov F. S., Mukhtorov N. S., Maksumova O. S. Environmentally friendly synthesis route of terpolymers derived from alkyl acrylates and their performance as additives for liquid hydrocarbon products //Journal of Polymer Research. – 2020. – T. 27. – №. 10. – С. 304.
3. Farrukh K., Shakhnozakhon K., Oytura M. TECHNOLOGICAL REVIEW FOR USING POLYACRYLIC MEMBRANES IN FLUE GAS UTILIZATION //Universum: технические науки. – 2021. – №. 10-5 (91). – С. 59-64.
4. ХАКИМОВ Ф. Ш. и др. СОЗДАНИЕ БЕЗОТХОДНЫХ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР) //Кислород. – Т. 2. – №. 209,460. – С. 20.946.
5. Khakimov F., Khamdamova S. S. LOCAL ELECTROLYTE FROM DEFOLIANT-DESICCANT //Education. – 2017. – Т. 2017.
6. Хакимов F.Sh., O.Z.Turg'unov, Sh.Sh.Xamdamva, O.S. Maksumova, Suv qattiqligining batareya qayta zaryadlanishiga ta'siri, Химическая технология и экология, Scientific-technical journal (STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, 2023, Т.27. спец.выпуск №16, -b. 192-196.
7. J.B. Goodenough, Y. Kim, Challenges for rechargeable Li batteries, Chem. Mater. 22 (3) (2010) 587–603, <https://doi.org/10.1021/cm901452z>
8. A. Manthiram, Y.Z. Fu, Y.S. Su, Challenges and prospects of lithium-sulfur batteries, Accounts Chem. Res. 46 (5) (2013) 1125–1134, <https://doi.org/10.1021/ar300179v>
9. R.P. Fang, S.Y. Zhao, Z.H. Sun, W. Wang, H.M. Cheng, F. Li, More reliable lithiumsulfur batteries: status, solutions and prospects, Adv. Mater. 29 (48) (2017) 25, <https://doi.org/10.1002/adma.201606823>
10. L.L. Fan, N.P. Deng, J. Yan, Z.H. Li, W.M. Kang, B.W. Cheng, The recent research status quo and the prospect of electrolytes for lithium sulfur batteries, Chem. Eng. J. 369 (2019) 874–897, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.145>
11. Y.B. He, Z. Chang, S.C. Wu, H.S. Zhou, Effective strategies for long-cycle life lithium-sulfur batteries, J. Mater. Chem. A 6 (15) (2018) 6155–6182, <https://doi.org/10.1039/c8ta01115j>
12. X. Zhu, Y. Ouyang, J. Chen, X. Zhu, X. Luo, F. Lai, H. Zhang, Y.-E. Miao, T. Liu, In situ extracted poly(acrylic acid) contributing to electrospun nanofiber separators with precisely tuned pore structures for ultra-stable lithium–sulfur batteries, J. Mater. Chem. A 7 (7) (2019) 3253–3263, <https://doi.org/10.1039/C8TA11397A>
13. X. Luo, X. Lu, G. Zhou, X. Zhao, Y. Ouyang, X. Zhu, Y.-E. Miao, T. Liu, Ion-selective polyamide acid nanofiber separators for high-rate and stable lithium–sulfur batteries, ACS Appl. Mater. Interfaces 10 (49) (2018) 42198–42206, <https://doi.org/10.1021/acsami.8b10795>

14. J. Yu et al., Dense and thin coating of gel polymer electrolyte on sulfur cathode toward high performance Li-sulfur battery, Composites Communications 19 (2020) 239–245, <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.04.015>
15. F.Sh. Xakimov, Sh.Sh. Xamdamova, O.S Maksumova, S.R. Mirsalimova, Neft-gazni qayta ishlash korxonalaridan chiqayotgan oltingugurt-ishqoriy kanalizatsiya suvini tozalash, O‘ZBEKISTON NEFT VA GAZ ILMIY-TEXNIKA JURNALI, 1/2025, 78-96
16. <https://batteryuniversity.com/article/how-does-internal-resistance-affect-performance>
17. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/measuring-internal-resistance-of-batteries/internal-resistance>
18. Poutnik (<https://physics.stackexchange.com/users/97690/poutnik>), Inverse relationship between salinity and conductivity?, URL (version: 2023-10-03): <https://physics.stackexchange.com/q/782911>
19. O.V. Lonchakova, O.A. Semenikhin, et al., Electrochimica Acta, Volume 334, 135512, ISSN 0013-4686. (2020) <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135512>
20. K. Vijaya Kumar et al /Int.J. ChemTech Res.2014,6(13),pp 5214-5219.