УДК 621.355.8:661.666.2(043)

МОДИФІКАЦІЯ СТРУКТУРИ ПРИРОДНОГО ГРАФІТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЄМНОСТІ АНОДНИХ МАТЕРІАЛІВ У ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРАХ

А. Даниленко, група ПМ-24-3
Л. Молокост, науковий керівник, викладач
Центральноукраїнський національний технічний університет

Графіт – стандартний анодний матеріал у літій-іонних акумуляторах, який широко використовується завдяки його стабільності, низькій вартості та довгому циклу життя [1]. Його теоретична ємність обмежена (~372 мА·год/г), що стимулює розробку методів модифікації структури [2].

Метою дослідження є аналіз сучасних підходів до модифікації структури графіту як анодного матеріалу літій-іонних акумуляторів та оцінка їхнього впливу на підвищення питомої ємності, електропровідності, стабільності циклування й ефективності інтеркаляції іонів літію.

Основні підходи до модифікації графіту:

Структурна інженерія. Створення дефектів і вакансій формує додаткові центри для інтеркаляції Li^+ [3]. Розширення міжшарової відстані полегшує дифузію іонів, а формування пористих структур збільшує площу поверхні [4].

Хімічна модифікація. Допування гетероатомами змінює електронну структуру, а використання графеноподібних матеріалів покращує провідність [3].

Композитні матеріали. Поєднання графіту з кремнієм (Si) або оловом (Sn) дозволяє значно підвищити ємність [6]. Графіт у таких системах виступає буфером для компенсації об’ємних змін активних фаз [5, 6].

Поверхнева інженерія. Нанесення вуглецевих покриттів стабілізує тверду електролітну плівку (SEI) та зменшує деградацію електрода при циклуванні [3].

Модифікації дозволяють підвищити питому ємність до 400–1000 мА·год/г [6]. Головними проблемами залишаються незворотна ємність та складність масштабування технологій.

Перспективні напрями модифікації за участі українських вчених:

Механічна та термічна сферизація. Сферизація природного графіту дозволяє отримати сферичний графіт (SPG) з підвищеною щільністю упаковки частинок, що мінімізує побічні реакції з електролітом [7,9].

Глибоке хімічне очищення. Для використання в літій-іонних акумуляторах (ЛІА) необхідно забезпечити рівень чистоти графіту не менше 99,99%. Українськими дослідниками на базі КНУТД протестовано зразки Балахівського родовища, що відповідають світовим стандартам батарейної якості [7,10].

Графенізація та наномодифікація. Використання українського графенового концентрату для модифікації поверхні графіту дозволяє значно знизити внутрішній опір анода та підвищити швидкість заряду [8]. Використання графену як модифікатора дозволяє впровадити графен в структуру анода для подолання обмежень традиційного природного графіту. Графен використовується не як повна заміна графіту, а як високоефективна добавка, що утворює провідну мережу між частинками графіту. Завдяки надвисокій мобільності електронів у графені, модифікований анод демонструє значно менший внутрішній опір. Згідно з [8], модифікація структури дозволила досягти наступних результатів у прототипах:

- Швидкість заряджання: Графенова модифікація дозволяє реалізувати режими ультрашвидкого заряджання (до 80% ємності за 5–10 хвилин) без критичного перегріву та деградації анода.
- Стабільність циклування: Графен допомагає утримувати цілісність анодного шару під час розширення/стиснення графіту при інтеркаляції літію, що збільшує термін служби батареї (кількість циклів).
- Питома ємність: Використання графенових структур дозволяє наблизитися до теоретичної межі ємності графіту та навіть перевищити її в окремих композитних рішеннях за рахунок додаткових місць адсорбції іонів літію.

Формування композитних структур. Дослідження спрямовані на створення гібридних анодів «графіт–кремній», де графітова матриця виступає буфером для компенсації об'ємного розширення кремнію, що підвищує стабільність циклування [11].

Висновок. Модифікація структури графіту є ключовим шляхом підвищення характеристик анодів [1, 2]. Найбільш перспективними є комбіновані підходи, спрямовані на стабільність та комерціалізацію.

Список літератури

1. Goodenough J. B., Park K. S. The Li-Ion Rechargeable Battery: A Perspective. — Journal of the American Chemical Society, 2013.
2. Armand M., Tarascon J. M. Building better batteries. — Nature, 2008.
3. Peng Z. et al. Graphite and graphene materials for advanced lithium-ion battery anodes. — Energy Storage Materials, 2017.
4. Cho J. Porous silicon anode materials for lithium rechargeable batteries. — Journal of Materials Chemistry, 2010.
5. Titirici M. et al. Sustainable carbon materials for electrochemical energy storage. — Advanced Materials, 2015.
6. Cui B. et al. Silicon-based anodes for lithium-ion batteries: A review. — Journal of Power Sources, 2012.
7. Танай В., Буткевич Г. Створення повного ланцюга виробництва літій-іонних батарей в Україні на базі Балахівського родовища. — BGV Graphite, 2024.
8. Прототипи інноваційних графенових батарей українського виробництва: звіт компанії maxAh. — NV Техно, 2022.
9. Водяний А. Успішні випробування анодного матеріалу з українського графіту. — LIGA.net, 2025.
10. Дослідження електрохімічних властивостей сферичного графіту Балахівського родовища. — Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження КНУТД, 2025.
11. Використання вітчизняного графітового концентрату для виробництва літієвих монетних комірок CR2032. — КРВ. медіа, 2025.