

## РОЗРОБКА ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО ГРАФІТУ ДЛЯ АНОДІВ ЛІТІЙ-ІОННИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

Ляшок М. О., Хоменко В. Г.

*Київський національний університет технологій та дизайну*

*[v.khomenko@i.ua](mailto:v.khomenko@i.ua)*

Сучасні вимоги до літій-іонних акумуляторів (ЛІА) передбачають поєднання високої енергетичної щільності, стабільності циклування та технологічної відтворюваності матеріалів. Аноди на основі природного графіту залишаються найбільш комерційно привабливими завдяки високій електропровідності, хімічній інертності та низькому потенціалу літіювання, однак потребують удосконалення для підвищення питомої ємності та зниження деградаційних процесів під час тривалого циклування [1].

У межах роботи досліджено два підходи до поверхневої модифікації природного графіту для створення полімерних композитів анодів ЛІА — нанесення вуглецевого покриття та введення нанорозмірного кремнію. Вуглецеве покриття формує електропровідну оболонку, знижує міжфазний опір і стабілізує структуру під час літіювання/делітіювання [2], тоді як додавання нанокремнію підвищує питому ємність завдяки утворенню композиту типу Si-C [3].

Як полімерну зв'язку застосовано кілька типів полівініліденфториду (ПВДФ) із різною молекулярною масою та ступенем кристалічності, що дозволило оцінити вплив структури полімеру на механічну стійкість і адгезію електродного шару. Для порівняння використовувалися також водорозчинні системи на основі карбоксиметилцелюлози (КМЦ) і стирол-бутадієнового каучуку (СБР).

Оптимізовано технологічні параметри виготовлення електродів, зокрема щільність графіт-полімерної матриці, яка становила 1,3–1,6 г/см<sup>3</sup>. Для графіту з вуглецевим покриттям оптимальною є щільність близько 1,4 г/см<sup>3</sup>, що сприяє збереженню мікроструктури аноду. Визначено, що ПВДФ із пониженим ступенем кристалічності забезпечує рівномірніше змочування частинок графіту, тоді як система КМЦ/СБР підвищує стабільність циклування композитів, що містять кремній. Електрохімічні випробування показали, що модифікація графіту кремнієм підвищує питому ємність до 380–400 мА·год/г, тоді як зразки з вуглецевим покриттям демонструють вищу стабільність і меншу втрату ємності на формувальних циклах.

Отримані результати підтверджують, що комбіноване використання вуглецевого покриття, нанорозмірного кремнію та раціонально підібраної полімерної зв'язки забезпечує керований баланс між електрохімічними та механічними властивостями анодів. Виявлено, що взаємодія між типом покриття, щільністю матриці та структурою полімеру визначає стабільність інтерфейсу електрод-електроліт. Застосування комбінованої модифікації графіту дозволяє поєднати високу питому ємність, характерну для Si-вмісних матеріалів, із тривалою стабільністю, притаманною карбон-покривним анодам.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Nitta N., Wu F., Lee J. T., Yushin G. Li-ion battery materials: present and future. Proceedings of the International Conference on Advanced Materials and Systems. 2015. P. 252–264.
2. Liu P., Peng J., He L., Yang J., Tang Y., Zhou K., Xie Z., Wang X. Amorphous carbon coating enabling waste graphite to reuse as high-performance anode of lithium-ion battery. Proceedings of the International Conference on Applied Energy Materials. 2025. P. 442–451.
3. Son H. J., Park S. Y., Lee J. M., Kim T. Y. An elastic cross-linked polymeric binder for high-performance silicon/graphite composite anodes in lithium-ion batteries. Proceedings of the International Conference on Power Sources and Energy Storage Systems. 2025. P. 177724.