

УДК 541

Методи відновлення оксиду графену

Балабан О. В., к.т.н., асистент каф. ПФН

Національний університет «Львівська політехніка»
(вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна)

Останнім часом увагу низки науковців привертає такий матеріал як оксид графену (GO). Значна зацікавленість саме цим матеріалом пояснюється широким спектром можливостей його використання не лише в електроніці, а й в автономній енергетиці. Проте перед використанням GO потрібно відновити, оскільки на його поверхні є оксидні групи. Вони, наприклад, збільшують опір матеріалу під час його використання в пристроях автономної енергетики. Стає очевидним, що від обраного методу відновлення залежатимуть і характеристики отриманого відновленого оксиду графену (rGO).

В даній роботі представлено шляхи відновлення оксиду графену, котрі використовують науковці, доводять ефективність кожного з них. А враховуючи екологічну кризу, то основна увага приділяється екологічним методам, тобто відновленню матеріалу без використання токсичних речовин, таких як N_2H_4 [1] HI [2]. З цієї точки зору увагу привертає наукова стаття [3]. Автори пропонують «зелений» підхід у синтезі графенових нанолістів з високими значеннями відношення C/O. Ці нанолісти синтезували за допомогою хімічного відновлення розширеного графену з додаванням «зеленого» відновника, щавлевої кислоти. Сам же GO отримували шляхом мікрохвильового опромінення хімічно інтеркальованого природного графіту. Раманівський та елементний аналіз підтвердили видалення кисневих функціональних груп у відновленому матеріалі (співвідношенням C/O становило 15,97).

Ще один нетоксичний метод відновлення GO пропонують дослідники з Пд. Кореї [4]. Вони пропонують техніку лазерної літографії, яка використовує сфокусований лазерний промінь для виготовлення структур rGO/GO/rGO. Тут співвідношення C/O становить 4,0, на відміну від GO (тут співвідношення C/O рівне 2,35).

Нещодавно Лю і співавт. [5] продемонстрували «зелений» і зручний підхід до синтезу rGO шляхом відновлення GO за допомогою порошку Zn у кислотному середовищі при кімнатній температурі. Такий підхід дає можливість отримувати rGO економічно ефективним та екологічним методом. Ще один безпечний метод відновлення представлено у роботі [6]. Тут автори пропонують розчин р-фенілєндіаміну (PPD) у етанолі для відновлення GO. А у [7] отримують rGO із GO шляхом окисної полімеризації аніліну. Загалом технологія відновлення за останнім методом є найпопулярніша, інколи навіть використовують такі поєднання як гідразин у присутності або полі(4-стиролсульфоната) натрію і ПАР, або, навіть, одноланцюзжкової ДНК, або водне /безводне середовище, або пірен-

1-ілбутерату, або тетрагідроборату [8]. Безперечними, з боку екосистеми, є методи, що пропонуються у медичних журналах. Тут науковці використовують безгідразинові технології відновлення ГО. Наприклад, у роботі [9] пропонують відновлення за допомогою триетиламіну, також тут представлено огляд по інших біо-методах отримання rGO таких як: використання бактеріального розпилення, поліалілламіну, калій гідроксиду, полівінілпіролідону, аскорбінової кислоти, цукру, пекарських дріжджів, протеїну. Серед різних нетоксичних відновників протеїн має значні переваги, адже адсорбовані білки можуть бути використані як універсальний тип клею для різних наноматеріалів, що використовуються в синтезі нанокompозитів.

- [1] Shi H. F., Wang C., Sun Z. P., Zhou Y. L., Jin K. J. Transparent conductive reduced graphene oxide thin films produced by spray coating. *Sci. China Phys. Mech. Astron.* — 2015. Vol.58, Is.1. — pp. 1–5.
- [2] Li X., Zhang D., Yang C., Shang Y. Direct and Efficient Preparation of Graphene Transparent Conductive Films on Flexible Poly Carbonate Substrate by Spray-Coating. *J. Nanosci. Nanotechnol.* — 2015. Vol.15, N12. — pp. 9500–9508(9).
- [3] Chamoli P., Das M. K., Kar K. K. Structural, optical, and electrical characteristics of graphene nanosheets synthesized from microwave-assisted exfoliated graphite. *Journal of Applied Physics*— 2017. Vol.122, Is.18 — pp. 185105.
- [4] Kwon S., Jung D., Lim H., Kim G., Choi K. B., Lee J. J. Laser-assisted selective lithography of reduced graphene oxide for fabrication of graphene-based out-of-plane tandem microsupercapacitors with large capacitance. *Appl. Phys. Lett.* 2017. — Vol.111, — pp.143903.
- [5] Liu P., Huang Y., Wang L. A facile synthesis of reduced graphene oxide with Zn powder under acidic condition. *Mater. Lett.* 2013. — Vol.91, — pp.125–128.
- [6] Hua N., Wang Y., Chai J., Gao R., Yang Z. Gas sensor based on p-phenylenediamine reduced graphene oxide. *Sensors and Actuators B* 2012. — Vol.163, — pp.107–114.
- [7] Huang X., Hu N., Wang Y., Zhang Y. Ammonia gas sensor based on aniline reduced graphene oxide. *Advanced Materials Research*. 2013. — Vol.669 — pp.79–84.
- [8] Грайффер Е. Д. Макотченко А. С. Назаров С. Дж. Ким В. Е. Федоров Графен-химические подходы к синтезу и модифицированию. *Успехи химии*. 2011. — Т.80 — сс.784–804.
- [9] Gurunathan S., Woong J., Kim J. H., Zhang Y. Green chemistry approach for the synthesis of biocompatible graphene. *International Journal of Nanomedicine*. 2013. — Vol.8 — pp.2719–2732.