

Новый метод определения количества графена в углеродной смеси по спектрам комбинационного рассеивания

© Доломатов* Михаил Юрьевич, Вершинин⁺ Семён Сергеевич,
Левашов Дмитрий Андреевич, Субханкулов Вадим Ринатович,
Доломатова Милана Михайловна, Белотелов Олег Алексеевич

Лаборатория углеродных технологий и спектроскопии. Центр водородно-углеродных технологий.

Уфимский государственный нефтяной технический университет. ул. Заки Валиди, д.32/2.

г. Уфа, 450008. Россия. E-mail: loctas616@bk.ru

*Ведущий направление; ⁺Поддерживающий переписку

Ключевые слова: углеродные материалы, графен, спектры комбинационного рассеивания, количество графена.

Аннотация

Новые технологии, связанные с синтезом графена и графеновых материалов, а также их последующее использование для создания композитов с заданными свойствами, требуют оценки количественного содержания графена. Недостатком существующих работ по количественным способам определения содержания графена является невозможность их применения для многокомпонентных углеродных полиморфных смесей, содержащих аморфную, графитовую и графеновую фазы. Особенностью углеродных материалов является наличие характеристических полос в спектрах комбинационного рассеивания, а именно полос D (1350 см^{-1}), G (1590 см^{-1}) и 2D (2680 см^{-1}). Целью данной работы является исследование возможности количественного определения графена в твердой полиморфной углеродной смеси по соотношениям интенсивностей полос в спектрах комбинационного рассеивания в диапазоне от 1000 см^{-1} до 3000 см^{-1} . В качестве объекта исследования использовался технический углерод марки П803 и графеновый порошок марки RG-S1, смешанные между собой в различных пропорциях. Установлены закономерности, связывающие содержание графеновых структур в твердой полиморфной углеродной смеси с соотношением интенсивностей полос 2D, D, G спектров комбинационного рассеяния. Зависимость имеет вид трехфакторной линейной регрессии, позволяющей по соотношениям интенсивностей полос спектра комбинационного рассеивания определить количество графена в твердой смеси с другими аллотропными формами углерода. Адекватность установленных зависимостей статистически обоснована. Практическим применением обнаруженных закономерностей является возможность определения количественного содержания графена в твердых полиморфных углеродных смесях, содержащих различные формы углерода, полученных в различных технологических процессах, а также в процессах с использованием графеновых материалов в качестве наполнителя.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Доломатов М.Ю., Вершинин С.С., Левашов Д.А., Субханкулов В.Р., Доломатова М.М., Белотелов О.А. Новый метод определения количества графена в углеродной смеси по спектрам комбинационного рассеивания. *Бутлеровские сообщения*. 2025. Т.84. №12. С.83-88.

DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-83.

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Доломатов М.Ю., Вершинин С.С., Левашов Д.А., Субханкулов В.Р., Доломатова М.М., Белотелов О.А. Новый метод определения количества графена в углеродной смеси по спектрам комбинационного рассеивания. *Бутлеровские сообщения В*. 2025. Т.11. №4. Id.10. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-83/ROI-jbc-RB/25-12-4-10

The output for citing the English online version of the article:

Mikhail Yu. Dolomatov, Semyon S. Viershinyn, Dmitry A. Levashov, Vadim R. Subkhankulov, Milana M. Dolomatova, Oleg A. Belotelov. New method for determination of graphene content in carbon mixture using raman spectra. *Butlerov Communications B*. 2025. Vol.11. No.4. Id.10. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-83/ROI-jbc-B/25-11-4-10

Литература

- [1] Доломатов М.Ю., Бахтизин Р.З., Доломатова М.М. Физико-химия наночастиц: учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт. 2020. 285с. [M.Yu. Dolomatov, R.Z. Bakhtizin, M.M. Dolomatova. Physico-chemistry of nanoparticles: a textbook for universities. 2nd ed., revised and add. Moscow: Yurayt Publishing House. 2020. 285p. (Russian)]
- [2] A.R. Urade, I. Lahiri, K.S. Suresh. Graphene properties, synthesis and applications: a review. *JOM*. 2023. Vol.75. No.3. P.614-630. DOI: 10.1007/s11837-022-05505-8
- [3] Li Menglin, Liu Donghua, Wei Dacheng, Song Xuefen, Wei Dapeng, Wee Andrew. Controllable synthesis of graphene by plasma-enhanced chemical vapor deposition and its related applications. *Advanced Science*. 2016. Vol.3. P.163-183. DOI: 10.1002/advs.201600003
- [4] D.X. Luong, K.V. Bets, W.A. Algozeeb, M.G. Stanford, C. Kittrell, W. Chen, R.V. Salvatierra, M. Ren, E.A. McHugh, P.A. Advincula, Z. Wang, M. Bhatt, H. Guo, V. Mancevski, R. Shahsavari, B.I. Yakobson, J.M. Tour. Gram-scale bottom-up flash graphene synthesis. *Nature*. 2020. Vol.577. P.647-651. DOI: 10.1038/s41586-020-1938-0
- [5] Eddy L., et al. Automated laboratory kilogram-scale graphene production from coal. *Small Methods*. 2024. Vol.8. No.3. P.2301144. DOI: 10.1002/smt.202301144
- [6] R.Kh. Amirov, I.N. Atamanuk, N.A. Vorobieva, E.H. Isakaev, M.B. Shavelkina and E.I. Shkolnikov. Synthesis of graphene-like materials by pyrolysis of hydrocarbons in thermal plasma and their properties. *Journal of Physics: Conference Series*. 2015. Ser.653. P.012161. DOI: 10.1088/1742-6596/653/1/012161
- [7] Y.J. Liou, W.J. Huang. Quantitative analysis of graphene sheet content in wood char powders during catalytic pyrolysis. *Journal of Materials Science & Technology*. 2013. Vol.29. No.5. P.406-410. DOI: 10.1016/j.jmst.2013.03.008
- [8] Yan-Jia Liou, Wu-Jang Huang. Determination of graphene sheets content in carbon materials by raman spectroscopy. *Journal of the Chinese Chemical Society*. 2014. No.61(9). P.1045-1048. DOI: 10.1002/jccs.201400162
- [9] Patent China. №106353299, CN, IPC G01N 21/65 (2006.01), A. Quantitative analysis method for graphene composite conductive slurry: 201610887591.8: fill. 11.10.2016: public. 25.01.2017. Xia Jin, Li Zhongbo. Gotion High Tech Co Ltd. 10p.
- [10] M.I. Katsnelson. The physics of graphene. Cambridge: Cambridge University Press. United Kingdom. 2020. P.436.
- [11] ГОСТ 7885-86. Углерод технический для производства резины. Технические условия. Москва: ИПК Издательство стандартов. [GOST 7885-86 Technical carbon for rubber production. Technical specifications. Moscow: PPC: Publishing House of Standards (Russian)]
- [12] Графен в виде микрочастиц в порошке RG-S1. Электронный ресурс: Официальный сайт компании ООО «РУСГРАФЕН». URL: <https://www.rusgraphene.ru/product-page/graphene-powder> (Дата обращения 25.08.2025). Electronic resource: The official website of the scientific and production company Rusgrafen. URL: <https://www.rusgraphene.ru> (date of request: 08/20/2025) (Russian)]
- [13] Mikhail Yu. Dolomatov, Semyon S. Viershinyn, Dmitry A. Levashov, Vadim R. Subkhankulov, Milana M. Dolomatova, Oleg A. Belotelov. New method for determination of graphene content in carbon mixture using raman spectra. *Butlerov Communications B*. 2025. Vol.11. No.4. Id.10. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-83/ROI-jbc-B/25-11-4-10
- [14] Доломатов М.Ю., Вершинин С.С., Левашов Д.А., Субханкулов В.Р., Доломатова М.М., Белотелов О.А. Новый метод определения количества графена в углеродной смеси по спектрам комбинационного рассеивания. *Бутлеровские сообщения B*. 2025. Т.11. №4. Id.10. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-83/ROI-jbc-RB/25-12-4-10

The English version of the article have been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications B
Advances in Chemistry & Thermophysics

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-B/25-11-4-10

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-83/ROI-jbc-B/25-11-4-10

New method for determination of graphene content in carbon mixture using raman spectra

**Mikhail Yu. Dolomatov,* Semyon S. Viershinyn,⁺ Dmitry A. Levashov,
Vadim R. Subkhankulov, Milana M. Dolomatova, Oleg A. Belotelov**

*Laboratory of Carbon Technologies and Spectroscopy. Center of Hydro-Carbon Technologies. Ufa State
Petroleum Technological University. Zaki-Validi St., 32/2. Ufa, 450008. Russia. E-mail: loctas616@bk.ru*

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: carbon materials, graphene, raman spectra, graphene content.

Abstract

New technologies in area of graphene and graphene materials synthesis and their usage for manufacture of parts with determined properties require the determination of graphene content. Main disadvantage of existing works in graphene content determination is the impossibility of their application in case of multi-component polymorphic carbon mixtures containing amorphous, graphite and graphene phases. Unique property of carbon materials is the characteristic peaks in raman spectra – peaks D (1350 cm^{-1}), G (1590 cm^{-1}) and 2D (2680 cm^{-1}). The aim of this work is the research of possibility for usage of raman spectra peak intensities ratios in range from 1000 cm^{-1} to 3000 cm^{-1} for graphene content determination in solid polymorphic carbon mixtures. As the object of research the technical carbon P803 and graphene powder RG-S1, mixed together in various proportions, was used. Determined the relation between graphene structure content in solid polymorphic carbon mixtures with 2D, D, G peak intensity ratios in raman spectra. Relation has the form of three-factor linear regression and allows the graphene content determination using the intensity ratios in raman spectra of solid mixtures with various carbon forms. Adequacy of determined relations is statistically proved. Practical usage of the determined relations is graphene content determination in solid polymorphic carbon mixtures, synthesized in various technological processes or in processes that use graphene materials as filler.