https://www.proconference.org/index.php/gec/article/view/gec42-00-028
DOI: 10.30890/2709-1783.2025-42-00-028

УДК 538.9:620.3

GRAPHENE AS A KEY MATERIAL IN NANOSCIENCE: FROM THEORY TO PRACTICE

ГРАФЕН ЯК КЛЮЧОВИЙ МАТЕРІАЛ НАНОНАУКИ: ВІД ТЕОРІЇ ДО ПРАКТИКИ

Tatarchuk T. V. / Татарчук Т.В.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0002-6408-0463
SPIN: 9539-7370
Zaporizhzhia Polytechnic National University,
Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063
Національний університет «Запорізька політехніка»,
Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063
Mokhnach R. E. / Мохнач Р. Е.
technical director/ *технічний директор.*
ORCID: 0000-0001-5444-9119
PJSC "Zaporozhye Plant of Electrical Apparatus",
Zaporizhzhia, Pivdene Shosse St. 9, 69032
ПрАТ «Запорізький електроапаратний завод»,
Запоріжжя, вул. Південне шосе, 9, 69032
Nechaiev D. Y. / Нечаєв Д. Я.
PhD Student / Аспірант
Zaporizhzhia Polytechnic National University,
Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063
Національний університет «Запорізька політехніка»,
Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063
Novokhatniy I. P. / Новохатній І. П.
PhD Student / Аспірант
Zaporizhzhia Polytechnic National University,
Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063
Національний університет «Запорізька політехніка»,
Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063

Анотація. *В роботі розглядається основні етапи дослідження графену та його структури. Виявлено способи отримання та властивості матеріалу. Запропонований матеріал було літературно досліджено на відповідність критеріям необхідним для вивчення в умовах електромеханічного використання.*

Ключові слова: *графен, дослідження, властивості графену*

Abstract. *This paper examines the main stages of graphene research and its structure. The methods of obtaining the material and its properties are identified. The proposed material has been reviewed in the literature for compliance with the criteria necessary for study under electromechanical operating conditions.*

Keywords: *graphene, research, graphene properties*

Вступ.

Стрімкий розвиток нанотехнологій у XXI столітті відкрив нові горизонти в матеріалознавстві, енергетиці, електроніці та біомедичних застосуваннях.

Серед широкого спектра наноматеріалів особливе місце займає **графен** — двовимірна алотропна форма вуглецю, що складається з одного атомного шару, упорядкованого в гексагональну кристалічну ґратку. Виняткові електричні, механічні, теплові та оптичні властивості графену зумовили прорив у багатьох галузях науки та технологій, спричинивши значну увагу світових дослідницьких центрів.

Незважаючи на те, що теоретичні передумови існування графену були сформульовані ще в середині XX століття, матеріал тривалий час вважався нестабільним у двовимірній формі. Лише у 2004 році вдалося експериментально отримати графен у чистому вигляді, що започаткувало нову епоху в нанофізиці.

Цей огляд має на меті проаналізувати сучасні наукові джерела, присвячені структурі, властивостям, методам одержання та перспективним напрямам застосування графену. Матеріал систематизовано для використання у подальших експериментальних дослідженнях та освітніх цілях.

1. Історичні передумови та відкриття графену.

Перші згадки про можливість існування одношарової гексагональної структури з атомів вуглецю датуються 1947 роком, коли Філіп Уолес досліджував електронні властивості графіту як тривимірного кристала. Як зазначено в джерелі [1,12,13]

У 1960-х роках вчені вже спостерігали графеноподібні фрагменти під час хімічних експериментів, однак не виокремлювали їх у самостійний матеріал [1, 17].

У 1970-х роках з’явилися перші публікації, присвячені епітаксіальному вирощуванню одноатомних шарів графіту на металевих підкладках. Проте лише у 1987 році термін *«graphene»* офіційно увійшов у науковий обіг [2,3].

Революційним став експеримент А. Гейма та К. Новосьолова (2004 р.), які застосували метод механічного відшарування графіту за допомогою звичайної клейкої стрічки. Отриманий шляхом «скотч-методу» графен виявився достатньо стабільним і продемонстрував унікальні характеристики, за що

автори були удостоєні Нобелівської премії з фізики у 2010 році [1,15].

2. Структурні особливості графену.

Графен — це одноатомна плівка, атоми якої перебувають у стані sp^2-гібридизації. Як підкреслено у джерелі [4], кожен атом утворює три σ-зв'язки під кутом 120°, формуючи гексагональну площинну структуру з міжатомною відстанню близько 0,142 нм.

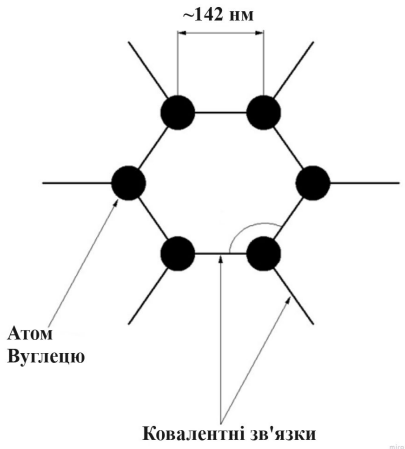


Рисунок 1 – Зображення молекулярних зв'язків графену [1]

Автори посібника [15] стверджують, що графен як алотропну форму вуглецю можна згорнути в нанотрубку, або перетворти в фулерен, або виготовити з нього шаруватий графіт.

Особливості електронної структури [5-7]:

✓ Дисперсія носіїв заряду має лінійний характер у точках Дірака.

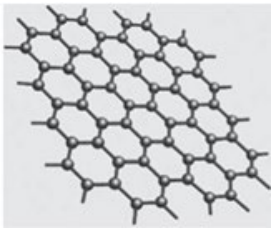
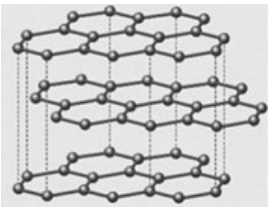
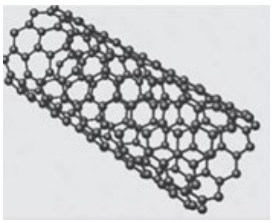
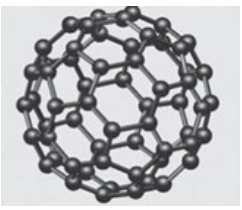
✓ Графен розглядається як модель квазічастинок, що поводяться подібно до безмасових ферміонів.

✓ Нульова ширина забороненої зони забезпечує винятково високу електропровідність.

Важливою особливістю є те, що графен може слугувати базовою структурою для інших вуглецевих матеріалів [8-10]:

- згортання графенового листа → вуглецеві нанотрубки (CNT);
- формування сферичної геометрії → фулерени;
- нашарування графенових площин → графіт.

Таблиця 1 – Алотропні різновиди вуглецю

Назва	Пояснення	Рисунок
Графен	площинний полімер вуглецю	
Графіт	кристалічний різновид вуглецю, що складається з шарів графену, сполучених між собою слабкими силами міжмолекулярної взаємодії	
Вуглецева нанотрубка	циліндричні структури, що мають вигляд декількох згорнутих гексагональних графітових шарів	
Фулерен	молекулярні сполуки, які розташовані на поверхні випуклого багатогранника	

3. Методи отримання графену

Технології синтезу графену істотно відрізняються за якістю, масштабованістю, собівартістю та областями застосування. Основні методи описано у джерелах [11,13] та доповнено сучасними публікаціями.

3.1. Механічне відщеплення

- Дає графен найвищої якості (мало дефектів).
- Не підходить для промислового масштабування.
- Використовується переважно в наукових дослідженнях.

3.2. Хімічне відщеплення

- Застосовується хімічні реагенти, що послаблюють міжшарові зв’язки у графіті.
- Дає багатошаровий або дефектний графен.

3.3. Електромеханічне та ультразвукове відлущування

• Використовують коливальні або електричні поля.

• Можна отримати суспензії графену у рідинах.

• Суттєво зменшується розмір листів.

3.4. Піроліз органічних речовин

• Перспективний метод, зокрема через можливість отримання графеноподібних матеріалів з біоорганічної сировини [10].

3.5. Хімічне осадження з парової фази (CVD). Наймасштабніший метод:

• дозволяє вирощувати великі площі графену;

• забезпечує високий контроль структури;

• широко використовується у напівпровідниковій галузі.

3.6. Епітаксіальне вирощування

• Ґрунтується на розкладенні карбідів на певних підкладках.

• Забезпечує тонкі рівномірні покриття.

3.7. «Розгортання» вуглецевих нанотрубок

• Використовується для отримання графенових стрічок.

• Складне у виконанні, але дає матеріал із регульованими властивостями.

4. Властивості графену [11-13]

Графен демонструє низку унікальних характеристик, які роблять його універсальним матеріалом для нанотехнологій.

4.1. Електричні властивості

• Рухливість носіїв заряду до 200 000 см²/(В·с).

• Майже нульовий опір за низьких температур.

• Наявність квантового ефекту Хола навіть при кімнатній температурі.

4.2. Механічні властивості

• Модуль Юнга ≈ 1 ТПа.

• Гранична міцність перевищує характеристики сталі у 200 разів.

• Висока еластичність.

4.3. Теплові властивості

• Теплопровідність до 5300 Вт/(м·К) — одна з найвищих серед відомих матеріалів.

4.4. Оптичні властивості

- Пропускання ≈ 97,7 % світла.
- Можливість створення прозорих електродів.

4.5. Магнітні властивості

- Спостерігаються незвичайні магнітні ефекти, пов’язані з квантовою топологією структури.

5. Сучасні напрямки досліджень та застосувань графену [14,18]

На основі аналізу джерел можна виокремити найбільш перспективні галузі:

5.1. Електроніка та наноелектроніка

- транзистори з високою швидкодією;
- надчутливі сенсори;
- елементи надпровідних схем.

5.2. Енергетика

- електроди суперконденсаторів;
- складові літій-іонних батарей;
- теплові інтерфейси.

5.3. Біомедицина

- біосенсори;
- транспортні наноплатформи для ліків.

5.4. Композитні матеріали

- армування полімерів;
- покращення термостійкості та електропровідності.

5.5. Каталітичні процеси та хімічна промисловість

Графенові матеріали використовуються як основа для каталізаторів, що підвищують селективність реакцій.

Висновки

Проведений огляд підтвердив, що графен є одним із найперспективніших матеріалів сучасності, здатним кардинально змінити розвиток електроніки, медицини, матеріалознавства та енергетики. Його унікальні властивості

поєднують у собі виняткову міцність, високу електропровідність, прозорість і теплопровідність.

Завдяки стрімкому розвитку методів отримання — від механічного відщеплення до промислових технологій CVD — графен стає дедалі доступнішим для практичного застосування. Наукові дослідження тривають, і кількість перспективних напрямів лише зростає. Це робить графен ключовим матеріалом для розвитку високих технологій майбутнього.

Література:

1. Гусинін В. Графен: неймовірне стало можливим / В. Гусинін, В. Локтєв, С. Шарапов // Вісник Національної академії наук України. - 2010. - № 12. - С. 51-59. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2010_12_7.

2. Сагалянов І. Ю. Графенові системи: способи виготовлення й оброблення, структуроутворення та функціональні властивості / І. Ю. Сагалянов, Ю. І. Прилуцький, Т. М. Радченко, В. А. Татаренко // Успехи физики металлов. - 2010. - Т. 11, № 1. - С. 95-138. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UPhM_2010_11_1_5.

3. Гаврилюк Н. А. Оксид графену: одержання, властивості, застосування (огляд) / Н. А. Гаврилюк, О. М. Шевчук, Г. П. Приходько, М. Т. Картель // Хімія, фізика та технологія поверхні. - 2015. - Т. 6, № 4. - С. 413-448. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/khphtp_2015_6_4_3.

4. Пелещак Р. М. Моделювання наноакустоелектронного перетворювача на основі графенових нанотрубок / Р. М. Пелещак, І. Р. Пелещак, О. В. Кузик, О. О. Даньків // Журнал нано- та електронної фізики. - 2016. - Т. 8, № 2. - С. 02015-1-02015-4. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/jnef_2016_8_2_17.

5. Шульженко А. А. Электрофизические свойства поликристаллов на основе алмаза и многослойного графена / А. А. Шульженко, L. Jaworska, А. Н. Соколов, В. Г. Гаргин, Л. А. Романко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения. - 2016. - Вып. 19. - С. 234-240. - Режим доступу:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pimi_2016_19_39.

6. Горячко А. Пропозиція структури графен/Ge(111) на основі дослідження методом скануючої тунельної мікроскопії у надвисокому вакуумі / А. Горячко, П. В. Мельник, М. Г. Находкін // Український фізичний журнал. - 2016. - Т. 61, № 1. - С. 77-90. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UPhJ_2016_61_1_12.

7. Оленич І. Б. Польові транзистори на основі плівки відновленого оксиду графену для фото- та радіаційних детекторів / І. Б. Оленич, Л. С. Монастирський, Б. С. Соколовський, Б. І. Турко, О. С. Дзендзелюк // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. - 2025. - Т. 22, № 2. - С. 19-26. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/seimt_2025_22_2_5.

8. Zhang Nan Методи та механізм фізичного диспергування графену / Zhang Nan, Ma Pan, Yang Zhilu, Fang Yacheng, Zhang Zhiyu // Надтверді матеріали. - 2023. - № 3. - С. 36-44. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sm_2023_3_5.

9. Черниш Б. Б. Термодинамічні властивості конденсованих середовищ при додаванні наночасток графена / Б. Б. Черниш, С. В. Артеменко // Холодильна техніка та технологія. - 2020. - Т. 56, вип. 3-4. - С. 114-121. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/htit_2020_56_3-4_6.

10. Шугалей И. В. Перспективы использования графеноподобного материала, полученного карбонизацией крахмала, для создания комбинированных микробных препаратов / И. В. Шугалей, И. И. Новикова, И. В. Бойкова, А. Ю. Неверовская, А. А. Возняковский, А. П. Возняковский // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения. - 2018. - Вып. 21. - С. 200-208. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pimi_2018_21_28.

11. Возняковский А. П. Доступный синтез графена, как первый шаг получения сверхтвердых материалов нового поколения / А. П. Возняковский, А. А. Возняковский, И. В. Шугалей // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления

и применения. - 2017. - Вып. 20. - С. 316-323. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pimi_2017_20_52.

12. Шмалько В. М. Графеновые структуры из углей и кокса. Сообщение 2 / В. М. Шмалько, О. И. Зеленский // УглеХимический журнал. - 2018. - № 6. - С. 22-26. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukhj_2018_5-6_12.

13. Шмалько В. М. Уголь – сырье для получения графеновых структур / В. М. Шмалько, О. И. Зеленский, М. И. Рудкевич // УглеХимический журнал. - 2018. - № 3. - С. 47-55. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukhj_2018_3-4_8.

14. Барилка А. Г. Змочування графену метанолом або водою / А. Г. Барилка, Р. М. Балабай // Український фізичний журнал. - 2015. - Т. 60, № 10. - С. 1050-1055. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UPhJ_2015_60_10_10.

15. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб. / Ю. М. Поплавко, О. М. Борисов, Ю. І. Якименко. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с. – Бібліогр.: с. 299. – пр.

16. Bilyak R. Methods of obtaining grapheme. *Computational Problems of Electrical Engineering*. 2023. Vol. 1, no. 1. P. 1–8. URL: https://doi.org/10.23939/jcpee2023.01.001 (date of access: 31.10.2025). ДСТУ 8302:2015

17. Отримання та дослідження властивостей оксиду графену. *Солярис*. URL: https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/colyaris.pdf (дата звернення: 29.10.2025). ДСТУ 8302:2015

18. ACS Material Store. *Graphene: A Complete Chemical History*. URL: https://www.acsmaterial.com/blog-detail/graphene-a-complete-chemical-history.html (date of access: 03.11.2025). ДСТУ 8302:2015

Науковий керівник: к.т.н., доц. Татарчук Т.В.

Статтю відправлено: 03.12.2025.

© Татарчук Т.В., Мохнач Р.Е., Нечаєв Д.Я., Новохатній І.П.

https://www.proconference.org/index.php/gec/article/view/gec42-00-005
DOI: 10.30890/2709-1783.2025-42-00-005

UDC 615.1:614.2-084

OTC-MEDICINES AND RESPONSIBLE SELF-MEDICATION UNDER GOOD PHARMACY PRACTICE

Sushchuk N.A.
PhD in Pharmacy
ORCID: 0000-0002-2364-3282
Odesa National Medical University,
Odesa, Valikhovskiy lane, 2, 65082

Abstract. *Responsible self-medication is a process by which individuals treat their minor illnesses and conditions that are either self-diagnosable or have been previously diagnosed by a physician using nonprescription, safe, high-quality medications. Over the counter (OTC) medicines are playing an increasingly crucial role in modern healthcare by promoting self-care, managing a broad spectrum of minor illnesses, and reducing the burden on healthcare systems. According to the requirements of the International Standard of Good Pharmacy Practice (GPP), the pharmacist plays a key role in ensuring effective pharmacotherapy. This role includes the management of drug therapy, monitoring treatment effectiveness, and providing patients with evidence-based information on the rational use of medicines. In addition, the pharmacist should assess the patient's health status and individual needs, taking into account personal characteristics and clinical factors*

Key words: *OTC-medicines, self-medication, Good Pharmacy Practice, pharmacist*

Introduction

Over the counter (OTC) medicines are playing an increasingly crucial role in modern healthcare by promoting self-care, managing a broad spectrum of minor illnesses, and reducing the burden on healthcare systems. Since they are safe, effective, and suitable for use without medical prescription or health professional's intervention, World Health Organization associates closely their use with the concept of self-medication and highlights the importance of responsible self-medication as one of the self-care interventions [1].

Main text

Responsible self-medication is a process by which individuals treat their minor illnesses and conditions that are either self-diagnosable or have been previously diagnosed by a physician using nonprescription, safe, high-quality medications. World Health Organization sets 3 basic criteria that should a medicinal product fulfills to be intended for self-medication. Firstly, the active ingredient at recommended dose should have low toxicity, it should present no risks like genotoxic