

ГРАФЕН ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ У МІКРОЕЛЕКТРОНІЦІ

Кевшин Назар Андрійович¹, Семенюк Андрій Анатолійович², Кевшин Андрій Григорович³

¹Студент 2-го курсу Волинського національного університету імені Лесі Українки

²Студент 3-го курсу Волинського національного університету імені Лесі Українки

³Доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки

Kevshyn.Nazar2023@vnu.edu.ua, Kevsyin_A@ukr.net

Графен – це шар атомів вуглецю, з'єднаних в гексагональну ґратку, являє собою м'який, шаруватий матеріал. Не дивлячись на товщину всього в один атом, він є одним із самих міцних матеріалів у світі. Квадратний метр графена вагою всього 0,0077 г здатний витримати чотири кілограми навантаження. Цей матеріал володіє великою теплопровідністю та найбільшою з усіх відомих матеріалів рухливістю електронів, завдяки чому має велику електропровідність, що робить перспективним матеріалом для використання його в наноелектроніці. Унікальність графена в тому, що він має таку ж структуру, як і напівпровідники, при цьому сам проводить електрику як провідники.

Сотні застосувань цього матеріалу запропоновані вже сьогодні, і щотижня з'являється інформація про нові можливості графену. Особливі властивості графену дозволяють не тільки ефективно відводити тепло, а й перетворювати його назад на електричну енергію. Враховуючи, що графенова решітка має товщину в один атомний шар, неважко передбачити, що густина елементів на чіпі різко зростає і може досягти 10 мільярдів транзисторів на квадратний сантиметр. Вже сьогодні реалізовано графенові транзистори та мікросхеми, змішувачі частоти, модулятори, що працюють на частотах понад 10 ГГц.

Графенові транзистори – основа міліметрового прориву. Перспектива такого прориву базується на використанні рекордно високої рухливості носіїв заряду у графені. При осадженні графену з парової фази на підшар міді та перенесенні підшару на діелектричну підкладку з алмазоподібного вуглецю вдалося отримати транзистори з граничною частотою ≈ 155 ГГц [1].

Рухливість електронів у графені набагато більша, ніж у кремнії, тому цифрові елементи з графену забезпечують більш високу частоту роботи. Так, транзистори IBM працюють на частоті 26 ГГц та мають розмір близько 240 нм. Оскільки між розмірами транзистора та її продуктивністю існує зворотна залежність, збільшення робочої частоти досягається за рахунок зменшення його розмірів.

На сьогодні вдалося створити кремнієві модулі, на яких було розміщено 10 атомарних шарів графену. У результаті графеновий шар отримав товщину близько 5 нм. У нових експериментальних модулях базові осередки зберігання інформації приблизно в 40 разів менші за клітинки, що використовуються в найсучасніших 20-нм модулях NAND-пам'яті. Дана технологія потенційно здатна у багато разів збільшити ємність модулів пам'яті. Крім того, дані запам'ятовуючі пристрої здатні витримувати сильне радіаційне випромінювання і температуру до 200°C, зберігаючи всю інформацію [2].

Ще одна перевага розробки полягає у безпрецедентній економічності витрати енергії. Для зберігання даних модулі пам'яті використовують два вихідні стани – нейтральний (вимкнений) і заряджений (включений). Для того, щоб закодувати 1 біт інформації в графенових модулях, потрібно в мільйон разів менше енергії, ніж для кодування того ж біта в кремнієвих чіпах.

Провідність графенових електродів перевищує 1700 см/м, тоді як у електродів на активованому вугіллі вона становить лише 10-100 см/м. Завдяки високій механічній міцності LSG-електроди можуть використовуватися в суперконденсаторах без сполучних елементів або струмоприймачів, що спрощує конструкцію та знижує собівартість виготовлення суперконденсаторів.

Графен можна використовувати замість ІТО (оксиду індія-олова) в електродах для OLED-дисплеїв. По-перше, це дозволяє знизити вартість дисплея, а по-друге, полегшує його утилізацію за рахунок припинення використання металевих елементів. Крім того, графен пропускає до 98% світла. Це значно вище за показник пропускання кращих матеріалів з ІТО (82-85%). Завдяки високій електропровідності графен можна використовувати для створення прозорих електродів, що управляють поляризацією та станом рідких кристалів.

Встановлено, що кілька шарів графену, нагріті при температурі 300-400°C у присутності порошкового заліза хлориду (FeCl_3) призводить до інтеркаляції шарів графену і хлориду заліза. Електрони з хлориду заліза збільшують кількість носіїв заряду в шарах графену, у результаті поверхневий опір шару падає до 8,8 Ом на квадрат при видимій прозорості матеріалу 84%. Новий матеріал має хорошу довготривалу та температурну стабільність [3].

На сьогодні вчені знайшли спосіб управління властивостями графена. З'ясувалося, що визначальну роль формуванні властивостей графена грає матеріал, у якому він вирощується. Зокрема, якщо підкладку, на якій буде вирощена структура, активувати киснем, то отриманий лист графену матиме властивості напівпровідника, якщо воднем – то властивості металу.

Для того, щоб виробляти з графену електроніку, необхідно використання графену тільки з тими самими, постійними властивостями. На даний момент розвиваються та застосовуються десятки методів з отримання графена різної якості, форми та розміру [4].

Унікальні властивості, які має графен, зможуть забезпечити до нього увагу на десятки років. Можливо, цей матеріал почне витісняти кремній із електронної промисловості. Відразу вуглецеві матеріали не зможуть замінити кремній у мікроелектроніці, але створення гібридних мікросхем уже виходить на комерційний рівень.

Список літератури

1. B. Vamsi Krsihna, S. Ravi, M. Durga Prakash. Recent developments in graphene based field effect transistors. *Materials Today: Proceedings*, 2021. Vol. 45. P. 1524-1528.
2. Xin Li, Kun Li, Man Yuan, Jiapeng Zhang, Haiyan Liu, Ang Li, Xiaohong Chen, Huaihe Song. Graphene-doped silicon-carbon materials with multi-interface structures for lithium-ion battery anodes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2024. Vol. 667. P. 470-477.
3. Xin Qi, Jin Qu, Hao-Bin Zhang, Dongzhi Yang, Yunhua Yu, Cheng Chi and Zhong-Zhen Yu. FeCl_3 intercalated few-layer graphene for high lithium-ion storage performance. *Journal of Materials Chemistry A*, 2015. P. 15341-15770.
4. Hamza El Etri. Graphene: A State-of-the-Art Review of Types, Properties and Applications in Different Sectors. *Prabha Materials Science Letters*, 2023. Vol. 2. P. 98-139.