

ВИКОРИСТАННЯ ГРАФЕНУ У ФОТОДЕТЕКТОРАХ

Кондрат В.В.

Науковий керівник – ас. Пятайкина М.І., проф. Стрількова Т.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

e-mail: valeriia.kondrat@nure.ua

This report discusses the prospects of using graphene, a two-dimensional material with a hexagonal structure, in photodetectors. The main optical properties of graphene, types of photodetectors based on it, their operating principle and results of their experimental tests are described. The areas of practical application of graphene photodetectors and the prospects for the development of this technology are outlined.

Елементи оптоелектроніки є основними в системах реєстрації і обробки оптичних індикаторів, за допомогою яких вивчаються різноманітні явища природознавства. Робота будь-яких систем зору залежить від якості фотоприймача [1, 2]. Перетворення світла в електричні сигнали використовується в багатьох технологіях, таких як оптичний зв'язок, генерація відео- та біомедичних зображень, безпека, нічне бачення, зондування газів і виявлення руху. Розробка наступного покоління надшвидких, високочутливих і широкодіапазонних фотодетекторів є актуальною. *Метою даної роботи є проведення порівняльного аналізу технічних характеристик різних типів фотодетекторів на основі графену, а також оцінка перспективності використання графену у фотодетекторах.*

Графен – двовимірний матеріал, моноатомний шар атомів вуглецю із гексагональною структурою. Основною особливістю чистого графена є відсутність у ньому забороненої зони, ширина якої дорівнює нулю. В графені виробництво носіїв заряду внаслідок поглинання світла відбувається, на відміну від багатьох речовин, в дуже широкому спектральному діапазоні, включаючи УФ, видиме, інфрачервоне і терагерцове випромінювання, причому коефіцієнт поглинання не залежить від частоти. Коефіцієнт поглинання графену, який становить 2,3%, відносно невеликий за абсолютною величиною, але значно вищий, ніж у традиційних напівпровідників, таких як InGaAs, GaAs або Ge, особливо в розрахунку на один моношар. Висока рухливість графену призводить до швидкої динаміки носіїв заряду, що у свою чергу, забезпечує надзвичайно ефективну конверсію фотонів або плазмонів в електричний струм або напругу. Оптичні властивості графену можна легко налаштувати за допомогою електронного легування [3]. Існує декілька типів фотодетекторів на основі графену. Метал-графен-металеві фотодетектори – перший клас фотодетекторів на основі графену, який досліджувався. Фотодатчик цього типу був випробуваний у оптичному зв'язку, і в ході експерименту було досягнуто безпомилкове відновлення потоку даних зі швидкістю 10 Гбіт/с. У одиночних метал-графенових з'єднаннях не

спостерігалось деградації фотореакції при частоті модуляції до 40 ГГц, і за допомогою всього оптичного вимірювання була виявлена внутрішня пропускна здатність 262 ГГц. Найбільша чутливість фотодатчиків такого типу складає 6.1×10^{-3} А/Вт. Другий тип – графен-напівпровідникові гетероперехідні фотоприймачі. Планарні переходи графену та елементів IV групи, а також комбінованих напівпровідників можуть діяти як діоди Шотткі. Електричні характеристики цих приладів демонструють випрямляючу поведінку з енергією бар'єру, що залежить від напівпровідникового матеріалу. Для малих темнових струмів напівпровідниково-графенові фотоприймачі працюють при зворотному зміщенні. Оптичне поглинання відбувається в напівпровіднику, тоді як шар графену діє як оптично прозорий колектор носіїв заряду. У даному типі фотодетекторів було отримано чутливість, що регулюється напругою (до 435 мА/Вт) для керування яскравістю, і виявлено можливість роботи в широкому динамічному діапазоні. Пізніше був представлений фотодетектор з оксиду графену-Si з максимальною чутливістю 63 мА/Вт [4, 5]. Третій вид фотодетекторів – гібридні. Вони реалізуються шляхом використання додаткових світлочутливих матеріалів або структур, які можуть ефективно поглинати світло та передавати енергію або електрони до основного провідного матеріалу – графену. Цим досягається покращення чутливості фотодетектора до світла [4]. Гібридні фотодетектори на основі сенсibilізованого графену були реалізовані за допомогою колоїдних квантових точок (КТ) як світлопоглинаючих середовищ. Найбільшої чутливості було досягнуто з використанням КТ кремнію Si ($0.1 - 2 \times 10^9$ А/Вт) та дисульфиду молібдена MoS₂ (1×10^9 А/Вт) [5].

Таким чином, використання графену у фотодатчиках значно покращують їх характеристики, зокрема при суміщенні його з іншими матеріалами. Фотодіоди на основі графену є багатообіцяючою альтернативою для дистанційного зондування, біомедичної візуалізації та оптичного зв'язку [4].

Список використаних джерел:

1. Стрілкова Т.О., Калмиков О.С., Бендеберя Г.М., Пятайкина М.І., Поліщук О.В. Стохастичні моделі вихідних сигналів в оптико-електронних системах // Колективна монографія «Сучасні технології в науці та освіті». 2021. Сєверодонецьк. С. 256-259.
2. Пятайкина М.І., Стрілкова Т.О. Дослідження дефектів дислокації в напівпровідникових матеріалах оптичними методами // ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи : матеріали 22-ої Міжнар. наук.-техн. конференції, 16-17 травня 2023 р. Київ, 2023. С.45-47.
3. F.H.L. Koppens and al. Photodetectors based on graphene, other two-dimensional materials and hybrid systems // Nature Nanotechnology. 2014. Vol. 9. PP. 780-793.
4. P.V. Ratnikov and A.P. Silin Two-dimensional graphene electronics: current status and prospects // Physics-Uspek. 2018. Vol. 61. PP. 1139-1174.
5. Adolfo De Sanctis and al. Graphene-Based Light Sensing: Fabrication, Characterisation, Physical Properties and Performance // Materials (Basel). 2018. Vol. 11.