

УДК 621.396.26

С.В. Сомов, Ю.М. Корж, О.Ю. Манойло

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФЕНА В МІКРОЕЛЕКТРОНІЦІ ДЛЯ ТЕПЛОВІДВЕДЕННЯ

Розглянуті основні властивості графена та технології його отримання. Показано, що на даний час результати наукових дослідів та промислові розробки дозволяють запропонувати застосування графена як матеріалу для тепловідведення в мікроелектроніці, що збільшить щільність упакування елементів в мікросхемах.

Ключові слова: графен, теплопровідність, мікросхема, нанотрубки.

Вступ

Одне з найбільш складних завдань, що вирішуються при розробці електронної апаратури – це відведення тепла, що розсіюється електронними пристроями. При сучасній стійкій тенденції до зменшення габаритів електронних пристроїв, тобто в мікросхемотехніці, гострота цієї проблеми не знижується, а постійно зростає тим сильніше, чим більша потужність пристрою і чим менший його фізичний об'єм. Для виготовлення систем охолодження електронних пристроїв використовують матеріали з високою теплопровідністю і малим тепловим опором. Однак за прогнозами фахівців, класичні системи охолодження виготовлені з алюмінію і міді незабаром не зможуть забезпечувати нормальний тепловий режим мікросхем. Намагаючись вирішити наростаючу проблему, вчені проводять дослідження спрямовані на створення різних композитних матеріалів з більш високими теплофізичними характеристиками. У 2004 році Костянтину Новосьолову та Андрію Гейму вдалося отримати матеріал із багатьма незвичайними механічними і електричними властивостями – графен. По міцності на розрив він перевершує сталь в 200 разів, швидкість електропровідності порівнянна зі швидкістю світла, а маса плівки графена товщиною в один атомний шар розміром з футбольне поле становить менше 1 г.

Мета даної статті – розглянути технології отримання графена та його властивості теплопровідності з точки зору можливості застосування його як радіаторів в мікроелектроніці.

Основний розділ

1. Існуючі технології отримання графена

Графен – двовимірна алотропна модифікація вуглецю, утворена шаром атомів вуглецю завтовшки в один атом, що знаходяться в sp^2 -гібридації і з'єднаних в гексагональну двовимірну кристалічну решітку [1]. Про властивості графена вчені знали давно, але проблема полягала в тому, як його отримати.

Головним із існуючих в даний час способів отримання графена заснований на механічному відщепленні шарів графіту [2]. Він дозволяє

отримувати найбільш якісні зразки з високою рухливістю носіїв заряду (максимальна рухливість електронів серед усіх відомих матеріалів), що робить його перспективним матеріалом для використання в самих різних пристроях, зокрема, як основу наноелектроніки.

Відповідно до цього підходу, графенові листи відокремлюються від кристалічного графіту або в результаті тертя невеликих кристаликів графіту один об одного, або за допомогою липкої стрічки, подальше розчинення якої в кислоті приводить до отримання індивідуальних графенових шарів.

Найпростіший спосіб розшарування графіту на окремі графенові листи заснований на використанні поверхнево-активних органічних рідин. Подібний підхід використовує шарувату структуру кристалічного графіту, завдяки якій можливе проникнення атомів або молекул різної природи в простір між шарами. Це призведе до збільшення відстані між шарами і відповідно до зниження енергії взаємодії між ними. В результаті виявляється можливим поділ графітових шарів при механічному впливі на них.

Ефективним є, також, підхід заснований на використанні хімічних окислювачів. Відповідно до цього підходу, при впливі на графіт сильних газоподібних окислювачів, до яких в першу чергу відносяться кисень і галогени, відбувається окислення внутрішніх шарів графіту. Це супроводжується збільшенням міжшарової відстані в кристалі і відповідно зниженням енергії взаємодії між шарами. В результаті полегшується можливість поділу графітових шарів в рідкій фазі, що дозволяє синтезувати зразки оксиду графену з поперечним розміром порядку сотень мікрометрів.

Ще один ефективний підхід до синтезу графена заснований на термічному розкладанні карбиду кремнію, результатом якого є епітаксіальне зростання графенової плівки на поверхні кристалу SiC. Переваги подібного підходу пов'язані, в першу чергу, з тим, що розмір синтезованого зразка при хорошій якості вихідного кристалу SiC може бути порівнянний з розміром кристалу. Крім того, для дослідження електричних характеристик графена його необхідно розташовувати на діелектричній підкладці,

тому в даному випадку завдяки діелектричним властивостям SiC не виникає технічних проблем, пов'язаних з необхідністю перенесення зразка з металеві підкладки на діелектричну.

Результати експериментів з отримання графена методом термічного розкладання SiC вказують на високу чутливість якості синтезованих зразків до ступеня досконалості структури вихідного кристалу [2]. Поперечні розміри таких зразків не перевищували кілька сотень нанометрів, що пов'язано з полікристалічною структурою вихідних кристалів. Крім того, як показують спостереження за допомогою електронного мікроскопа, поверхня вирощеної плівки була неоднорідною. В результаті ретельної обробки поверхні вихідного кристалу досягли істотного поліпшення ступеня однорідності графенових плівок, отриманих термічним розкладанням карбиду кремнію.

2. Застосування структур на основі графена як радіатора

Питомий електричний опір цього матеріалу при кімнатній температурі дорівнює ~ 1 мкОм·см, що на 35% менше, ніж у міді. Його теплопровідність в 10 разів більше ніж у міді. В кристалічній структурі графена атоми вуглецю вибудовані в решітку – це так звані «бджолині стільники». Згідно з наявними експериментальними даними, графен має найвищу серед твердих тіл теплопровідність при кімнатній температурі. Його теплопровідність ($4840\text{--}5300$ Вт·м⁻¹·К⁻¹) вища, ніж у ізотопно чистого алмазу (3320 Вт·м⁻¹·К⁻¹), одного із кращих провідників тепла [2].

Вченими було відкрито дивну властивість графена, яка робить можливим виготовлення практично ідеального тепловідведення: шар вуглецю товщиною в один атом може слугувати «посередником», що дозволяє вирощувати вертикальні нанотрубки майже на будь-якій поверхні, в тому числі і на поверхні алмазу [3]. Можна спрогнозувати, що нанотрубки нескладно отримати і на поверхні тепловідводів з алюмінію і міді. Таким чином, перетворивши їх в радіатор з розвиненою поверхнею.

Результати дослідження, проведеного університетом Rice спільно з компанією Honda, дозволять вирощувати нанотрубки на підкладках, які раніше вважалися для цього абсолютно непридатними [4]. Вчені продемонстрували це, виростивши нанотрубки на поверхні алмазу. Алмаз дуже добре, в п'ять разів краще міді, проводить тепло. Але площа його поверхні, що випромінює, дуже мала. Графен, навпаки, фактично складається тільки з поверхні. Теж можна сказати і про вуглецеві нанотрубки, які представляють собою скручений в трубки графен. Ліс вертикальних нанотрубок, вирощених на поверхні, буде розсіювати тепло як радіатор, що має мільйони ребер.

Таке ультратонке тепловідведення дасть можливість суттєво заощадити простір в компактних мікро-

електронних пристроях. Учені з дослідницького інституту компанії Honda вирощували графен на мідній фользі стандартним методом осадження із парової фази. Потім вони переносили листи графена з фольги на поверхні зразків з алмазу, кварцу і різних металів. Для подальших досліджень зразки передавалися в університет Rice, де на них вирощували нанотрубки. Хороші результати були отримані тільки з одношаровим графеном, причому дефектно-хвилясті і зморшкуваті листи працювали найкраще [5]. Дефекти графена захоплювали розпорошені частки каталізатора на основі заліза, на яких і починали рости нанотрубки. З'ясувалося, що особливо високу теплопровідність має гібридна структура із графена і нанотрубок, вирощених на металевому субстраті, фотографії якої, отримані за допомогою електронного мікроскопу, подані на рис. 1.

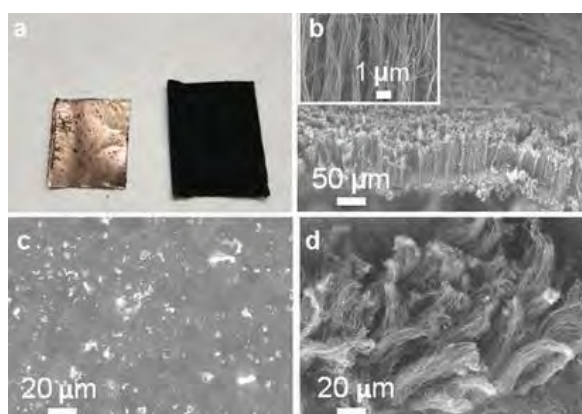


Рис. 1. Мідна фольга до і після покриття нанотрубками

Таким чином, графен володіє всіма потрібними властивостями для ефективного відводу тепла, але на сьогоднішній день він дуже дорогий, так як відсутній ефективний спосіб його отримання для впровадження у промислове виробництво. Тим часом робота великої кількості вчених в галузі отримання графена в промислових масштабах, дозволяє розраховувати на появу незабаром нового класу тепловідведення і систем охолодження електронних пристроїв. Такі тепловідводи володітимуть рекордно низьким значенням теплового опору, що призведе до зниження теплового навантаження на кристал.

Висновки

Таким чином на підставі розглянутих в статті матеріалів можна вважати, що існуючі на даний час технології отримання графенових плівок, вирощування графенових нанотрубок можуть бути застосовані для створення систем тепловідведення – радіаторів НВІС з великою щільністю упакування елементів.

Список літератури

1. Графен [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.material.osngrad.info/node/60>.

2. Графен: методы получения и теплофизические свойства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ufn.ru/ufn11/ufn11_3/Russian/r113a.pdf.

3. Майк У.с, Рут Д. Бриллианты, нанотрубки найти общий язык в графене. Bergquist [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://news.rice.edu/2013/05/28/diamonds-nanotubes-find-common-ground-in-graphene/>

4. Меркульев А.Ю. Графен как материал для теплоотводов нового поколения [Текст] / А.Ю. Меркульев, Н.К. Юрков // Молодой ученый. – 2014. – № 3. – С. 331-333.

5. Алмазы и нанотрубки «договорились» с помощью графена: Технология, позволяющая выращивать нанотрубки на любой поверхности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.popmech.ru/science/>.

Надійшла до редколегії 29.05.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Л. Ляхов, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава.

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФЕНА В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ ДЛЯ ТЕПЛОТВОДА

С.В. Сомов, Ю.Н. Корж, О.Ю. Манойло

Рассмотрены основные свойства графена и технологии его получения. Показано, что на данное время результаты научных исследований и промышленные разработки позволяют предложить, что графен как материал можно использовать для теплоотвода в микроэлектронике, что позволит увеличить плотность упаковки элементов в микросхемах.

Ключевые слова: графен, теплопроводимость, микросхема, нанотрубки.

THE USE OF GRAPHENE IN MICROELECTRONICS FOR THE HEAT SINK

S.V. Somov, Y.N. Korzh, O.J. Manoilo

The article describes the basic properties of graphene and its production technology. It is shown that at this time the results of scientific research and industrial development allow us to offer that graphene as a material can be used for heat dissipation in microelectronics, which will increase the packing density of elements in the chips.

Keywords: graph, thermal conductivity, chip nanotubes.