

Popularnonaukowy opis prowadzonych badań

Grafen jest jednym z najbardziej obiecujących materiałów przyszłości. Jego niezwykle właściwości, takie jak bardzo wysoka mobilność elektronów (dwa rzędy wielkości większa niż w krzemie), wytrzymałość mechaniczna, czy przezroczystość, sprawiają, że przewiduje się, że znajdzie on liczne zastosowania m. in. w spintronice, optoelektronice, czy elektronice [1]. Materiał ten został odkryty w 2004r. przez Andre Geima i Konstantina Novoselova, poprzez wielokrotną mechaniczną eksfoliację grafitu (odklejanie kolejnych warstw). Za to odkrycie naukowcy otrzymali w 2010r. nagrodę Nobla. Grafen jest formą alotropową węgla, dwuwymiarowym kryształem, w którym atomy uporządkowane są w strukturę „plastra miodu”. Ta niezwykle struktura fizyczna jest odpowiedzialna za wyjątkowe właściwości materiału, w tym liniową relację dyspersji elektronów w okolicy tzw. Punktu Diraca.

Pomimo dużego zainteresowania ze strony środowiska naukowego, wciąż nie opracowano powtarzalnej metody syntezy wysokiej jakości, makroskopowego grafenu. Istniejące metody, takie jak chemiczne osadzanie z fazy gazowej (CVD), czy powierzchniowa segregacja atomów węgla rozpuszczonych w metalu charakteryzują się małą powtarzalnością oraz ograniczoną jakością wytworzonego grafenu (czyli niskim rozmiarem domen monokrystalicznych, dużą koncentracją defektów, obszarami grafenu wielowarstwowego). Ponadto, wymagają one transferu grafenu na izolujące podłoże (by można go było zastosować w elektronice), co dodatkowo prowadzi do zmniejszenia jakości materiału. Jedną z alternatywnych metod syntezy grafenu jest powierzchniowa grafityzacja kryształów węgliku krzemu. Grafityzacją nazywamy powierzchniową dekompozycję SiC w temperaturach ok. 1200°C, w warunkach próżniowych, połączoną z sublimacją z powierzchni bardziej lotnych atomów krzemu. Nadmiarowe atomy węgla, które pozostają na powierzchni, ulegają spontanicznemu przekształceniu w grafen. W warunkach próżniowych proces ten zachodzi jednak zbyt szybko (tempo sublimacji atomów krzemu jest zbyt duże), co wymusza stosowanie relatywnie niskich temperatur, w których atomy węgla mają niską mobilność i nie mogą osiągnąć preferowanych termodynamicznie pozycji na powierzchni. Skutkuje to niejednorodnym pokryciem powierzchni grafenem, licznymi defektami krystalograficznymi, wytworzeniem obszarów grafenu wielowarstwowego, czy nawet makroskopowego grafitu. Najpopularniejszą metodą spowolnienia procesu jest prowadzenie go w atmosferze gazów obojętnych (np. argonu) pod ciśnieniem atmosferycznym. Atomy krzemu sublimujące z powierzchni mogą zostać zawrócone na nią, w wyniku zderzenia z atomami gazu, co efektywnie zmniejsza tempo ich sublimacji i pozwala na zastosowanie wyższych temperatur procesu. [2]

W ramach projektu badawczego badamy alternatywny sposób spowolnienia procesu. Zamiast atmosfery gazów buforowych, prowadzimy grafityzację w warunkach ultrawysokiej próżni, przy jednoczesnym napyłaniu na powierzchnię węgliku krzemu atomów krzemu, pochodzących z zewnętrznego źródła sublimacyjnego. Nasza metoda ma szereg przewag nad grafityzacją w atmosferze gazów obojętnych. Gęstość strumienia atomów krzemu jest bardzo dobrze kontrolowalna i można ją ustalić zasadniczo dowolnie. Dzięki temu, przy odpowiednio dobranych parametrach jesteśmy w stanie osiągnąć *quasi*-równowagowe warunki procesu, przy których zachodzi on bardzo wolno, dzięki czemu atomy węgla mają wystarczająco dużo czasu, by osiągnąć swoje preferowane termodynamicznie pozycje. Prowadzenie procesu w warunkach ultrawysokiej próżni skutkuje również zmniejszeniem ekspozycji powierzchni na nieznane zanieczyszczenia o kilka rzędów wielkości. Nasz proces wykorzystuje również wysokie tempo ogrzewania próbek, co prowadzi do ograniczenia powstawania na powierzchni wysokich tarasów, pogarszających właściwości elektryczne materiału, a także może być zastosowany do interkalacji materiału obcymi atomami.

Przeprowadzone badania pozwoliły potwierdzić, że grafen wytworzony za pomocą proponowanej przez nas metody charakteryzuje się wyjątkowo wysoką jakością, niską koncentracją defektów, niemal idealnym uporządkowaniem krystalograficznym powierzchni i dużym rozmiarem ziaren, a także dużym stopniem jednorodności w skali makroskopowej (brak wysokich tarasów na powierzchni). Określiśmy też parametry procesu w zakresie których grafityzacja następuje w sposób *quasi*-równowagowy. W tej fazie projektu skupiamy się na systematycznej zmianie tych parametrów i określeniu ich wpływu na właściwości wytworzonego grafenu. Badania materiału syntezowanego w warunkach *quasi*-równowagowych na kolejnych etapach wzrostu grafenu, zaplanowane do przeprowadzenia w ramach stażu w London Centre for Nanotechnology, pozwolą na opisanie mikroskopowego mechanizmu grafityzacji i zbadanie kinetyki zachodzących reakcji. „Idealny” grafen wytworzony w tych warunkach zostanie również dokładnie zbadany pod kątem właściwości elektronowych (mobilność nośników prądu, lokalna struktura elektronowa w okolicy krawędzi tarasów atomowych). Dodatkowo zbadana zostanie również możliwość interkalowania grafenu atomami metali przejściowych już na etapie syntezy materiału, co pozwoli na uniknięcie problemów napotykanym przy zastosowaniu innych metod wzrostu.

[1] Bolotin, K.I., et al., Solid State Communications (2008) 146, 351-355

[2] Emtsev K.V., et. al., Nature Materials (2009) 8, 203-207