

Jakub Kierdaszuk

Badania procesów rozproszeniowych w grafenie na podłożu z nanodrutów

Struktura grafenu na nanodrutach GaN może posłużyć do konstrukcji diod świecących bądź czujników światła. Badanie oddziaływań pomiędzy tymi materiałami są kluczowe do uzyskania struktur pracujących z wysoką wydajnością. Tematem rozprawy są badania dotyczące czterech aspektów możliwego wpływu podłoża nanodrutów GaN na procesy rozproszeniowe w grafenie. Są to kolejno: wpływ podłoża na intensywność rozpraszania ramanowskiego w grafenie, rozkład naprężenia grafenu, transport ładunków oraz działanie struktur bramkujących grafen. W ramach rozprawy przygotowano szereg próbek monowarstw i wielowarstw grafenu, które przekładano na podłoża nanodrutów oraz referencyjne struktury epitaksjalne. Ich morfologia została zbadana za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej, zaś właściwości grafenu określono głównie przy pomocy spektroskopii ramanowskiej. Ponadto, wykorzystano wyniki uzyskane z pomiarów dyfrakcji rentgenowskiej, elektroodbicia, mikroskopii sił atomowych, skaningowej mikroskopii tunelowej, bezkontaktowego transportu oraz charakterystyk prądowo-napięciowych i pojemnościowo-napięciowych.

W ramach pierwszego aspektu badań zanalizowano właściwości grafenu na nanodrutach GaN z zakończeniami $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ o różnej zawartości aluminium. Wykazały one, że wbrew innym doniesieniom literaturowym, ładunki polaryzacyjne w nanodrutach są ekranowane. Porównanie wyników ramanowskich z symulacjami numerycznymi zasugerowało, że ani interferencja światła ani elektromagnetyczny efekt SERS nie mogą być odpowiedzialne za obserwowane wzmocnienie widm Ramana grafenu na nanodrutach. Porównawcze badania grafenu przekładanego na złote struktury wykazały, że grafen na nanodrutach GaN charakteryzują się niewielką dyspersją intensywności widm. Widma grafenu na nanodrutach GaN cechują się ponadto niższą intensywnością i słabszym tłem luminescencji w porównaniu do próbek grafenu na złotych nanostrukturach.

W drugiej części rozprawy zbadano jak morfologia podłoża nanodrutów GaN wpływa na rozkład naprężenia grafenu. W grafenie na nanodrutach powstają zmarszczki, które łączą sąsiednie nanodrutu. Zmarszczki pomiędzy nanodrutami o dużej średnicy są wielokrotne. Gradient naprężenia na zmarszczkach grafenu zależy od odległości pomiędzy ściankami sąsiednich nanodrutów. Lokalny wzrost tej odległości zwiększa gradient naprężenia pomiędzy

obszarami swobodnie zawieszonego grafenu, który jest zlokalizowany blisko i daleko od nanodrutów. Ponadto, obecność zmarszczek towarzyszą zmianę lokalnej gęstości stanów elektronowych oraz wzmocnienie modu D' . Uzyskane wyniki sugerują, że w pobliżu zmarszczek grafenu na nanodrutach GaN możliwa jest indukcja pól pseudomagnetycznych.

W ramach trzeciego obszaru badań prześlędzono jak zmiana składu zakończeń nanodrutów oraz ich morfologia wpływają na charakteryzujące sygnał słabej lokalizacji długości rozproszeń. Pomiary próbek dwóch i trzech warstw nie wykazały istotnego wpływu liczby warstw na długości rozproszeń. Zaobserwowano, że zmiana składu zakończeń nanodrutów z GaN na AlN prowadzi do skrócenia dróg koherencji i rozpraszania międzystożkowego. Sugeruje to obecność defektów posiadających moment magnetyczny. Badania grafenu na nanodrutach o różnej morfologii pozwoliły skorelować długości koherencji oraz rozpraszania dalekozasięgowych z odległościami pomiędzy krawędziami nanodrutów. Dodatkowo, długość rozpraszania międzystożkowego została skorelowana z gradientem naprężenia pomiędzy obszarami swobodnie zawieszonego grafenu zlokalizowanego blisko i daleko od nanodrutów. Te obserwacje sugerują, że dodatkowym czynnikiem wpływającym na długości dróg rozproszeń w grafenie na nanodrutach jest oddziaływanie z polem pseudomagnetycznym.

W ramach ostatniego obszaru badań zanalizowano struktury grafenu na bramkującej go epitaksjalnej warstwie GaN i nanodrutach GaN. Złącze grafenu ze strukturami GaN ma charakter diody Schottkiego. Pod wpływem przykładanego napięcia wartość koncentracji ładunków w grafenie na epitaksjalnym GaN ulega znacznej zmianie. Zmiana koncentracji w grafenie na nanodrutach GaN jest o rząd wielkości mniejsza. Dodatkowo, grafen na nanodrutach jest poddawany elektrostatycznie indukowanemu naprężeniu. Jego wartość skaluje się z procentem powierzchni styku grafenu i nanodrutów. Ponadto, powierzchnia styku grafenu z nanodrutami wpływa na pojemność złącza grafen/GaN.

Przeprowadzone badania pozwoliły uzyskać szereg cennych wyników charakteryzujących oddziaływania zachodzące na styku grafenu i nanodrutów. Otwierają one drogę do dalszych badań oraz pokazują perspektywy możliwych zastosowań tej heterostruktury.