Одиночные углеродные наноосцилляторы и резонансные детекторы масс на их основе

Мухин И.С.^{1,2}, Лукашенко С.Ю.³, Комиссаренко Ф.Э.¹, Голубок А.О.^{1,3}

¹ Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

² Санкт-Петербургский Академический университет, 194021 Санкт-Петербург, ул. Хлопина, 8/3.

³ ИАП РАН, 190103, Санкт-Петербург, Рижский пр., 26

DOI 10.34077/Semicond2019-469

Наномеханические осцилляторы, имеющие малый объем и малую массу являются перспективными чувствительными элементами для прецизионных сенсоров различных физических величин. Кроме того, интерес к наноосцилляторам с высокой резонансной частотой и добротностью связан с тем, что при низких температурах такие, вообще говоря, макроскопические с точки зрения квантовой механики механические объекты, состоящие из большого ансамбля атомов ($10^8 - 10^9$) могут переходить в необычное для макроскопических образцов квантовое состояние [1]. Развитие нанотехнологий в последние годы сделало доступным для экспериментальных исследований разнообразные типы наномеханических осцилляторов, состоящих из различных материалов [2, 3].

В данной работе представлен метод

Рис.1. – СЭМ изображения одиночного С вискера, локализованного на вершине W острия (а), и возбужденных механических колебаний С вискера (б). (в) АЧХ колебаний, аппроксимированная с помощью функции Лоренца. (г) СЭМ изображение С вискера с наноловушками, в которых зафиксированы одиночные наночастицы.

формирования наноосцилляторов на основе одиночных углеродных нановискеров (см. Рис. 1 а), созданных на вершине металлических острий при осаждении материала под действием сфокусированного электронного пучка в камере сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Данный метод является аддитивным подходом, позволяющим формировать многомерные углеродные наноструктуры. Представлена методика исследования механических свойств созданных углеродных наноструктур в условиях вакуума камеры СЭМ при возбуждении и детектировании собственных механических колебательных мод наноструктур. На Рис. 1 б) представлено СЭМ изображение одиночного С вискера, локализованного на вершине W острия, в котором возбуждены механические колебания на первой резонансной моде. На Рис. 1 в) приведена экспериментально измеренная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) данного осциллятора.

Комплексная методика на основе метода осаждения материала под действием сфокусированного электронного пучка и метода переноса наночастиц металлическим острием, экспонируемым электронным пучком, позволила создать, исследовать и откалибровать резонансные детекторы масс на основе одиночных углеродных нановискеров с наноловушками, сформированных на вершине острий (Рис. 1 г). Анализ сдвига АЧХ колебаний нанорезонатора до и после фиксации одиночных наносфер калиброванной массы на его конце с ловушками позволил провести калибровку сенсора масс и оценить чувствительность метода на уровне ($10^{-15} - 10^{-14}$).

[1] A.D. O'Connell et al., *Nature*, **464**, 697 (2010).

[2] K. Jensen et al., *Nat. Nanotechnol.* **3**, 533 (2008).

[3] D.A. Dikin et al., *Journal of applied physics*, **93**(1), 226 (2003).