

Моделирование поверхностного потенциала вертикально ориентированных углеродных нанотрубок в зависимости от диаметра для создания сенсоров деформации

Полывянова М.Р.¹, Петрова С.В.¹, Ильина М.В.¹

polyvianova@sfsedu.ru

¹ ЮФУ, ИНЭП, Таганрог, Россия

Носимые электронные устройства открывают широкие перспективы для развития робототехнических систем, средств непрерывного мониторинга состояния здоровья и человеко-машинных интерфейсов. Ключевой функцией таких устройств является генерация электрических сигналов в ответ на внешние механические и физические воздействия. Сенсоры деформации трансформируют механическое воздействие в распознаваемый сигнал, используя, как правило, пьезорезистивный или пьезоэлектрический эффекты. Пьезоэлектрические сенсоры выделяются простотой конструкции и удобством регистрации сигнала, поскольку они не требуют внешнего источника питания и способны выступать в роли автономных сенсоров [1]. Вертикально ориентированные углеродные нанотрубки (ВОУНТ), легированные азотом, являются перспективным функциональным материалом для создания сенсора деформации, так как обладают аномальными пьезоэлектрическими свойствами и высокими механическими параметрами [2]. Целью данной работы является исследование влияния диаметра ВОУНТ на величину поверхностного потенциала, генерируемого под действием прижима верхнего электрода.

Моделирование конструкции сенсора, процесса деформации и величины поверхностного потенциала ВОУНТ проводилось в программном пакете COMSOL Multiphysics с использованием модуля "MEMS" в интерфейсах Solid Mechanics и Electrostatics. Конструкция сенсора деформации на основе ВОУНТ представляла собой верхний пирамидальный электрод, чувствительный элемент сенсора в виде ВОУНТ и нижний электрод. Деформация нанотрубки формировалась путем приложения силы 5,5 мкН к верхнему электроду. Диаметр ВОУНТ варьировался от 20 до 75 нм. Длина ВОУНТ составляла 2 мкм.

Моделирование электрофизических характеристик показало, что поверхностный потенциал ВОУНТ демонстрирует прямую зависимость от диаметра: увеличение диаметра нанотрубок от 20 до 75 нм приводило к росту поверхностного потенциала от 32 до 470 мВ. Наблюдаемая зависимость объясняется несколькими физическими механизмами. С одной стороны, увеличением диаметра нанотрубки приводит к увеличению механического напряжения структуры. С другой стороны, увеличение диаметра сопровождается ростом площади и величины деформации бамбукообразных перемычек в полости нанотрубки, участвующих в преобразовании и накоплении генерируемого заряда при механической деформации [2].

Установленная закономерность имеет важное прикладное значение для проектирования чувствительных элементов сенсоров деформации. Показано, что увеличение диаметра легированных азотом ВОУНТ может служить эффективным инструментом повышения выходной мощности пьезоэлектрических устройств на их основе.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №25-79-10302 в ЮФУ.

Ссылки

1. Segev-Bar M., Haick H. ACS Nano. 2013. Vol. 7, № 10. P. 8366–8378.
2. Il'ina M. O. Il'in, O. Osotova, S. Khubezhov, N. Rudyk, I. Pankov, A. Fedotov, O. Ageev. Carbon N. Y. Elsevier Ltd, 2022. Vol. 190. P. 348–358.