**Исследование характеристик наноразмерных структур методами численного моделирования**

***Попов А.А.1****, Михайлов П.О.1,**Дорофеев А.А.1, Нибудин Г.В. 1, Трифонов А.С.1, Преснов Д.Е.1,2, Снигирев О.В.1, Крупенин В.А. 1*

*Аспирант*

1. *Лаборатория "Криоэлектроника", Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*
2. *Научно-исследовательский центр ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

*E-mail: popov.aa16@physics.msu.ru*

Последние десятилетия внимание исследователей приковано к наноразмерным объектам, в том числе к наноэлектромеханическим системам, биосенсорам, одноэлектронным структурам. Такие объекты нашли широкое применение в решении как прикладных, так и фундаментальных задач [1]. На базе НЭМС изготавливают сверхчувствительные датчики массы, силы, ускорения [2]. Биосенсоры на основе полевых транзисторов с каналом-нанопроводом в перспективе можно использовать для обнаружения различных заболеваний [3,4]. Одноэлектронные структуры используются для создания полевых/зарядовых сенсоров, сверхчувствительных термометров [5], а также в качестве сенсоров в ряде уникальных экспериментов [6].

Наносистемы, будучи на границе классической и квантовой физики, обладают уникальными свойствами, изучение которых всегда сопряжено с определенными трудностями, такими как сложность и трудоемкость технологических процессов для создания и тестирования образцов, большие временные затраты, невозможность учесть на практике все различные условия и параметры, которые могут влиять на конечные результаты. Поэтому все более важной областью для развития новых технологий становится численное моделирование. Оно помогает лучше понять физические процессы, происходящие в наносистемах, позволяет предсказывать с необходимой точностью их поведение в различных условиях и оптимизировать их характеристики для конкретных целей без необходимости создания реальных физических структур, экономя при этом время и ресурсы.

В данной работе численно промоделированы зависимости резонансных частот наноэлектромеханических систем от напряжений на управляющих электродах для разных длин проводов, от длины и ширины нанопроводов, от температуры, модуля Юнга и начальной напряженности нитрида кремния. Приведена зависимость резонансной частоты нанопровода для различных составных материалов. Так же было проведено моделирование распределения температуры по поверхности биосенсора со встроенным терморегулятором на основе полевых транзисторов с каналом-нанопроводом. Кроме того, с использованием моделирования был продемонстрирован способ оптимизации геометрии экспериментального образца одноатомного транзистора. Полученные данные хорошо согласуются с результатами реальных измерений.

Таким образом, совместное решение тепловой, механической и электростатической задач с использованием среды численного моделирования позволяет спрогнозировать поведение и исследовать интересующие нас характеристики изготовленных систем.

[1] Presnov, D. E., et al. "High quality factor mechanical resonance in a silicon nanowire." *JETP Letters* 108.7 (2018): 492-497.

[2] Гринберг, Яков С., Юрий А. Пашкин, and Евгений В. Ильичев. "Наномеханическиерезонаторы." *Успехифизическихнаук* 182.4 (2012): 407-436.

[3] G. Presnova, D. Presnov, V. Krupenin, et al., Biosensors and Bioelectronics, 88, 283–289, (2017)

[4] Нибудин Г.В, Циняйкин, И.И., Преснова, и др., «Наноразмерный биосенсор со встроенным терморегулятором для ДНК диагностики», Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, издательство Изд-во Моск. ун-та, №1, (2024) [5] J. Kauppinen, K. Loberg, A. Manninen, et al., “Coulomb blockade thermometer: Tests and instrumentation”, Review of scientific instruments, vol. 69, no. 12, p. 4166–4175, 1998

[6] Y. Wei, J. Weis, K. v. Klitzing, and K. Eberl, “Edge strips in the quantum hall regime imaged by a single-electron transistor”, Physical review letters, vol. 81, no. 8, p. 1674, 1998.