

БИОСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С КАНАЛОМ-НАНОПРОВОДОМ ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Вед. науч. сотр. Крупенин В.А., ст. науч. сотр. Преснова Г.В., вед. науч. сотр. Рубцова М.Ю., ст. науч. сотр. Преснов Д.Е., аспирант Циняйкин И.И., студент Нибудин Г.В., доцент Шорохов В.В., ст. науч. сотр. Трифонов А.С., профессор Снигирев О.В. (физ.ф-т МГУ, хим. ф-т МГУ, НИИЯФ МГУ)

Переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения требует решения соответствующих научных проблем, одна из которых связана с детектированием в режиме реального времени низких концентраций специфических биомаркеров (белков, вирусов, нуклеиновых кислот и др).

За последние несколько лет достигнут значительный прогресс в разработке и создании биосенсорных устройств на основе полупроводниковых нанопроводов. К ним относятся и биосенсоры на основе полевых транзисторов с каналом-нанопроводом, в которых отклик на воздействие (связывание анализируемых веществ с распознающими молекулами на поверхности нанопровода) определялся по изменению транспортного тока транзистора. Такие устройства могут быть основой мощной диагностической платформы, благодаря своим уникальным сенсорным свойствам, сверхмалым размерам и возможности проведения анализа в режиме реального времени. Их эффективность для обнаружения различных биоаналитов в режиме реального времени с высокой точностью и специфичностью подтверждена многочисленными исследованиями [1,2,3]. Повышенный интерес именно к кремниевым нанопроводам, как наноразмерным биосенсорам, обусловлен совместимостью процессов их изготовления со стандартной технологией полупроводникового производства, обеспечивающей возможность создания дешевых диагностических систем.

Для изготовления сенсорных структур полевых транзисторов с каналом-нанопроводом используются специализированные пластины кремния на изоляторе (КНИ). Экспериментальные образцы сенсоров содержат независимые области с сенсорами для модификации их различными реагентами, а также интегрированную систему поддержания/задания температуры жидкостной реакционной среды в диапазоне 25-100°C. Повышение температуры позволяет очистить нанопровод от «пришитых» биомолекул и многократно использовать сенсор, а в случае ДНК анализа увеличить специфичность и сократить время исследования. Основное преимущество разрабатываемого сенсора - обеспечение мультиплексности анализа на основе наличия независимых областей с

сенсорами, что позволит существенно расширить область применения наноустройств для одновременного определения различных биологически-активных веществ.

Для достижения высокой чувствительности и специфичности определения единичных биомаркеров и мультиплексного анализа нескольких биомаркеров проведено изучение различных подходов к химической модификации кремния с использованием наночастиц металлов. Принцип модификации кремния наночастицами золота небольшого диаметра (3-5 нм) показал свою эффективность при определении онкомаркера простат-специфического антигена. Разработанная электростатическая модель показала, что при этом существенно увеличивается эффективная сенсорная площадь и емкостная связь между поверхностью нанопровода и детектируемым объектом. В эксперименте достигнута рекордная чувствительность на единицу изменения pH - 70 ± 1 мВ.

Модификация поверхности нанопроводов антителами различной специфичности позволяла регистрировать биологически значимые маркеры, такие как простат-специфический антиген (PSA), тиреоглобулин (Tg), тиреотропный гормон (TSH) в буфере и сыворотках крови.

Работа поддержана Междисциплинарной научно-образовательной школой Московского университета «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

[1] A. Zhang and C.M. Lieber, *Chem. Rev.* **2016**, 116(1), 215-257.

[2] I.I. Tsiniiaikin, G.V. Presnova, et al., *Moscow University Physics Bulletin* **2020**, 75(6), 645-656.

[3] G. Presnova, D. Presnov, et al., *Biosensors and Bioelectronics* **2017**, **88**, 283–289.