

Тончайший диагност

Учеными Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (Новосибирск) разработана и апробирована технология, ориентированная на массовое производство электронных биохимических сенсоров. Эти доступные и высокочувствительные приборы могут использоваться для ранней диагностики болезней или выявления вредных веществ в окружающей среде

В настоящее время на основе передовых технологий интенсивно разрабатываются новые подходы к анализу состояния здоровья человека, позволяющие обеспечить раннюю диагностику заболеваний в реальном режиме времени при малом количестве анализируемого биологического образца. Примером такого подхода являются молекулярные детекторы с сенсорными элементами в виде кремниевых нанопроволок, отличающиеся высокой производительностью, чувствительностью и биологической совместимостью.

В подобных приборах детектируемая заряженная частица при осаждении на поверхность нанопроволоки служит локальным «виртуальным» затвором, модулирующим ее проводимость. Если область индуцированной модуляции сопоставима с размерами нанопроволоки, то тогда достигается очень высокая чувствительность сенсорного элемента – на уровне единичной частицы! А покрытие сенсора специальным веществом увеличивает адсорбцию тестируемых частиц.

Электронный чип с массивом сенсорных элементов, устройством для транспортировки образца и встроенной схемой управления является универсальной платформой для молекулярных детекторов различного назначения. Подобная платформа была предложена и реализована в ИФП СО РАН, причем в качестве сенсоров в ней используется нанопроволока, сформированная на основе тончайших слоев *кремния на изоляторе* (КНИ) толщиной до десятка нанометров.

Особенность данных сенсоров – использование встроенного оксида SiO_2 и кремниевой подложки в качестве подзатворного диэлектрика и тылового затвора, регулирующего чувствительность прибора: в этом случае КНИ-нанопроволока может функци-

онировать как кремниевый нанопроволочный транзистор. Это означает, что на сенсоре регистрируются не только изменения проводимости при адсорбции частиц, но и его подпороговые транзисторные характеристики. В результате зависимость проводимости от поверхностного потенциала носит не линейный, а экспоненциальный характер, что обеспечивает очень высокую чувствительность устройства.

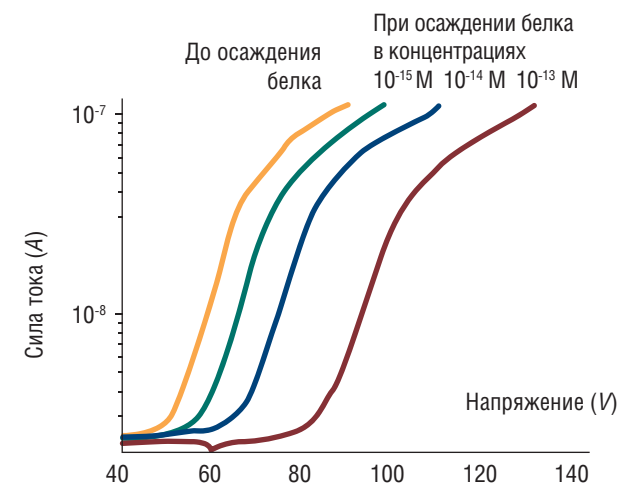
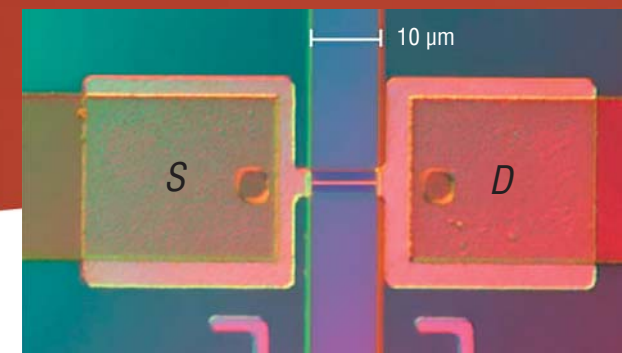
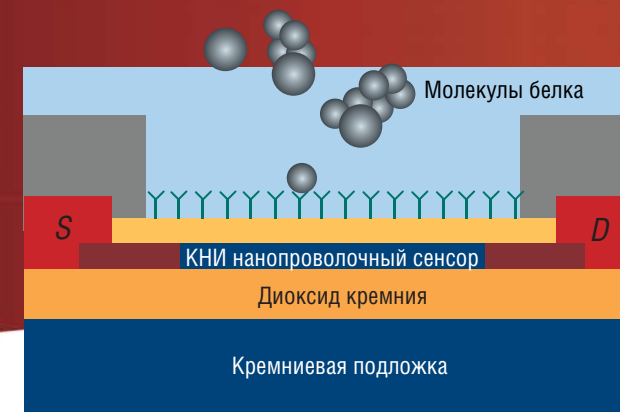
Такие сенсорные элементы наиболее перспективны для промышленного освоения: технология их изготовления полностью совместима со стандартной технологией производства *комплементарных металл-оксидных полупроводников* (КМОП). В результате в рамках единой технологии можно создавать на одном кристалле высокочувствительные, быстродействующие и компактные электронные детекторы наподобие популярных сегодня портативных устройств с flash-памятью.

В институте разработана технология изготовления биохимических сенсоров с разделением стандартных высокотемпературных КМОП-процессов и процесса формирования сенсорных элементов, что обеспечивает низкую дефектность и устойчивые характеристики проводимости кремниевых нанопроволок даже без дополнительной термообработки. По этой технологии уже создан и испытан (совместно с Институтом биомедицинской химии РАН) прототип биохимического детектора с фемтомольной (10^{-15} М) чувствительностью к различным тестовым молекулам, не уступающий лучшим мировым образцам.

Создание подобных детекторов, способных регистрировать единичные патогенные частицы в образце крови за считанные минуты, означает мощный прорыв в диагностике и терапии тяжелых заболеваний с длительным бессимптомным периодом. Они очень востребованы и в фундаментально-прикладных исследованиях в таких областях, как протеомика и метаболомика, для определения содержания конкретных белков и метаболитов в организме человека.

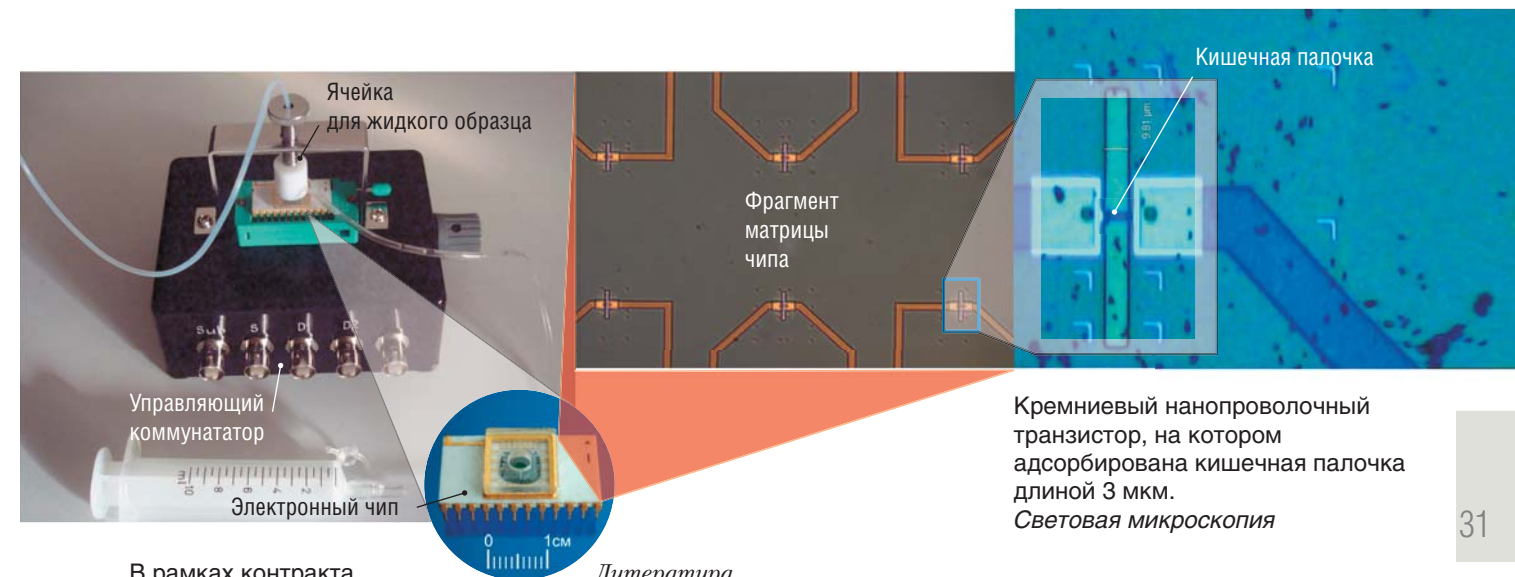
Д.ф.-м.н. В.П. Попов (Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск)

Ключевые слова: кремний на изоляторе, нанопроволоки, белки, бычий сывороточный альбумин (БСА)
Key words: silicon-on-insulator, nanowires, proteins, bovine serum albumin (BSA)



Главное преимущество разработанного в ИФП СО РАН сенсора в том, что он может функционировать как кремниевый нанопроволочный транзистор. Благодаря этому удалось повысить чувствительность и настраиваемость детектора

Испытания сенсора на тестовых молекулах показали их высокую чувствительность и хорошую воспроизводимость результатов. *Вверху* – схема принципиального устройства и внешний вид КНИ нанопроволочного транзистора. *На графике* – динамика характеристик сенсора при неспецифической иммобилизации на него белка бычьего альбумина, взятого при разных концентрациях



В рамках контракта с Федеральным агентством по науке и инновациям изготовлен и испытан лабораторный образец биохимического детектора с фемтомольной (10^{-15} М) чувствительностью. Матрица его электронного чипа состоит из 20 сенсорных элементов длиной 10 μm

Литература
Наумова О.В., Фомин Б.И., Попов В.П., Асеев А.Л. Кремниевые нанопроволочные транзисторы для электронных биосенсоров // *Автометрия*. 2009. Т. 45, № 4. С. 6–11.
Naumova O. V., Popov V. P., Safronov L. N. et al. *ECS Transactions*. 2009. V. 25 (10). P. 83–87.
Попов В.П., Наумова О.В., Фомин Б.И., Насимов Д.А. КНИ-нанопроволочные транзисторы для электронных фемтомольных детекторов одиночных частиц и молекул в биожидкостях и газах: Тезисы докладов II Международного форума по нанотехнологиям, 6–8 октября. М., 2009. С. 15–17.