

Нанотрубчатый сенсор (12 баллов)

Американские учёные из Принстона разработали сенсор на бактерии на основе графена – монослоя графита. Они присоединили к поверхности специальные молекулы, к которым “прилипают” бактерии определённого вида, в результате проводимость структуры изменяется. На поверхность графена они нанесли металлические контакты так, что получился конденсатор, и соединили с индуктивностью (Рис. 1). Изменяя добротность контура, они смогли определить концентрацию бактерий в пробе.

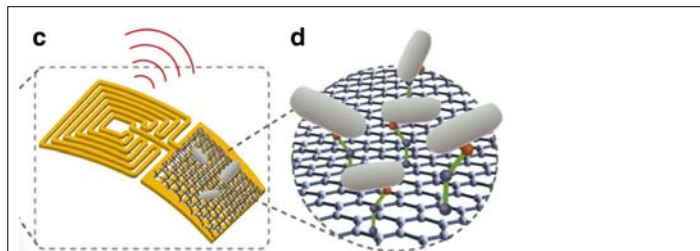


Рис. 1. Слева – колебательный контур с сенсорным элементом на основе графена и трансмиттером-индуктивностью. Справа – бактерии, присоединённые к специальным пептидам, иммобилизованным на поверхности графена.

Томские учёные в ответ использовали вместо графена одностенную углеродную нанотрубку. Длина трубки составила $L = 1$ мкм, диаметр $D = 200$ нм, концентрация носителей заряда $n_e = 10^{12}$ см $^{-2}$, а их подвижность $\mu = 30\,000$ см 2 /В*с. Напряжение между контактами учёные подобрали таким образом, чтобы для нанотрубки выполнялся закон Ома. Бактерия с сопротивлением 200 кОм, присоединялась к сразу к двум пептидам на расстоянии $\Delta l = 100$ нм (Рис. 2).

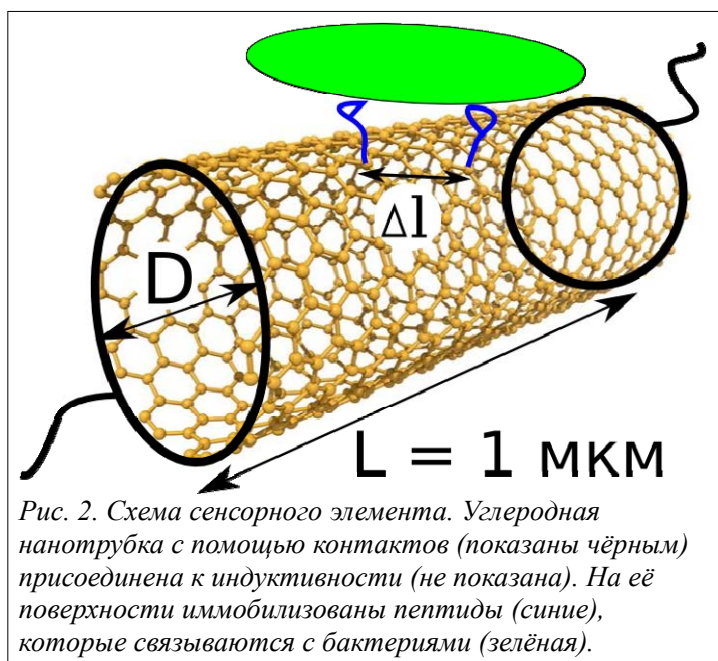


Рис. 2. Схема сенсорного элемента. Углеродная нанотрубка с помощью контактов (показаны чёрным) присоединена к индуктивности (не показана). На её поверхности иммобилизованы пептиды (синие), которые связываются с бактериями (зелёная).

а) При каком взаимном расположении пептидов на поверхности нанотрубки, изменение её проводимости будет максимальным? Почему? (2 балла)

б) Какое минимальное количество бактерий должно присоединиться к поверхности, чтобы добротность контура изменилась на 1% (6 баллов)?

в) Научные исследования показали, что при малом диаметре нанотрубки, её проводимость не зависит от её размеров и присоединённой нагрузки, поэтому её нельзя использовать как сенсорный элемент. Как объясняется данное явление (2 балла)?

г) Найдите диапазон диаметров нанотрубки, в котором её проводимость постоянна (2 балла).