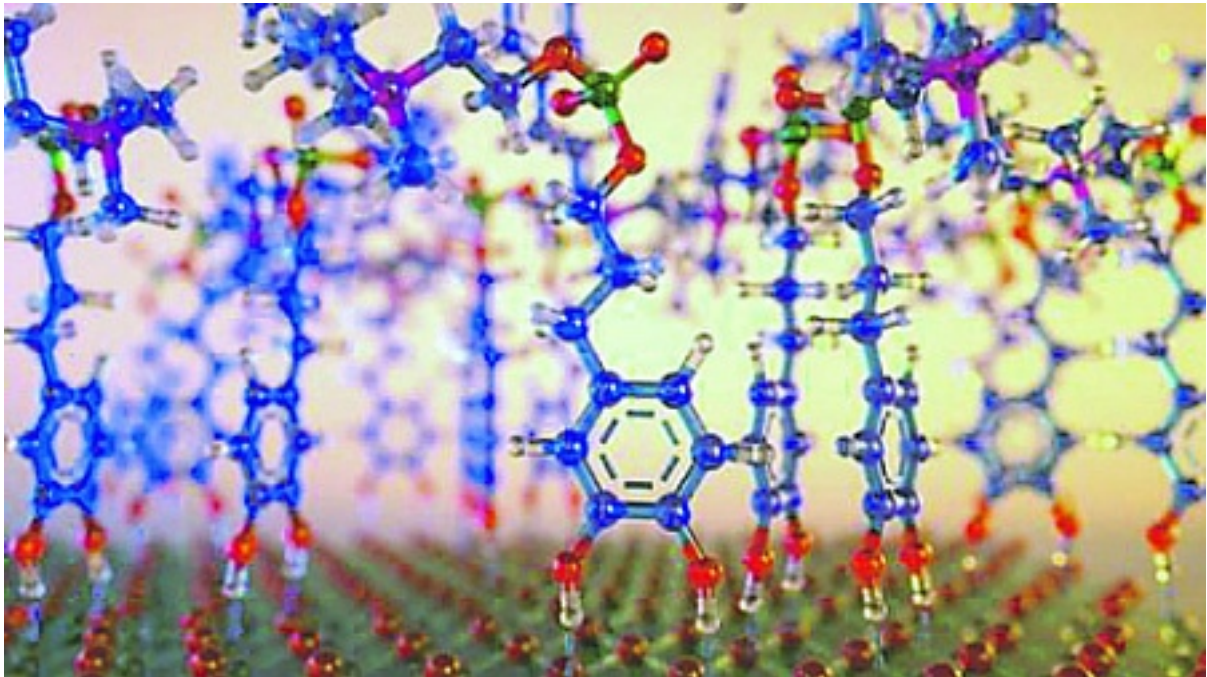


Каналы, проводящие жизнь

Гены микроорганизмов приспособили для создания органической электроники

Александр СПИРИН



Органические транзисторы (синие) на красной белковой подложке. Иллюстрация Physorg

Жизнь на Земле началась с создания среды обитания. Процесс этот, по сути, есть квантовое преобразование энергии солнечного фотона, направляемой на расщепление фотолиз воды. В итоге образуется энергоемкий положительно заряженный ион водорода, транспорт которого дает энергоемкую АТФ (аденозин-трифосфорную кислоту). Атомы кислорода двух расщепленных молекул воды объединяются в кислородную молекулу, которая в силу своей агрессивности «выбрасывается» в атмосферу, обогащение которой этим газом позволило жизни выйти на сушу.

Технологическому повторению этого изумительного по своей точности и эффективности процессу мешают сложность и капризность составных элементов квантовых систем. Их функционирование возможно лишь при строго определенных условиях. Квантовые эффекты трудно воспроизводимы

в макромире. Так, сверхпроводимость пока возможна лишь при охлаждении до криогенной температуры (высокотемпературной сверхпроводимостью считается сверхпроводимость при 110 градусах ниже нуля по Цельсию).

То, что современная наука открывает буквально каждый день, давно уже «известно» в природе, оперирующей атомами и их частицами – электронами и ионами, переносящими как отрицательные, так и положительные заряды. Известно, что в мембранах-оболочках клеток имеются особые протеины, имеющие ионные каналы, по которым в клетку и из клетки проводятся ионные токи.

Взять хотя бы наружную оболочку кишечной палочки (*E.coli*) – она имеет две оболочки, между которыми «плещется» периплазма. Структурную целостность этой сложной молекулярной структуры обеспечивают ионы кальция, поддерживающие сеть электростатических взаимодействий с фосфором и углеродами жиров и сахаров среднего слоя, в которых принимают участие также ионы калия и хлора. Естественно, что такую сложную молекулярную систему современные технологии воспроизвести не могут, хотя искусственные мембраны делать уже научились.

Не могут нанотехнологи и создавать динамические системы регуляции активности ионных каналов в клеточных мембранах, хотя для клеток это не составляет труда. Одним из примеров являются протеины натриевых каналов в оболочках клеток сердечной мышцы (миокарда). Сокращение миокарда четко регулируется сигналами, приходящими по веточкам блуждающего нерва (n. Vagus). Сигнал, приходящий через нервно-мышечное соединение, в первую очередь стимулирует небольшой выброс кальция, ионы которого активируют белок кальмодулин, являющийся модулятором протеиновой подвижности в мембране. Кальмодулин «сцепляет» воедино две молекулы ионных каналов, проводящих ионы натрия.

После образования молекулярной пары каналы становятся функционально активными и «ждут» только прихода электрического сигнала для осуществления сокращения. Нарушения в этой сложной системе приводят к аритмии и внезапной остановке сердца.

Повторим: ничего подобного биотехнология создать пока не может. Тем не менее она уже способна воссоздать протеиновую матрицу, позаимствованную у прибрежных моллюсков, способных при наличии воды «прилипнуть» к любой поверхности. Двустворчатые моллюски называются брюхоногими, так как «выпячивают» мышечную ногу, из борозды которой выделяется клейкий протеин, образующий прочный монослой на приглянувшейся раковинному

организму поверхности. Гены нескольких вариантов этого белка получили сокращенное название MFP (Mussel Foot Protein).

Удивительной их особенностью является то, что поперечные связи между их цепями образуются с помощью допамина. До сих пор внимание к последнему было привлечено как к одному из нейромедиаторов, нарушения в генерации которого ведут к паркинсонизму! На основе MFP созданы также хирургические клеи.

Нанoeлектронику, однако, связь интересующего их протеина с нейробиологией волнует мало. Ей важно то, что прочная матрица обеспечивает прекрасную 2D-подложку, или субстрат для «привязки» на ней органических полевых транзисторов. (До сих пор в микроэлектронике эту роль субстрата выполняет кремний.) И если одна из «разработок» природы позаимствована у моллюсков, то другую уже опробовали на мышах.

Выше речь шла об ионах, пронизывающих наружную оболочку кишечной палочки. Но у бактерий есть и собственные ионные каналы, помогающие им четко реагировать на свет и изменение химических условий среды (фото- и хемиотаксис). В силу примитивности микробных клеток гены их каналов значительно меньше таковых у млекопитающих. Тем не менее после переноса в клетки сердечной мышцы мыши они синтезируют вполне функциональные протеины каналов, что доказано в опытах на мышах. У животных с выключенным геном натриевого канала сердечной мышцы с помощью бактериальных генов удалось предупредить развитие сердечной аритмии.

У самой *E.coli* путем манипулирования генами ионных каналов удалось получить токопроводящие и изолирующие клетки. «Изолянтов» удалось также перевести в разряд электрически активных с помощью переноса гена, кодирующего синтез натриевого и калиевого каналов, а также белка коннексина (от англ. connect). Последний присутствует в межклеточных контактах и обеспечивает обмен электрическими сигналами между клетками.

Генная триада «работала» и в невозбудимых клетках кожи, сердца и мозга, которые после переноса стали электропроводными, причем с приличной скоростью. А увеличение скорости проведения электрических сигналов обеспечивал ген бактериального натриевого канала.

Так что нанoeлектронике есть чему учиться у биотехнологии.