

## ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ В МОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

**Введение.** Передовая инженерная практика и химические технологии всё ближе подходят к возможности практического управления процессами на уровне микрообъектов и отдельных молекул [1]. Контроль над технологическими процессами на молекулярном уровне открывает большие перспективы для применения в различных областях техники и промышленности. По-видимому, в недалёком будущем молекулярные и супрамолекулярные машины смогут эффективно решать многие задачи, в настоящее время технически невозможные либо требующие чрезмерно больших затрат заменят целые отрасли традиционного промышленного производства.

Можно обоснованно предположить, что первые работоспособные образцы искусственно созданных наномашин будут относительно простыми по устройству и смогут осуществлять одну простейшую операцию или их небольшую последовательность. Ограниченность функциональных возможностей таких устройств обусловлена не только ограниченной сложностью конструкций, которые могут быть созданы, но и в значительной мере сложностью управления такими системами, что связано с затруднённой организацией каналов связи для передачи управляющих сигналов с макроуровня на молекулярный уровень и обратного получения информации о состоянии объектов. Далее мы попытаемся рассмотреть некоторые вопросы организации каналов связи в технических наносистемах.

**Основная часть.** Главное препятствие для эффективной передачи управляющих сигналов на уровень наноразмерных устройств, по-видимому, состоит в том, что сами структуры для передачи сигналов в большинстве случаев могут оказаться на много порядков больше по размерам, чем те исполнительные устройства, для которых эти сигналы предназначаются, что может сильно увеличить размеры всей системы в целом и в значительной мере обесценить выигрыш в размерах, полученный за счёт миниатюризации исполнительных устройств. Кроме того, значительную трудность может представлять сопряжение проводящих физических структур с наноразмерными или даже молекулярными приёмными устройствами. В связи с этим получение сигналов извне и передача данных внешним системам может оказаться наиболее сложной и дорогостоящей из всех функций, выполняемых наномашинными, и потребует значительных расходов материалов и энергии. Вполне может сложиться такая ситуация, когда даже не очень большой и сложный комплекс наномашин на 99,9999% будет состоять из соединительных проводников и других коммуникаций, а лишь на одну миллионную долю — из рабочих функциональных устройств, что существенно снизит ценность наиболее важного свойства таких устройств — их ультраминиатюрность.

Проблему связи в системах наноразмерных устройств можно решать несколькими взаимно дополняющими способами, некоторые из которых могут отличаться от применяемых в технических системах более крупного масштаба. По-видимому, в данном случае общую проблему удобно разделить на несколько более простых, соответствующих отдельным аспектам или стадиям передачи и преобразования сигналов в таких системах. Можно выделить следующие, существенно отличающиеся по своим условиям и ограничениям частные задачи: 1) получение управляющих сигналов извне и их распределение между целевыми устройствами; 2) внутренняя передача сигналов между частями системы и их преобразование; 3) передача данных из системы наноразмерных устройств внешнему наблюдателю.

Решение каждой из этих частных задач должно осуществляться в существенно различных условиях, потому требует применения различных средств и физических структур разного уровня масштаба. При этом пропускная способность информационных каналов, применяемых на разных стадиях передачи сигналов, и затраты на их физическую организацию могут отличаться на много порядков.

Первоначальный ввод сигнала извне в систему наноразмерных устройств может осуществляться несколькими способами: с помощью электрических микропроводников; с помощью светового или иного излучения; посредством общего физического воздействия (физических полей) либо прямого химического воздействия (посредством химических агентов).

Первый из перечисленных способов кажется наиболее простым, относительно легко реализуемым на уже имеющейся базе микроэлектроники. При этом можно всю систему микропроводников разместить в твёрдой полупроводниковой матрице, в каналах которой либо на поверхности будут находиться рабочие наномашинные, в том числе молекулярные. Это позволит не только передавать значительные объёмы информации по большому числу физических каналов, но и с помощью обычных полупроводниковых элементов управлять распределением сигналов между целевыми устройствами. При этом достаточно просто решается проблема размещения наномашин и их ориентации в процессе работы. Вся система в таком варианте будет представлять собой обычную полупроводниковую микросхему со специальным рельефом поверхности, поверх которой (либо внутри неё) размещается тонкий слой либо сеть из рабочих молекул.

Недостатком такой системы будет относительно малое количество молекулярных машин по отношению к общей массе устройства в целом. Такие системы могут, скорее всего, использоваться только как вычислительные устройства либо как основа для «заводов на кристалле». Возможно также создание систем, включающих свободно размещаемые в пространстве гибкие микропроводники, но в таком случае число передающих линий будет меньше, возникнет сложная проблема их размещения и ориентации в пространстве, а также сопряжения с наноразмерными приёмниками сигналов.

Возможен и другой способ ввода сигналов в систему молекулярных машин — посредством излучения, прежде всего светового. Главным недостатком излучения является то, что его практически невозможно сфокусировать на целевом нанообъекте. Действию излучения будет подвергаться сразу большое число объектов в области его распространения, что затрудняет селективное управление выбранным объектом, хотя такая возможность есть. С другой стороны, это же свойство позволит управлять наноразмерным объектом, не зная точно его положения, что может быть удобным для мобильных нанороботов. Ещё одним недостатком светового излучения является большая мощность, затрачиваемая источником для передачи сигнала и рассеиваемая в тепловую энергию.

Передачу управляющих сигналов посредством низкочастотных физических полей или химического воздействия можно рассматривать только как вспомогательный канал из-за низкой скорости.

Основным способом снизить потребность в передаче внешних сигналов является увеличение внутренних вычислительных возможностей самой системы, которая может взять на себя большую часть функций управления. Ранее в одном из докладов мы рассмотрели возможность реализации на молекулярном уровне некоторых вычислительных функций, что может позволить создавать практически автономные наносистемы со сложным поведением.

Внутренняя передача сигналов между частями системы должна существенно отличаться от обмена с внешними устройствами, во-первых, тем, что сигнал передаётся на очень малые расстояния, как правило, сравнимые с размерами самих передающих и приёмных устройств; во-вторых, тем, что число каналов и объём передаваемой информации будут намного больше, чем при внешнем обмене. При этом первоначальной формой сигнала, вырабатываемого молекулярными машинами, может быть изменение состояния молекул либо их положения, либо вызванные этим изменения локального микропотенциала кристаллической подложки. Каждый из этих трёх способов кодирования информации внутри системы в определённой мере пригоден и для её передачи, и все они могут быть задействованы в разных ситуациях.

Наиболее универсальным способом передачи сигналов является их преобразование в электрическую форму и передача по микропроводникам в кристаллической матрице, как и при вводе внешних сигналов. Этот способ позволяет быстро передавать сигнал на большие расстояния между частями машины, но требует наличия специальных устройств для преобразования сигнала, первоначально представленного определёнными состояниями молекул, в электрическую форму и обратно, что сопряжено с дополнительными затратами.

Для обмена сигналами на очень малых расстояниях между расположенными рядом молекулярными системами или частями одной молекулярной машины более эффективным будет прямое контактное взаимодействие между молекулами, либо непосредственно входящими в состав молекулярных машин, являющихся источником и приёмником сигнала, либо с участием молекул-посредников, которые могут перемещаться на некоторое расстояние. Разновидностью этого способа передачи сигнала может являться использование специальных молекулярных структур-посредников, предназначенных для переноса информации и её временного хранения. В частности, такая структура может быть организована в виде полимерной нити, которая перемещается (или вдоль которой перемещаются) несколько взаимодействующих с ней рабочих молекул, изменяющих её состояние. Такая структура по своим функциональным возможностям может быть равноценна молекулярной реализации машины Поста и позволит проводить некоторые вычисления. Недостатком контактного химического способа передачи сигналов является малое расстояние взаимодействий, достоинством — большое количество каналов и их пропускная способность.

Существует третий универсальный способ передачи сигналов и их преобразования внутри технической системы (независимо от её масштаба) — посредством механического движения её отдельных частей. Это способ может быть реализован в нескольких формах и позволяет как передавать сигналы на небольшие расстояния, так и преобразовывать их, сохранять информацию и производить вычислительные операции. Выше мы рассмотрели пример с молекулярной ленточной машиной. Другую группу механических устройств для преобразования и передачи информации составляют машины на основе вращательного движения. При реализации на субмикронном уровне и совмещении с электрическими или молекулярными устройствами такие машины могут быть достаточно эффективными.

В одном из докладов мы предложили простую конструкцию вращательного нанопривода. При изменении конструкции такая машина кроме прямой функции обеспечения движения может использоваться в режиме детектора, определяющего потенциалы электродов, расположенных рядом с ротором. Это открывает широкие возможности для приёма, обработки, коммутации и передачи сигналов, а также для определения и изменения состояния молекулярных структур, может использоваться для вычислений и автономного управления машиной. Такой электромеханический узел может быть элементом вычислительной молекулярной сети, существенно расширяющим её возможности за счёт способности изменять физическую конфигурацию сигнальных каналов и расположение функциональных элементов.

Что касается обратной передачи данных из системы наноустройств к внешним устройствам, то эта задача сложнее, чем ввод информации в наносистему, поскольку передающие устройства сильно ограничены в энергии. По-видимому, в общем случае наиболее приемлемым решением будет использование микропроводников, но выбор канала передачи сигналов зависит от требуемой пропускной способности.

**Заключение.** В настоящее время технология ещё только делает первые шаги в направлении создания молекулярных функциональных и вычислительных устройств. Тем не менее мы знаем, что такие устройства могут быть созданы. В этом докладе рассмотрены некоторые общие вопросы организации каналов связи в технических наносистемах, что в определённой мере позволяет прогнозировать перспективы их развития.

#### Список использованных источников

1. Попов, В. Ю. ДНК наномеханические роботы и вычислительные устройства / В. Ю. Попов // Информационно-телекоммуникационные системы : Всерос. конкурс. отбор обзорно-аналит. ст. по приоритет. направлению, 2008. — 210 с.

УДК [[621.313::621.315]::537.21]-022.532

А. Л. Полюх, Г. В. Качкар

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### НАНОРАЗМЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННОГО ИОННОГО ТОКА

**Введение.** В настоящее время уже известно несколько типов действующих молекулярных приводов вращательного действия. Наиболее миниатюрная из известных конструкций электродвигателя состоит из единственной молекулы бутил-метил-сульфида, закреплённой атомом серы на медной подложке (рисунок 1) [1]. Известна также конструкция из 244 атомов, способная вращаться при поглощении световых квантов (рисунок 2) [2—4].

Эти конструкции, безусловно, являются важными достижениями на пути развития техники, но недостатком этих молекулярных двигателей является низкая степень контроля скорости вращения и угла поворота ротора. Скорость вращения таких устройств контролируется косвенно — по температуре, величине протекающего тока или интенсивности светового потока. В силу этого такие приводы могут использоваться в транспортных машинах, но возможности их применения в технологических системах ограничены.

Мы хотим предложить конструкцию электродвигателя несколько большего размера (диаметр ротора 10—20 нм, размер всего устройства — до 100 нм). Отличительной особенностью такого привода будет возможность точного отчёта угла поворота, поскольку этот угол однозначно связан с количеством проходящих через систему элементарных зарядов, которое можно точно подсчитывать и регулировать.

**Основная часть.** Ионный ток представляет собой направленное движение электрических зарядов, ассоциированных с молекулярными носителями (ионами). Обычно при этом предполагается, что движение молекулярного или атомного иона происходит в среде, допускающей его более или менее свободное перемещение, однако возможны и другие варианты. Для существования тока принципиально важен только факт переноса зарядов через некоторую поверхность, при этом детали движения самих частиц вещества не имеют принципиального значения.

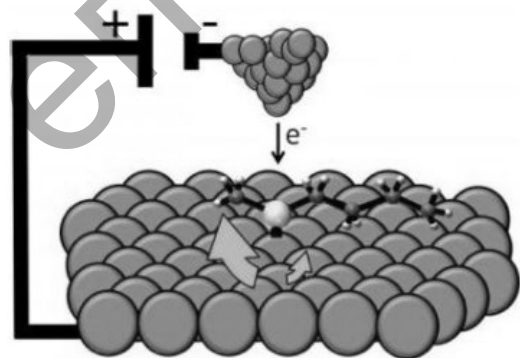


Рисунок 1 — Самый маленький электродвигатель

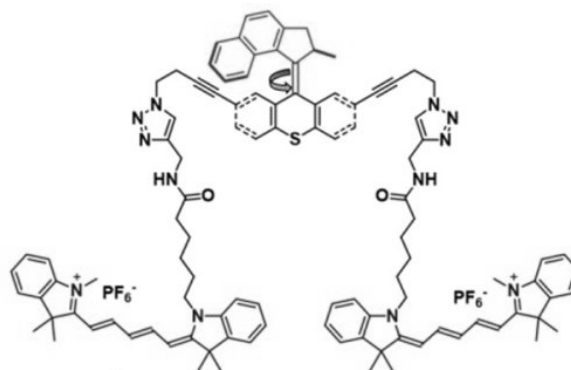


Рисунок 2 — Молекула с пропеллером