**Будущее развитие МЭМС и "сухой" нанотехнологии**

Виктор Лапай

Украина

**Кибержизнь**

Любая форма жизни невозможна без переноса веществ. Такой перенос возможен либо путём диффузии, либо путём целенаправленного механического перемещения. Кибержизнь - это жизнь не на химической, броуновской основе, а на основе микророботов.

Первым максимально чётко эту проблему сформулировал американский физик Ричард Фейнман почти пятьдесят лет назад: необходимо создать такой робот, который может построить свою уменьшенную копию. Копия сделает ещё меньшую копию и так далее, до атомного уровня. Жаль, что тогда решение этой проблемы так и не было найдено.

Чтобы найти решение, надо максимально упростить и расширить входную проблему.

Во-первых, анализ показывает, что необходимый нам робот и управляющий ним компьютер можно сделать всего их двух материалов - металла и диэлектрика, то есть, необходимо всего два вида «атомов».

Во-вторых, элементарная частичка системы вовсе необязательно должна быть равна реальному атому. Это может быть «атом» размером 10 нм, или даже микрон, главное, чтобы робот, строя свою копию, сохранил или уменьшил минимальный размер.

Для этого, в третьих, необходимо заострить строительную иглу робота. Существует несколько способов, как это сделать, один из которых был теоретически найден и экспериментально подтверждён в лаборатории персонально автором. Это очень важный момент, потому что именно он даёт ключ к решению проблемы, ведь при строительстве копий используется только кончик строительной иглы.

Наипростейший робот Фейнмана может иметь вид мягкой металлической спиральной пружинки со строительной иглой на конце, с трёх сторон которой (пружинки) размещены управляющие электроды. В зависимости от разницы потенциалов между пружиной и электродами, она растянется и изогнётся в необходимом нам направлении.

Уже сам по себе микроробот есть прототип электромеханического транзистора, точнее, несколько упрощенная его конструкция. Автоматически возникающие в этой схеме диффузионные проблемы вполне решаются. Теоретически существуют, так же, другие схемы МД - транзисторов без движущихся частей.

Предварительные расчёты показывают, что даже такая простая форма кибержизни может существовать в природе. При разогреве микророботами строительного материала постоянным током на катоде выделяется металлоиды, на аноде окислители и накопится диэлектрическая фаза.

От такой простой формы до полноценной кибержизни лежит такой же сложный путь, как от наипростейшего вируса до сине-зелёной водоросли. Если хорошо подумать, то полноценная киберклетка, используя солнечную энергию и атомы окружающей среды, окажется очень похожей на обычную биологическую, только она сможет успешно функционировать при очень низких температурах и в условиях высокого вакуума. Микророботы станут похожими на биологические микротрубочки, самое компактное хранение и обработка информации – на свёрнутых линиях-аналогах ДНК и т.д. На микророботах появятся специальные молекулярные насадки. Электрический ток или давление может инициировать необходимые химические реакции даже при очень низких температурах.

Между кибернетической и химической формами жизни есть непосредственная связь, хотя это две принципиально разные формы жизни. В условиях высоких температур и растворяющей жидкости становятся ненужными микро роботы, от них остаются только изменённые молекулярные насадки. Система делает качественный скачок и становится химической. Тем не менее, она все равно остаётся, по сути, электромеханической, так как любое химическое взаимодействие есть взаимодействие смещённых зарядов. Туннельный эффект не позволяет кибержизни достичь такого максимального уровня миниатюризации, каким характеризуется биожизнь.

Биологическая жизнь есть вершина совершенства и миниатюризации кибернетической жизни. Усовершенствовать её, а тем более миниатюризировать, практически невозможно.

Вполне возможно, что вероятность зарождения кибержизни во Вселенной намного больше, чем у химической. Ведь, даже на поверхности Луны есть вполне достаточно диэлектрических и металлических частичек (это фактические данные), которые достаточно активно движутся - неплохие условия для зарождения и развития кибержизни. Впрочем, это совсем не означает, что она кипит во Вселенной. Напротив, вероятность зарождения любой формы жизни настолько мала, что искать её за пределами планеты Земля - это только зря тратить время и деньги.

Вполне может быть, что по каким-то причинам кибержизнь не может самостоятельно существовать в природе. Но это не означает, что она не может существовать в искусственных условиях, созданных человеком. Именно такая, максимально упрощённая, форма кибержизни лежит в основе разработанной автором металл-диэлектрической технологии. Эта технология базируется исключительно на экспериментальных данных и есть, по сути, логичным развитием в третье измерение технологии Микро Электро Механических Систем (МЭМС).

**Металл-диэлектрическая технология (МД - технология)**

Первоначальная идея «размножающихся микророботов» слишком сложна и сыра, чтобы быть реализованной на современном уровне технологического развития. Сначала её надо максимально упростить. Чем проще система, тем больше шансов её реализовать.

Во-первых: Надо избавится от микророботов. Они значительно усложняют и тормозят весь процесс. Выращивание копий будет за счёт колебательных движений основы по принципу строчной развёртки. Это значительно ускоряет процесс.

Во-вторых: Надо ускорить подачу строительного материала и отвода отходов. Наиболее просто это сделать для жидких и газообразных компонентов через систему каналов.

В-третьих: Ни одна электромеханическая система не может соперничать в быстродействии с чисто электронной схемой. Управляемый электрический ток между строительной иглой и основой позволяет максимально быстро и точно осуществить массоперенос или осаждение необходимых веществ. В этом случае автоматически возникает проблема диэлектрика, который не проводит ток. Эта проблема имеет решение.  
В основе МД-технологии лежит очень простая идея. Предположим, что нам каким-то образом удалось вырастить систему алюминий-золото-вакуумные каналы. Мы получим необходимую нам МД-структуру всего после одной операции химического окисления, так как золото не окисляется, а оксид алюминия прекрасный диэлектрик. Эту идею возможно развить далее. Возможно применить только один металл и полимерный, а не ионный, диэлектрик. Микророботы исчезают, остаются только МД-транзисторы.

Парадоксально, но сначала даже они не понадобятся. Вполне работоспособным может быть даже неполноценный вариант МД-технологии - без МД-транзисторов. Предварительные расчёты показывают, что плотность и быстродействие полупроводниковых транзисторов уже достигли величин, достаточных для эффективного управления выращивания МД-структур даже при минимальной ширине линии, ведь этот процесс всё ещё остаётся плоским. Базовые элементы, выращенные на микросхеме, могут, в свою очередь, на других микросхемах вырастить намного более сложные объёмные МЭМС с гораздо более меньшей шириной лини, чем сейчас.

Такая «гибридная» схема наиболее близка к современной технологии МЭМС и будет реализована на первом этапе. Более того, такая схема может кардинально изменить даже саму технологию создания полупроводниковых схем. Строительные иглы могут локально осуществить массоперенос, разогрев и травление - все необходимые операции. Технология МЭМС уже давно создала работоспособные электромеханические транзисторы, что позволяет реализовать и полноценный вариант МД-технологии.

Очевидно, что МД-технология невозможна без заострения строительных игл. Этот процесс играет здесь такую же ключевую роль, как уменьшение фотошаблона линзами или фокусировка электронного луча в планарной технологии. Мощность МД-технологии в том, что её базовые элементы, как и любая другая форма жизни, могут размножаться экспоненциально. Поэтому даже при возможной значительной коррозии базовых элементов и других проблемах эта схема остаётся работоспособной. Первые такие «клетки» микронных размеров будут сделаны иглой туннельного микроскопа.

Туннельный эффект ограничивает толщину диэлектрика значением 5-10нм. Плотность элементов в таком компьютере достигнет значения 1020-1021 м-3. В зависимости от размеров, конструкции, рабочего напряжения электромеханических транзисторов их быстродействие составит10-4 - 10-9с., для неподвижных модификаций до 10-11с. Потребление энергии на одно переключение составит 10-8-10-18Дж. Скорость выращивания полыми электродами достигнет 10-6-10-5м/с. и будет лимитироваться отводом тепла.

В наипростейшем варианте МД-технологии объёмный компьютер сначала будет всего-навсего куском тугоплавкого металла с многочисленными порами разного размера. Строго дозированная операция химического окисления и, возможно, травление, преобразует его в необходимую нам МД-структуру. Потом поры заполняют специальными веществами и компьютер готов к действию. Существует несколько конкретных кандидатов на эти процессы. (В действительности, всё так просто только на бумаге. Возможно, будет использовано больше компонентов и большее число операций обработки основы.)

Технология МЭМС экспериментально подтвердила теоретические основы МД-технологии. Целесообразно использовать в МД-технологии материалы и химические способы обработки основы технологии МЭМС, постепенно уменьшая ширину линии от уже освоенной до минимальной 0,005 мкм. Необходимо развивать дальше уже полученные в «сухой» нанотехнологии способы массопереноса и искать новые, например, электрохимию.

Хочу подчеркнуть, что даже максимально упрощённая проблема кибержизни остаётся достаточно сложной научной проблемой, поэтому не удивительно, что другие пути пока ещё не дали желаемый результат. Двадцать лет нанотехнологии наглядно это продемонстрировали.  
Разработка МД-технологии требует большого объёма экспериментов и решения многочисленных проблем. Но и прибыль ожидается соответствующая. Это рынок на десятки и даже сотни миллиардов долларов в год.

**Применение МД-технологии**

Вполне возможно создать электромеханические транзисторы с двумя или тремя устойчивыми состояниями. Это почти идеальные ячейки памяти, только довольно медленные. Гибридные микросхемы сделают запись и считывание многоканальной и ускорят её до 108-109 Гц. Такие объёмные ОЗУ вытесняет сначала все аудио, а потом и видео носители информации, не говоря уже о компьютерах.

Вполне возможно создать электромеханические транзисторы с очень маленьким потреблением энергии до 10-18Дж и меньше. Хотя этот результат достигается за счёт значительного уменьшения быстродействия, но в большинстве практически значимых случаев важна параллельная, а не последовательная вычислительная мощность компьютера. Именно так работает мозг человека. При уменьшении ширины линии до минимальной, объёмный компьютер с такими транзисторами по всем параметрам превзойдет мозг человека. Даже такая простая форма искусственного интеллекта, как электронный водитель, может дать значительную прибыль.

МД-технология захватит значительную часть потенциального рынка МЭМС. Это плоские мониторы, медицинские микромашины, микросборка, сортировка и многое другое. Будут созданы мощные, компактные, экономные трансформаторы постоянного и переменного тока, выпрямители, преобразователи частоты. Также возможно создание структур с развитой контролированной поверхностью, аккумуляторы, топливные элементы, химические реакторы.

Но всё-таки самым мощным применением МД-технологии станет электростатический двигатель. Это мощный, экономный двигатель плёночного типа без трения и механических контактов. В принципе, его возможно создать и с помощью планарной технологии. Если работает плоский телевизор, то будет работать и электростатический двигатель. Его КПД составит 99-99,9%, рабочее напряжение 10000-1000 В и меньше, касательное давление – 105 Па и больше, скорость движения превысит 100 м/с. Гибкий ротор двигателя разбит на небольшие автономные кусочки, которые могут подстраиваться в процессе движения под неизбежные небольшие неровности статора. Только таким способом возможно сочетать субмикронную точность и метровые линейные размеры двигателя, игнорируя вибрации и перекосы. Разработка теории двигателя требовала значительных усилий и решения нескольких принципиальных проблем. Это наилучшее моё изобретение и я горжусь им даже больше, чем решением проблемы кибержизни.

Для примера, рассмотрим применение этого двигателя в автомобиле: Произойдет замена аккумулятора на маховик на электрической подвеске, колёса станут двигателями, экономичная активная подвеска, в будущем генератор и стартер объединятся непосредственно на поршне. Тепловой двигатель станет экономней и проще, все механические связи заменят электронные, не говоря уже о таких «мелочах» как активные кресла, двери и т.д. Торможение и ускорение в максимальном режиме на любой рабочей скорости и наклоне трассы, за счёт рекуперации энергии расход топлива в городском цикле уменьшится до 2-4л. на 100 км. Всё это может стать реальностью.

Вершиной развития МД-технологии станет создание кибернетических организмов. Применяя только металл и диэлектрик, возможно вырастить почти полноценный киберорганизм с многочисленными датчиками давления и температуры, вестибулярным аппаратом, зрением и слухом, отличной координацией движения, развитой нервной системой, мощными мышцами и интеллектом. Необходимо только добавить обоняние и вкус. Рынок домашней прислуги огромен и может превысить рынок автомобилей. Может стать реальностью угроза создания самого страшного оружия - библейской «железной саранчи». Размножаясь, она сожрёт всё живое на Земле и необратимо загадит атмосферу дымом.

Главное, что МД-технология создаст все необходимые условия, (микророботы и объёмные компьютеры) для перехода на следующий этап научно-технического развития - создания молекулярной машины.

**Молекулярная Машина**

Через двадцать, максимум тридцать лет после начала интенсивных исследований в нужном направлении на Земле настанет новая эра - эра Молекулярной Машины. За дверями с такой вывеской в строении солидных размеров, человека усыпят, охолодят или, даже, заморозят и поместят в специальную камеру. Как только двери камеры закроются, на тело надвинется одна из её стенок, разрывая его на микронные кусочки. Всем этим займутся роботы микронных размеров. Двигаясь с помощью электрических полей, они, как экскаваторам, вырвут и перешлют в глубь стенки эти кусочки, где те мгновенно замёрзнут и поступят в анализатор. Там другие микророботы со специальными молекулярными насадками или без них, приблизительно за десять минут разберут их на молекулы или атомы. Они промеряют, как в атомно-силовом микроскопе, размеры каждой молекулы, на этом основании определяя их химический состав, и параллельно их рассортируют.  
Полученная таким образом информация о строении человеческого тела поступит в чрезвычайно мощный объёмный компьютер, где будет сильно сокращена и сжата. Хотя, в результате такого варварского вскрытия часть информации будет утрачена, благодаря тому, что полученные кусочки меньше размеров клеток, а все химические соединения в организме человека продублированы, достаточно легко можно будет определить биологический вид каждой клетки, её химический состав и её связи с другими клетками. В целом душу человека можно полностью описать 1016-1020 бит информации, а при максимальном её сжатии - 1011-1012 бит.

Процесс сборки пойдёт обратным путём. На основании полученной от компьютера информации, роботы-анализаторы соберут из молекул поликристаллические кусочки плоти с минимальным количеством радикалов (то есть разорванных молекул) на стенках. После сборки из этих кусочков замороженного человека, тело постепенно, на протяжении многих часов, разогреют до нормальной температуры. При выполнении определённых условий, человек даже может и не почувствовать, что прошёл молекулярный анализ.

Для некоторых холоднокровных организмов размораживание обычная вещь, с теплокровными сложнее. Учёные считают главным условием успеха достаточно маленькие кристаллики льда и неповреждённые биомолекулы. Очевидно, что эти и другие условия легко выполнить в процессе сборки. Даже если при заморозке биомолекулы будут частично повреждены, это никак не повлияет на успех молекулярного анализа. Те, кто при жизни или сразу после смерти был заморожен по специальной технологии, имеют все шансы совершить удачное путешествие в будущее.

Последствием создания молекулярной машины будут просто грандиозными. Самое главное - это абсолютное бессмертие. Действительно, предположим, вы прошли молекулярный анализ, и попали в авиакатастрофу - ничего страшного, вас восстановят по последней копии. Чем чаще проходить молекулярный анализ, тем меньшими будут провалы памяти в случае внезапной смерти, а если в мозге будет работать что-то, похожее на радиотелефон, то потери информации станут минимальными. Кроме этого, радиопередатчик позволит избежать дублирования. Усовершенствованная память даст возможность жить, ничего не забывая, миллиарды лет, то есть - практически вечно. Другой вопрос - зачем жить так долго? Но мы сейчас рассматриваем возможности научно-технического прогресса, а не его последствия.

Молекулярная машина позволит как угодно, вплоть до физических ограничений, изменять сначала физические, а потом психические и интеллектуальные параметры человека. Можно будет как угодно изменить свою внешность, стать молодым, старым или ребёнком, мужчиной или женщиной, даже превратиться в животное \*, или вообще, не в биологический, а кибернетический организм. Легендарная Панацея- средство от всех болезней, имеет название «Молекулярная Машина». Вполне возможно, что таким образом удастся сделать любую вещь и еду.  
Только молекулярная машина станет мостиком между реальным и электронным миром. Современная виртуальная реальность только грубая пародия на то, что нас ожидает в будущем. Нулевые фононные компьютеры \* создадут миры, полностью подобные реальному, но в то же время полностью подвластные людям. Возможности человека в электронных мирах настолько фантастичны, что, вероятно, большая часть человечества будет жить именно там. Электронные миры окончательно сотрут грань между жизнью и смертью.

Наверное, только после создания молекулярной машины появятся роботы, способные потеснить человека во всех сферах его деятельности. Проблема искусственного интеллекта чрезвычайно интересна, сложна, и на 90% связана с проблемой сжимания видеоинформации, поступающей в мозг робота, до уровня приблизительно сто бит на кадр и созданием базового дерева из приблизительно тысячи слов. Появятся роботы с интеллектом в миллион раз более мощным, чем средне человеческий, то есть их коэффициент интеллекта достигнет 300 единиц и более. В целом люди не выдержат такой конкуренции, если существенно не улучшат свои умственные способности. Только вряд ли конкуренция будет честной со стороны людей.

Парадокс в том, что «человеку разумному», как биологическому виду, разум как раз и не нужен. Это хорошо видно на примере шахматных программ. Гроссмейстерская программа должна за секунду просчитать в тысячу раз больше ходов, чем средняя шахматная программа. Причём это соотношение мощностей невозможно улучшить. Вполне очевидно, что это справедливо и для людей. Такой огромный диапазон главного параметра характеризует интеллект как второстепенную функцию организма, чему есть много примеров и в жизни.

Наконец, молекулярная машина позволит осуществить далёкие путешествия, потому что вместо тела достаточно передать информацию о его строении и вас соберут на другом континенте, другой планете или на борту космического корабля. Освоение человеком солнечной системы станет реальным только после создания молекулярной машины.

Молекулярная машина - это ещё не последний, но самый важный этап развития НТП. Влияние её создания на ход земной цивилизации очень интересен и заслуживает на отдельное рассмотрение.

Несмотря на огромные затраты энергии (не менее 10000 кВт-часов электроэнергии на один молекулярный анализ) страна, первой создавшая молекулярную машину, сразу станет мировым лидером и будет беречь тайну её создания бдительней, чем ядерные секреты. Без политики здесь не обойтись. Ведь, наверное, все хотят быть бессмертными, здоровыми, молодыми и красивыми и много кто может выложить за это кругленькую сумму. Не говоря уже про все те гражданские и военные технологические штучки, которые обеспечивают мировое первенство.

Парадоксально, но все необходимые исследования не требуют больших денег и могли начаться много лет назад. Это вопрос потенции учёных, а не образования и финансирования.

**Молекулярная машина. Анализ.**

Возможно, 20 лет покажется кому-то слишком быстро и нереально, но это не так. Пять лет уйдёт на развитие МД-технологии, пять лет на создание первых образцов молекулярной машины и десять на то, чтобы пройти весь путь от клетки до человека. Если проводить интенсивные исследования и не возникнут серьёзные проблемы, то такой темп вполне реален. Молекулярная машина уникальный, очень дорогой объект, как космический корабль. Стоимость технологии её изготовления не имеет большого значения, что резко сокращает темпы.

Есть серьёзные подозрения, что в большинстве практически важных случаев атомная сборка невозможна. Но это никак не повлияет на молекулярный анализ человека. Фактически живая природа успешно проводит молекулярный анализ ежесекундно. Биологические молекулы достаточно большие, чтобы ними можно было манипулировать. Биотехнология позволяет заменить поврежденные во время анализа молекулы на целые. Всё это рождает оптимизм. Если бы нейронные клетки не имели такие долгие и перепутанные отростки, то можно было бы обойтись и без замораживания, а уровень манипуляции повысить до отдельных клеток. Но правила игры устанавливает природа, а не мы.

Атомно-молекулярный анализ и сборка будет сопровождаться огромным энергозатратами. Это неизбежная плата за возможность контролировать процесс. Если когда-нибудь энергетический КПД молекулярного анализа человека достигнет 1%, то это будет огромным достижением. Более вероятна цифра в десятки раз меньше. Постепенно энергозатраты уменьшатся. Температура увеличится от 4К до 200 - 250 К, возможно процесс анализа станет более биохимическим. Если повезёт, то анализ и сборка будут осуществляться более крупными блоками, чем молекулы, и эта проблема исчезнет. Тогда молекулярный анализ станет дешёвым и общедоступным. Будем надеяться на лучшее, но готовиться к худшему.

Фактически, речь идёт о дальнейшем развитие микрохирургии. К моменту создания молекулярной машины биотехнология уже сможет выращивать все клетки и биохимические соединения, характерные для каждого отдельного человека, и возникнет вопрос, как из этого биоматериала сложить живой орган или целого человека. Если это можно сделать на уровне клеток – прекрасно, если для этого необходимо перейти на уровень молекул – значит микрохирургия переростёт в нанохирургию.

Базовая система из минимум четырёх микророботов типа трубчатого СТМ будет иметь размер около микрометра. Рабочий диапазон составит всего 10нм, что вполне достаточно. Такая система может провести молекулярный анализ всего за 100сек. Уже при такой скорости анализа выделяемая объёмная тепловая мощность достигнет огромной величины, как в ядерном реакторе. Дальнейшая миниатюризация микророботов не целесообразна, она ничего не даст, кроме серьёзных дополнительных проблем. Прежде чем проектировать «молекулярные шестерёнки» и т.п., надо сначала выяснить их необходимость вообще.

Элементарные подсчёты показывают, что скорость сборки атом за атомом слишком мала, чтобы вырастить сразу всё изделие. Сначала параллельно будут выращены кубики размером 0,1-1 мкм, а затем из них микророботы составят изделие. Если стенки кубиков будут атомно-гладкими, то они намертво спаяются. Но такие кубики можно получить и другим путём.

Намного проще, быстрее, экономичней их просто вырезать микророботами из моно или поликристаллического сырья. При низких температурах все вещества, кроме гелия, стают твёрдыми. В такой схеме автоматически возникают проблемы загрязнений, неравномерности теплового расширения и другие механические напряжения, взаимодействие радикалов на стенках и другие проблемы. Все вышеперечисленные проблемы возникнут и в молекулярной машине. Эти проблемы сложные, но вполне разрешимые. Если какой-либо объект охладили жидким гелем и он не разрушился, значит, его возможно собрать по такой схеме.

Именно эта схема станет основой будущей промышленной революции. Таким способом возможно собрать практически любой промышленный товар от шестерёнки до аэробуса и объёмного полупроводникового компьютера, при чём, при вполне приемлемых энергозатратах.  
Таким образом, независимо от возможности или невозможности свободной манипуляции атомами, кибернетический путь в нанотехнологии обещает большие возможности. Только надо идти вперёд, а не топтаться на месте, как сейчас. Удивительно, но за всё это время развитие «сухого» направления нанотехнологии застопорилось на первом шаге - выводе о необходимости создания проводящих и не проводящих электрический ток структур.

Схема «МЭМС-МД-технология-Молекулярная машина» не содержит логических противоречий и ясно просматривается на всех этапах. Рано или поздно технологическое развитие всё равно пойдёт именно таким путём. Если даже эта реклама не позволит начать, наконец-то, необходимые опыты, то я могу подождать ещё, тем более, что я жду этого момента уже пятнадцать лет.