

А.В.Никитин

Немного о мемристоре...

Недавно мы разговаривали с [Д.Ф.Мараховским](#) о [его разработках](#) [1,2]. Реконфигурируемая архитектура, новые элементы памяти.... Это как же?

... вот сходу: 1) мои многофункциональные автоматы способны быть многоуровневыми, перестраиваться и работать в автоматном непрерывном времени, что автоматы Мили и Мура, на которых построены все современные устройства, не могут. 2) мои схемы памяти способны перестраивать свою работу и имеют преимущества по аппаратным затратам, повышенную надежность (при 50% выхода из строя элементов в памяти, она способна работать как память) и функциональным возможностям (имеют 5 новых переходов, а триггера осуществляют только один и не могут перестраивать свою работу. 3) в программном отношении, мои программы в процессоре могут перестраиваться за один такт, а в современных процессорах с памятью на триггерах нет., хотя при разработке в России совместно с Белоруссией супер-ЭВМ "СКИФ" писали, как достижение, что у них программы переключаются за один такт, правда, не писали за счет чего.

Кроме того, введен новый четвертый уровень управления миллипрограммный, помимо того, что используется в настоящее время: алгоритмический, программный и микропрограммный. Этот уровень вместе с микропрограммным уровнем одновременно способен обрабатывать иерархическую информацию (общую и частную), что не в состоянии обрабатывать устройства управления с памятью на триггерах..

Почему я продолжаю свои работы? Да потому, что я сделал новый шаг и в теории автоматов, в создании реконфигурированных схем памяти и в структуре программного обеспечения, что на мой взгляд даст новый импульс построения обучаемых устройств....

В этом разговоре где-то и проскочила такая информация с [форума](#):

Vadim - IBM в рамках программы DARPA SyNAPSE построила программно эмулируемую нейросеть из 530 миллиардов нейронов и 100 триллионов синапсов на компьютере Lawrence Livermore National Lab (LBNL) Blue Gene/Q Sequoia (1572864 processor cores, 1.5 PB memory, 98,304 MPI processes, and 6,291,456 threads).

Иоган - Команда продемонстрировала искусственный синапс, состоящий из **матрицы мемристоров**, которая была расположена на подложке кристалла и окружена логическими и управляющими цепями на основе традиционной CMOS-логики (complementary metal-oxide semiconductor). Используя логические схемы можно сконфигурировать мемристорные цепи таким образом, что они будут выполнять функции памяти и функции обработки данных одновременно, т.е. точно так, как синапсы биологического происхождения.

Данная работа проводилась в рамках программы SyNAPSE (Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics) Управления перспективных исследовательских программ Пентагона DARPA. Стоит отметить, что создание этого искусственного синапса стало результатом разработки учеными лаборатории HRL концепции нейроморфных систем, моделью для которых были биологические системы, и разработка которых велась с 2008 года в рамках все той же программы SyNAPSE.

Грандиозный проект, огромные перспективы. Это количественно даже больше, чем количество нейронов человеческого мозга. А в основе какой-то *мемристор*...

Я на своем веку слышал много названий элементов электроники. Разных. Резистор, нувистор, динистор, тиристор, транзистор, семистор, ..., список можно и продолжить. Названия двадцатого века систематичны и потому похожи, а вот функции всех этих элементов различны. Но, вот появился новый элемент. Мемристор. Мы о нем практически ничего не знаем.

Читаем в Википедии:

Мемри́стор (англ. *memristor*, от *memory* — память, и *resistor* — электрическое сопротивление) — пассивный элемент в микроэлектронике, способный изменять своё сопротивление в зависимости от протекавшего через него заряда (интеграла тока за время работы).

Может быть описан как двухполюсник с нелинейной вольт-амперной характеристикой, обладающий гистерезисом.

Попробуем перевести написанное.

Это отдельный элемент электрической схемы, содержащий исходно два вывода. При подключении к электрической батарее через мемристор протекает электрический ток. Величина тока как-то меняется во времени, в том числе и в зависимости от приложенного напряжения батареи. Для восстановления свойств памяти мемристора необходимо менять полярность подключения батареи.

История создания мемристора.

Изобретатель - [Леон Чуа](#). Профессор университета Беркли в Калифорнии.

Вот еще [немного о нем](#).

Статья Чуа была напечатана в «Трудах IEEE. Теория цепей» (Chua, Leon O (Sep 1971), "Memristor —The Missing Circuit Element", IEEE Transactions on Circuit Theory).

[Цепь Чуа](#) известна также давно. С 1983г. Это вариация идеи мемристора.

Сейчас же ученые Hewlett-Packard [реализовали мемистор на функциональном уровне](#). То есть, - как новый потенциальный элемент интегральных схем.

Для понимания читаем [здесь](#):

...Науке и инженерии известны (были, до статьи Чуа) следующие элементы:

резистор, сопротивление, - соотносит измеряемое между двумя точками (выводами) напряжение (в инженерной практике – падение напряжения) с измеряемым в точке (протекающим через вывод) ток;

конденсатор, емкость, - соотносит измеряемое между двумя точками (выводами) напряжение (в инженерной практике – падение напряжения) с измеряемым в точке зарядом;

индуктивность - соотносит измеряемый между двумя точками (выводами) магнитный поток с измеряемым в точке током.

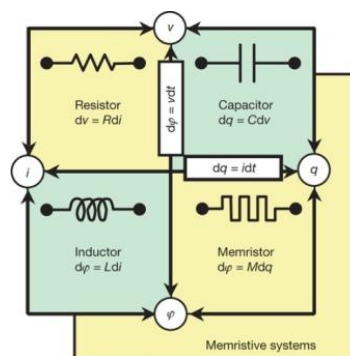


Рис.1. Электрические двухполюсники.

Чуа предположил, что симметрия (не будем вдаваться почему предположение о симметрии справедливо, это настоящая бездна) требует наличия недостающего элемента. Соотносящего измеряемый между двумя точками (выводами) магнитный поток с измеряемым в точке зарядом. Для этого элемента Чуа придумал название **мемристор или мемистор**. (См.рис.1)

[Теперь](#) разберемся с теорией:

... Электрическая цепь может описываться четырьмя физическими величинами: в каждой точке (сечении) - силой тока (I) и зарядом (Q), между двумя точками (поверхностями) - напряжением или разностью потенциалов (U) и магнитным потоком (Φ). Все эти четыре величины попарно соотносятся друг с другом, причём эти соотношения представлены в физических элементах электросхемы. Так, резистор (сопротивление) реализует взаимосвязь силы тока и напряжения, конденсатор (ёмкость) - напряжения и заряда, катушка индуктивности - магнитного потока и силы тока. Эти три пассивных элемента - резистор, конденсатор и катушка индуктивности - считаются базовыми в электротехнике, поскольку электрическую схему любой сложности теоретически можно свести к эквивалентной схеме, построенной исключительно из сопротивлений, ёмкостей и индуктивностей.



Рис.2. Положение мемристора в теоретических основах электроники.

... Чуа назвал "недостающий" элемент мемзистором - от слов "резистор" и "memory", то есть "память". Это название описывает одну из характеристик мемзистора, так называемый гистерезис, "эффект памяти", означающий, что свойства этого элемента зависят от приложенной ранее силы.

В данном случае *сопротивление мемристора зависит от пропущенного через него заряда*, что и позволяет использовать его в качестве ячейки памяти. Это свойство было названо *мемрезистивностью (M)*, значение которой есть отношение изменения магнитного потока к изменению заряда. Величина M зависит от количества заряда, прошедшего через элемент, то есть от того, как долго через него протекал электрический ток.

И наконец, [главное свойство мемристора](#):

Принципиальное отличие мемристора от большинства типов современной полупроводниковой памяти и его главное преимущество перед ними заключаются в том, что он не хранит свои свойства в виде заряда. Это означает, что ему не страшны утечки заряда, с которыми приходится бороться при переходе на микросхемы нанометровых масштабов, и что он полностью энергонезависим. Проще говоря, данные могут храниться в мемристоре до тех пор, пока существуют материалы, из которых он изготовлен.

Для сравнения: флэш-память начинает терять записанную информацию уже после года хранения без доступа к электрическому току.

На чем же основано это свойство запоминания состояния?

Напомним, в основном, сегодняшние устройства [компьютерной памяти](#) для хранения информации работают на двух основных принципах.

На основе сохранения заряда, это например, долговременная [флеш-память](#), Или мы фиксируем уровень падения напряжения на активном элементе памяти, это [оперативная память](#) на основе триггерных схем. Это токовые элементы памяти.

И второй способ сохранения информации - [магнитный](#). В этом случае сохраняется остаточная намагниченность сердечника после пропускания тока. Или той части ферромагнитной поверхности, рядом с которой прошла электрическая катушка головки записи-считывания машинной памяти. Мы фиксируем уровень и направление магнитного потока части поверхности.

Мемристор работает как-то не так..., он не хранит заряд, но и магнитных материалов в нем нет. А что есть?

Внутреннее устройство.

Вот как устроен [мемристор](#):

Конструктивно мемристоры ... состоят из тонкой 50-нм плёнки, состоящей из двух слоёв - изолирующего диоксида титана и слоя, обеднённого кислородом. Плёнка расположена между двумя платиновыми 5-нм электродами. При подаче на электроды напряжения изменяется кристаллическая структура диоксида титана: благодаря диффузии кислорода его электрическое сопротивление увеличивается на несколько порядков (в тысячи раз). При этом после отключения тока изменения в ячейке сохраняются. Смена полярности подаваемого тока переключает состояние ячейки, причём, как утверждают в HP, число таких переключений не ограничено.

На практике мемристор может принимать не только обычные для обычных чипов памяти два положения - 0 или 1, но и любые значения в промежутке от нуля до единицы, так что такой переключатель способен работать как в цифровом (дискретном), так и в аналоговом режимах.

Эта цитата также требует некоторого разъяснения.

Сегодняшняя [эпитаксиальная](#) технология изготовления полупроводниковых структур [примесной проводимости](#) включает в себя процесс образования «дырок» в валентной зоне кристаллической решетки. Причем, как [р-типа](#), так и [n-типа](#).

Пример формирования дырки р-типа...

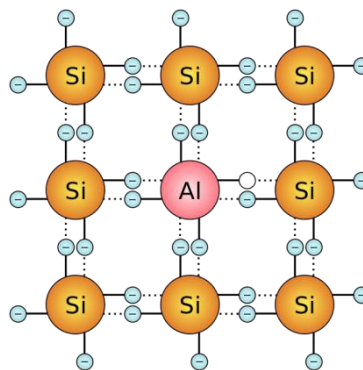


Рис.3. Кристаллическая решетка полупроводника р-типа.

В качестве основного материала первого слоя кристаллической структуры мемристора используется [диоксид титана](#) TiO_2 . В качестве легирующего элемента второго слоя использован чистый титан. Возможно, это естественный процесс при осаждении диоксида титана, т.к. нагревание до $2200\text{ }^\circ\text{C}$ приводит сначала к отщеплению кислорода с образованием синего Ti_3O_5 (то есть $TiO_2 \cdot Ti_2O_3$), а затем и темно-фиолетового Ti_2O_3 . Смесь $Ti+TiO_2$ и создает слой обедненный кислородом. В кристаллической структуре создаются ионы титана со свободными электронными связями.

Вот эти открытые связи и меняют электрическое сопротивление цепи мемристора в зависимости от тока и времени его протекания. [Гистерезис](#) здесь имеет токовый характер. Для возврата мемристора в исходное состояние необходимо поменять полярность напряжения на выводах мемристора и пропустить какой-то ток. По этим свойствам системы памяти мемристоры очень напоминают нам [ФДЯ](#) или [ФТЯ](#). Как реализация принципа на другом технологическом уровне...

Но это не всё, читаем [там же](#):

В американском Университете Райса разрабатывают такие элементы памяти не из диоксида титана, а из гораздо более дешёвого оксида кремния, который легко получить из обычного песка. Расчётная толщина слоя оксида кремния составляет от 5 до 20 нм, скорость переключения - не более 100 нс. В Университете Райса была также успешно решена задача многократной записи в ячейки памяти на основе мемристоров из оксида кремния.

В американском Национальном институте стандартов и технологии (NIST) была разработана технология изготовления гибких элементов памяти на основе мемристоров из диоксида титана. В качестве подложки был использован полимерный материал, а получившийся элемент сохраняет работоспособность после четырёх тысяч циклов изгиба.

... была построена модель мемристора на основе слоя из смеси серебра и кремния и вольфрамовых электродов, причём в ближайших планах учёных - создание больших схем, состоящих из тысяч таких элементов.

Да, технология диктует применение различных материалов для получения нужных свойств электронных элементов. Кремний и его оксид, серебро, вольфрам...

И потому, продолжим о [технологии](#):

Чтобы эффективно использовать свойства мемристоров, необходимо включить их в состав электрической цепи с активными элементами. В начале 2009 года в Hewlett-Packard была разработана такая гибридная микросхема. Чип представляет собой матрицу из 42 проводников диаметром 40 нм, 21 из которых натянуты параллельно друг другу, а другие 21 - перпендикулярно им. Слой диоксида титана толщиной 20

нм расположен между взаимно перпендикулярными проводниками, и в этих местах формируются мемристоры.

Вокруг этой "сетки" расположен массив полевых транзисторов, подключённых к выводам мемристоров.

Примерно так, как на рис.3. Вот они, проводники...

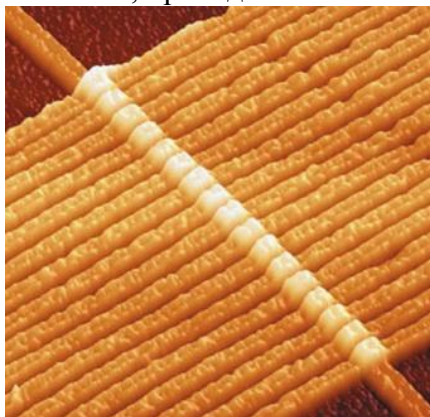


Рис.3. Структура мемристора

Далее всё верно. Полевые транзисторы обеспечивают смену полярности напряжения на мемристорах схемы памяти. Это массив управления мемристорной памятью.

Перспективы применения.

Мемристор, это хорошо, а как на этой основе может работать целый компьютер?

Есть такие [мысли](#):

Уже изученные свойства мемристоров позволяют говорить о том, что на их основе можно создавать компьютеры принципиально новой архитектуры, по производительности значительно превышающие полупроводниковые. Современные компьютеры построены на базе архитектуры фон Неймана: и данные, и программы хранятся в памяти машины в двоичном коде, причём вычислительный модуль отделён от устройств хранения, а программы выполняются последовательно, одна за другой. Прогрессивная в середине прошлого столетия, такая архитектура сегодня уже не отвечает требованиям, предъявляемым к компьютерной технике: программы стали намного сложнее, а объёмы обрабатываемых данных выросли на порядки, если не в десятки порядков.

... В мемристорном компьютере параллельно и независимо друг от друга работают множество модулей, а возможность запоминать и оперировать неограниченным множеством значений от 0 до 1 означает, что исполняемые программы не ограничены двоичным кодом. Более того, станут в принципе ненужными отдельные аппаратные компоненты компьютера - процессоры, видеочипы, память и жёсткие диски; машина будет архитектурно однородным устройством, где одновременно будут храниться все данные и проводиться все операции с ними. Для апгрейда достаточно будет установить дополнительные мемристорные модули, а для ремонта - заменить вышедшие из строя.

Мемристорный компьютер не надо будет "загружать": сразу после включения он будет готов продолжить работу, причём с того самого места, на котором она была прервана. По сравнению с современной техникой, энергопотребление мемристорных машин будет ничтожным, а вычислительная мощь просто гигантской.

Учитывая, что до серийного производства мемристоров остался буквально один шаг, очень может быть, что именно мемристорный компьютер станет промежуточной ступенью на пути к квантовому компьютеру.

...Если же использовать достаточное количество мемристоров, то теоретически *возможно создать действующую модель мозга - и не просто с возможностью вычислений, но и с функцией самообучения.*

Здесь мы практически вернулись к тому, с чего начали этот разговор. Помните проект IBM в рамках программы DARPA SyNAPSE...

Всё ближе и ближе к искусственному интеллекту? Конечно.

[Здесь же](#) читаем:

... Исследования в области искусственного интеллекта, а конкретнее по созданию искусственного мозга на базе мемристоров, ведутся также в Университете штата Мичиган под руководством Вея Лу.

...Компьютер на базе мемристоров может стать существенным шагом вперёд, поскольку он способен моделировать работу человеческого мозга, в котором нет какого-то единого центра сбора и обработки информации. Каждый блок получает, перерабатывает и передаёт в другие блоки, на мышцы, органы чувств, свои массивы данных, ничтожные по сравнению со всем объёмом поступающей информации.

Продолжим [здесь](#):

В апреле 2010 года в HP объявили о существенном прогрессе в исследованиях мемристоров: в лабораториях компании разработаны образцы ячеек со стороной 3 нм и скоростью переключения около одной наносекунды. Кроме того, учёным удалось создать трёхмерный массив таких элементов, способный выполнять логические операции и работающий аналогично синапсам - "сигнальным линиям" между нейронными клетками в мозгу человека. Скорость передачи сигнала по синапсу зависит от времени активации нейронов: чем меньше временной промежуток между активацией, тем быстрее передаётся сигнал по синапсу. Точно так же работает и массив мемристоров: при подаче тока с промежутками в 20 мс сопротивление мемристора вдвое меньше, чем при 40-мс промежутках.

По словам Стэнли Уильямса, менее чем через три года 3D-массив мемристоров позволит размещать 20 Гбайт данных в объёме 1 см³, сравнимом с кусочком сахара.

... По недавним подсчётам, чтобы построить модель коры мозга человека из современных компьютерных комплектующих, потребуется как минимум 150 000 процессоров и 144 Тбайта одной только оперативной памяти, причём речь не идёт даже об интеллекте уровня младенца.

Как мы видим, перспективы весьма широкие. Разговор уже пошел о моделях коры головного мозга человека.

К этому можно [добавить](#):

... Мемристоры на сегодня являются единственным неживым материалом, приближающимся по своим функциям к синапсам живого мозга. Синаптические соединения могут быть смоделированы и на КМОП-транзисторах, но транзисторные схемы несравнимо больше, медленнее, сложнее, энергозатратнее и дороже, чем мемристивные.

И все же...

Почему нет никакого движения на рынке компьютерного «железа», если всё так замечательно? Почему мемристоры существуют уже 40 лет, а мы даже сейчас о них практически ничего не знаем?

О положении дел на 2013г мы читаем [здесь](#):

Разработка мемристоров завершена, но HP и Nupix не хотят подрывать рынок флэш-памяти.

... Год назад был обнародован [план коммерциализации разработки](#), предусматривающий выпуск новой памяти летом 2013 года.

...Согласно сообщению источника, ссылающегося на слова старшего научного сотрудника HP Labs Стэна Вильямса (Stan Williams), мемристоры выйдут на рынок не раньше конца 2013 года.

Интересно, что господин Вильямс уточнил, что дело не в технической стороне.

«Наш партнер, Nupix, является крупным производителем флэш-памяти, и мемристоры подорвут его бизнес, отняв часть рынка у флэш-памяти, — сказал господин Вильямс. — Так что подобрать время для выпуска мемристоров на рынок оказалось очень важным. Гораздо больше денег сейчас тратится на моделирование и понимание рынка, чем на исследовательскую работу».

Что касается этой самой исследовательской работы, она, по словам Стэна Вильямса, в основном завершена, так что выпуск новой памяти сможет освоить любая фабрика.

Всё давно готово. Дело только за производством. Но, оказывается, надо так вывести на рынок мемристоры, чтобы не обрушить свой же рынок флеш-памяти. Вот в чем дело.

И другая [статья](#) об этом же, но с другой стороны:

Компания утверждает, что выведет на рынок новую технологию в течение ближайших нескольких лет. На карту поставлена репутация HP, слишком много ресурсов вложено в этот проект. «Нам кажется, что у нас нет выбора», — говорит Мартин Финк (Martin Fink), технологический директор HP Labs, который огласил грандиозные планы HP на вчерашней конференции.

Собственно, понятно, о чем речь. Они думают примерно так: Сначала мы получим необходимую прибыль с существующих технологий «в течении ближайших нескольких лет», а потом начнем внедрять новую. Когда выбора уж точно не останется, вот тогда и выпустим на рынок то, что надо было выводить еще вчера.

Но это практически уничтожит всю современную базу программирования, если не найти компромиссных решений.

И такой компромисс, кажется, нашелся. Проект [The Machine](#).

[Об операционной системе](#) для этого проекта:

Инженеры HP говорят, что новая архитектура требует новой операционной системы. HP занимается созданием Machine OS с нуля, однако параллельно с этим также ведет разработку модифицированной Android для мобильных решений с мемристорами. «Что если мы действительно создадим версию Android, которая будет оптимизирована для подобных систем на энергонезависимой памяти? Именно этим мы и занимаемся», - говорит Финк.

И еще немного о программном обеспечении [проекта](#):

Об операционной системе Machine OS пока известно немного. Только то, что она будет с открытым исходным кодом и должна максимально использовать преимущества нового аппаратного обеспечения. Отдельная группа разработки в HP Labs трудится над созданием дистрибутива Linux для тех же целей, ещё одна группа создаёт Android-версию.

Проект The Machine не имеет чёткого дедлайна: разработчики говорят, что продукт может выйти и в 2017 году, и в конце десятилетия.

О проекте The Machine из другой [статьи](#):

Пока это исследовательский проект HP Labs и непонятно, выйдет ли The Machine на рынок вообще. Однако в HP говорят, что направляют значительные ресурсы на этот проект — примерно 75% ее НИОКР-работников сейчас переброшены на The Machine, тогда как сама компания обещает выпустить готовое решение в течение 3-5 лет. Технический директор компании Мартин Финк рассказал, что впервые над данной концепцией HP задумалась еще два года назад.

Основная задача The Machine — заменить различные технологии хранения, используемые сейчас, в единый универсальный пул цифровой памяти на базе мемристоров. Это новый тип памяти, который пока далек от коммерческого внедрения. Он использует ионы вместо электронов для кодирования логических нулей и единиц в компьютерном коде.

«Сегодня все наши устройства — от телефона до суперкомпьютера — постоянно переносят информацию между тремя слоями памяти. Это память мгновенного доступа SRAM, память более длительного хранения DRAM и системный накопитель. Мемристоры должны быть быстрыми, дешевыми и доступными для того, чтобы рано или поздно заменить все эти типы памяти», - говорит он.

Ситуация, прямо скажем, запутанная. Даже получив все необходимые составляющие нового компьютера, фирма HP не спешит выпустить новинку на рынок. Потому, что это «обрушит» рынок флеш-памяти. Всё готово, а решения о запуске в производство нет. Все силы брошены на разработку, а реальное появление мемристоров на рынке обещается только через 3-5 лет. Изобретение сулит огромные перспективы, а все уперлось в существующие наработки программного продукта и нужно согласование этой разработки и существующей технической базы...

Почему так? Потому, что память на мемристорах подрывает основы фоннеймановской архитектуры компьютеров, полностью меняет подход к сложным машинным комплексам вычислений. В воздухе давно витает нейронная технология обработки информации, но мы пока упорно держимся за центральный процессор....

Сделаем свои заключения из сказанного.

Почему бы не предположить, что точно также какие-то разработчики могут «притомозить» продвижение любых изобретений, обрушающих рынок консолидированных производителей. Например, в нефтяной, газовой промышленности... Потому, что реальные разработки разнообразных «вечных», «магнитных» и прочих «двигателей», использующих новые принципы движения и

получения энергии уже давно ищут дорогу к потребителю, но их продвижение искусственно сдерживают производственные гиганты мирового рынка.

Та же картина и здесь, в области электроники. Особенно, в вычислительной технике. Если уже вложены огромные деньги в морально устаревшую разработку, то она будет применяться даже в ущерб всему остальному. И выдаваться за новинку сезона. Именно так сегодня происходит на рынке персональных компьютеров и смартфонов.

А что у нас?

Занимаются этими вопросами? Конечно...

Вот, есть такая [информация](#):

Мемристоры в ТюмГУ получены на основе диоксида титана (TiO_2) – полупроводника, в чистом виде имеющего большое сопротивление. Однако если TiO_2 легируется другими элементами, то эти легирующие примеси (например, ионы кислорода) в высоком электрическом поле могут дрейфовать в направлении электрического тока. Подача напряжения смещения через тонкую пленку диоксида титана заставляет примеси распространяться в объеме TiO_2 и таким образом понижает его сопротивление. Подача тока в другом направлении перемещает примеси назад, увеличивая сопротивление TiO_2 . Мемристор может принимать не только два положения - 0 или 1, но и любые другие значения, работая в аналоговом режиме. Причем это делается на одном элементе, что позволяет уменьшить размеры мемристора до нескольких нанометров, а скорость срабатывания – до наносекунд. Мемристоры были синтезированы с помощью приобретенной ТюмГУ модульной технологической платформы для формирования нанотехнологических комплексов с кластерной компоновкой «Нанофаб-100». Для получения мемристоров на подложку были нанесены поперечные проводящие дорожки, на которые был нанесен слой диоксида титана (TiO_2) толщиной всего 15 нанометров. Поверх него были нанесены продольные проводящие дорожки. В местах пересечения дорожек получен выраженный мемристоривный эффект снижения сопротивления и потенциации связи в зависимости от проведенного тока.

Здесь только приближаются к получению практического результата, копируя чужую разработку. Ну, хоть так. Надо же как-то уменьшать отставание в этих технологиях. Будем считать, что здесь мы начинаем догонять.

Очень важно еще раз отметить то, что изобретение было известно уже с 1971г. и могло моделироваться на старой элементной базе. Но, нужны были новые технологии для получения этого элемента функциональной электроники, мемристора. С хорошими эксплуатационными характеристиками.

Да, надо признать, мы всего-то 40 лет подождали, и вот, дождались..., пока там «за бугром» технологию доведут, и теперь мы, уже готовое, применим. Легко и просто.

Только некоторые коллективы стремятся быть действительно на переднем крае науки. И лишь единицы из наших ученых сохраняют здесь лидирующие позиции.

Вот, например, [Л.Ф.Мараховский](#), с которым мы начинали этот разговор, пока в своих разработках, похоже, немного впереди ИВМ. Насколько?

... сейчас я разбираюсь в нейронах фирмы ИВМ и ищу с ними разницу. Одно нашел, что они создают нейроны на существующей платформе элементной базы, и рассматривают их функционирование в автоматном дискретном времени, которое я расширил до непрерывного и получил качественно новые свойства, которые могли улучшить разработку вычислительных устройств и устройств на нейронах...

Но, получается, что у нас, как всегда, «[нет пророка в своем отечестве](#)»

Мы можем только цокать языком и шептать, вот там, в ИВМ, там могут, а мы тут ... только [лаптем щи хлебаем](#), более ничего не можем.

Или все же – можем?

*г.Волгодонск
Сентябрь 2014г*

Литература

1. Мараховский Л.Ф. Основы новой информационной технологии: монография / Л.Ф. Мараховский, Н.Л. Михно. – Saarbrcken, Germany / i.melnic@lap-publishing.ru / www.lap-publishing.ru, 2013 – 369 с.
2. Marachovsky L.F. Basic Concepts to Build the Next Generation of Reconfigurable Computing Systems.– International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2013. – № 2 – URL: www.science-sd.com/455-24170 (20.11.2013). - 6 p.