

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕМРИСТОРОВ

Н.А. Севостьянов

sna01rus@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены перспективы и тенденции развития современных мемристорных технологий. Исследованы проблемы развития мемристоров и сферы их применения в современной электронике. Мемристор имеет ряд специфических свойств, позволяющих ему занять довольно весомую нишу в области хранения данных, интернета вещей и нейронных сетей. Рынок мемристоров не так широк, и внутри него наблюдается высокая конкуренция за сферы применения данных технологий. В статье определен общий объем рынка, прогнозы аналитиков касательно развития данной области электроники. Также показана актуальность применения этих устройств, и сделан прогноз скорости роста областей, в которых используются или могут быть использованы мемристоры.

Ключевые слова

Мемристор, мемристорная память, рынок мемристоров, RRAM-память, нейронные сети, интернет вещей, машинное обучение, «умная фабрика»

Поступила в редакцию 11.01.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023

Введение. Технологический прогресс не стоит на месте: каждый год динамично изменяющаяся электронная промышленность ставит перед учеными новые задачи. Возникают перспективные области в сфере цифровых технологий. Новейшие разработки в области предиктивного анализа, интернета вещей (IoT), облачного хранения данных, дополненной реальности (AR) и в других многообещающих областях нуждаются в хранении и высокоскоростной обработке огромных объемов данных. Из доступных технологий выжимается максимум: совокупность характеристик быстродействия и объема играет ключевую роль в условиях постоянно развивающегося рынка. В обозримом будущем человечество будет стоять на пороге новой промышленной революции, или «Индустрии 4.0», т. е. «умных фабрик», для сбора и хранения информации в которых потребуются огромные вычислительные мощности и объемы памяти. Поэтому все более актуальным становится поиск решений, способных обеспечить большее быстродействие с меньшими энергозатратами. Применение мемристоров и устройств на их основе — одно из таких решений.

Ключевой функцией мемристора является способность проводить ток при достижении значения напряжения установки, а также прекращение прохождения тока в случае напряжения сброса [1]. В основе его работы лежит явление резистивного переключения, происходящее в диэлектрике при формировании

или разрушении токопроводящих нитей. Резистивное переключение (РП) — это явление, при котором сопротивление диэлектрического материала изменяется в ответ на приложение сильного внешнего электрического поля.

Важнейшим свойством мемристоров является именно энергонезависимость от системы, т. е. он не накапливает заряд как конденсатор и не сохраняет магнитный поток как катушка. Его свойства зависят и изменяются в результате химических превращений в тонкой (до 5 нм) пленке, а значит, могут сохраняться на протяжении времени, ограниченного разве что деградацией материала.

Все это позволяет уменьшить размеры устройства до нанометрических, а время срабатывания — до наносекунд, а это означает, что мемристор — крайне перспективный элемент для электронных схем новой архитектуры, в которых важнейшими характеристиками станут быстродействие, энергоёмкость и надёжность.

Согласно прогнозам, к 2014-му году рынок инновационных устройств памяти должен был пополниться устройствами с принципиально новой — мемристорной — основой ячеек. И хотя прогнозы не сбылись, а первая микросхема с мемристорами была создана лишь в 2015 г., эти многообещающие устройства с каждым годом становятся все более востребованными, сфера их применения расширяется, а значит, растёт и спрос на них. Интерес к новой активно развивающейся технологии сулит рынку мемристоров крайне высокие темпы роста и, по оценкам экспертов, к 2024 г. рынок будет оцениваться в 8,9 млрд долл. США, а в ежегодный прирост их производства составит 80 % [2].

Сферы применения. В настоящее время для мемристоров определены два основных направления использования (рис. 1):

1) **хранение информации**, поскольку на основе мемристоров возможно создавать накопители, плотность записи которых значительно превосходит возможности современных жестких дисков, карт флеш-памяти и SSD. Главное преимущество мемристоров перед большинством типов существующей полупроводниковой памяти заключается в том, что его свойства хранятся не в виде заряда. А значит, ему не страшны утечки заряда, с которыми приходится бороться при проектировании микросхем нанометровых масштабов, и он полностью энергонезависим. Данные могут храниться в мемристоре до тех пор, пока существуют материалы, из которых он изготовлен. На основе мемристоров можно создавать многоуровневые системы RRAM (англ. *Resistive Random Access Memory* — резистивная память с произвольным доступом), что позволит значительно увеличить не только быстродействие, но и плотность записи;

2) **применение в сфере нейронных сетей**, поскольку сами по себе данные сети имеют входы, выходы и представляют собой набор нейронов и связей между ними. Связи имеют вес, который можно симулировать с помощью переменного сопротивления мемристоров. Это позволяет имитировать работу

синапсов коры головного мозга, открывая неограниченные возможности для создания и развития искусственного интеллекта, поскольку такой «мозг» будет способен не только запоминать информацию, но и анализировать ее. Созданные по этому принципу нейронные сети обещают крайне высокое быстродействие и невиданные объемы оперативной памяти.

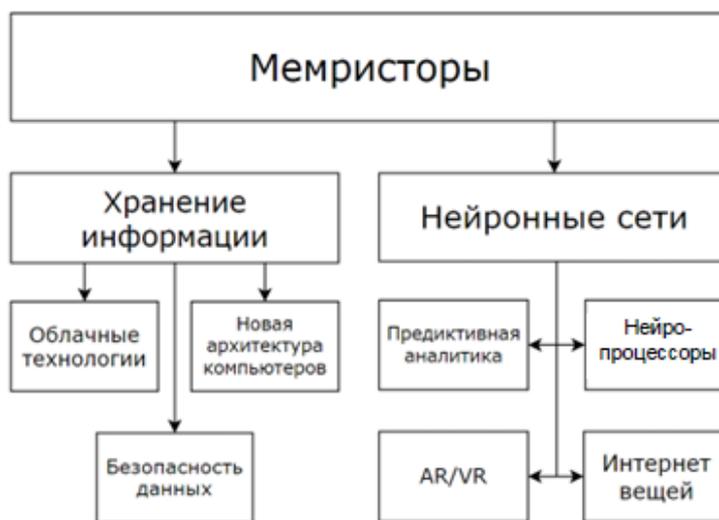


Рис. 1. Сферы применения мемристоров

Однако эти два направления далеко не единственные и являются скорее основой того, чем может стать новая ветвь электроники. Среди перспектив применения можно выделить устройства дополненной и виртуальной реальности (AR/VR) [2], которые будут способны в реальном времени анализировать окружающий мир, а также технологии безопасного облачного хранения большого объема информации с высокоскоростным доступом к ней.

Большим прорывом в электронике может стать новейшая архитектура компьютеров. Такие компьютеры в будущем будут способны вытеснить неумолимо устаревающие, построенные на базе архитектуры фон Неймана, в которой данные и программы вместе хранятся в памяти машины в двоичном коде, а вычислительный модуль и устройства хранения разделены. Программы же выполняются последовательно, одна за другой. Однако такая архитектура в будущем будет неспособна эффективно реализовать программы, требования которых растут вместе с увеличением объемов обрабатываемой информации.

Мемристорный компьютер будет способен уйти от аппаратности. Каждый его модуль будет отвечать и за хранение, и за обработку информации, а рост вычислительной мощности будет осуществляться за счет добавления новых модулей. Ремонт такого устройства будет осуществляться простой заменой вы-

шедшего из строя блока. При этом такой компьютер сможет сохранять свое состояние даже будучи отключенным от сети, а переход к рабочему состоянию будет почти моментальным. Таким образом, выключение будет являться переходом в другой режим работы.

Современные реалии производства. Осознавая очевидную перспективность данного направления, большие компании, такие как Hewlett-Packard (HP), пытаются запустить мемристоры в производство, но они ограничены условиями рынка, зависимостью от партнеров и своих собственных технологий. Перед ними стоит множество вопросов и нерешенных проблем, в основном экономических, которые необходимо решить, чтобы иметь возможность интегрировать новую технологию в уже существующие системы, после чего можно будет запустить процесс постепенного полного перехода на мемристорные устройства.

Одной из базовых экономических проблем является выбор материала [3]. Существует парадокс, при котором снижение стоимости изделий требует соответствующего снижения стоимости сырья, а значит, и качества готового изделия. Схематически данный парадокс представлен на рис. 2.

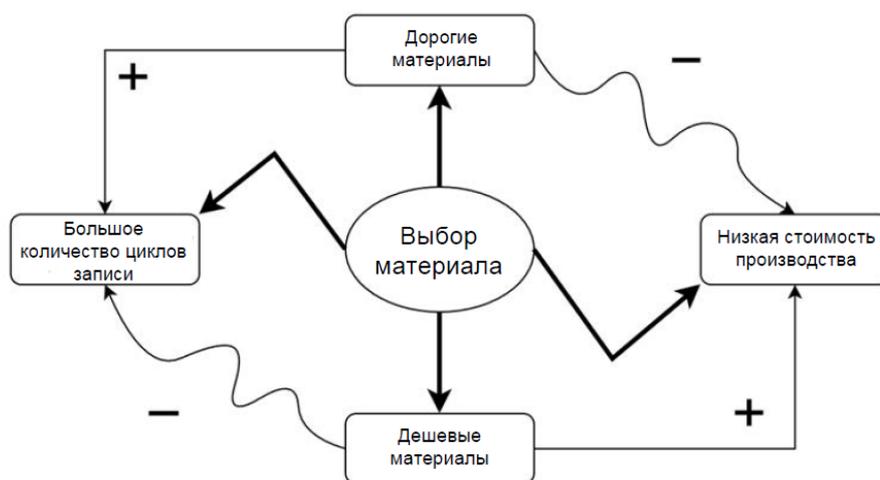


Рис. 2. Схема парадокса производства:

— — отрицательное влияние; + — положительное влияние

Однако когда дело доходит до производства, становится очевидным, что парадокс производства — не самая серьезная из преград. Дело в том, что компании, способные массово производить мемристорные устройства, выпускают большой объем продукции, выполняющей ту же роль. Чтобы запустить в массовое производство мемристорное устройство, необходимо привлечь огромный объем инвестиций, которые позволили бы осуществить плавный переход от одной технологии к другой. С учетом проблем совместимости таких устройств

с современными, такой переход является затруднительным и в контексте программного обеспечения. Поэтому компании, разрабатывающие мемристорное устройство, заявляют и о разработке методов их интеграции в уже существующие системы. Инженеры HP, к примеру, утверждают, что новая архитектура компьютеров и смартфонов потребует разработки новых операционных систем. В компании HP такую систему (Machine OS) создают с нуля, предполагая ее использование на мемристорных компьютерах, однако параллельно ведется разработка модифицированной версии Android для мобильных мемристорных решений [4].

Примером неудачного запуска новой технологии может служить опыт Intel. В сущности, память 3D XPoint, анонсированная компанией в 2015 г., это мемристорное устройство. В результатах совместной работы с Micron должны были быть воплощены преимущества оперативной памяти и SSD. Однако во II квартале 2022 г. компания Intel начала сворачивать разработку и производство накопителей Optane. Помимо этого она понесла убытки, не только связанные с длительной разработкой технологии, но и дополнительные, в размере 559 млн долл. США, которые были связаны с «обесцениванием запасов Optane» [5].

Заключение. Мемристоры — крайне многообещающая технология. Они могут послужить основой для стремительного развития самых разных перспективных направлений электроники и цифровых технологий. Без мемристорных устройств трудно представить эффективную цифровизацию любых сфер жизни. Такие технологии, как дополненная реальность, интернет вещей, с каждым годом становятся все более доступными, а значит, интерес к ним только растет. Прогресс не стоит на месте, и рано или поздно мемристорные устройства могут вытеснить транзисторные. Однако это будет долгий процесс, поскольку технологию, прочно поставленную на производство, заменить альтернативой очень непросто, даже если эта альтернатива превосходит предшественницу по всем параметрам. Но без такого перехода невозможно представить будущие достижения в области искусственного интеллекта и интернета вещей, который, в свою очередь, способен простимулировать новую промышленную революцию с переходом к «умному предприятию» и «Индустрии 4.0».

Литература

- [1] Chua L. Memristor — the missing circuit element. *IEEE Transactions on Circuit Theory*, 1971, vol. 18, iss. 5, pp. 507–519. DOI: <http://doi.org/10.1109/TCT.1971.1083337>
- [2] Vlasov A.I., Shakhnov V.A., Zhalnin V.P., Gudoshnikov I.V., Kadyr A.T. Market for memristors and data mining memory structures for promising smart systems. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2020, vol. 8, iss. 2, pp. 98–115. DOI: [http://doi.org/10.9770/jesi.2020.8.2\(6\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2020.8.2(6))
- [3] Vlasov A.I., Zhalnin V.P., Prisyazhnuk S.P. Analysis of Memristor Modules as an Element Base of Microprocessor Control Systems: Contradictions and Prospects. *2020 Interna-*

tional Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), DOI: <http://doi.org/10.1109/ICIEAM48468.2020.9111917>

- [4] Никитин А.В. *Немного о мемристоре*. URL: <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0023/001a/1052-nik.pdf> (дата обращения 15.01.2023).
- [5] Белавин А.А. Анализ и оценка рынка устройств на основе мемристоров. *Молодой ученый*, 2019, № 19, с. 105–107. URL: <https://moluch.ru/archive/257/58796/> (дата обращения 08.01.2023).

Севостьянов Никита Александрович — студент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Журавлева Людмила Васильевна, доцент, кандидат технических наук, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Севостьянов Н.А. Перспективы развития мемристоров. *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 03 (80). <http://doi.org/10.18698/2541-8009-2023-3-874>

PROSPECTS FOR THE MEMRISTORS DEVELOPMENT

N.A. Sevostyanov

sna01rus@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The prospects and trends in the development of modern memristor technologies are considered. The problems of memristor development and their application in modern electronics are investigated. Memristor has a number of specific properties that allow it to occupy quite a weighty niche in the field of data storage, Internet of Things and neural networks. The market for memristors is not as broad, and there is high competition for applications for these technologies within it. The article defines the total market volume, analysts' forecasts regarding the development of this area of electronics. It also shows the relevance of the application of these devices, and predicts the growth rate of areas in which memristors are used or can be used.

Keywords

Memristor, memristor memory, memristor market, RRAM-memory, neural networks, internet of things, machine learning, "smart factory"

Received 11.01.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2023

References

- [1] Chua L. Memristor — the missing circuit element. *IEEE Transactions on Circuit Theory*, 1971, vol. 18, iss. 5, pp. 507–519. DOI: <http://doi.org/10.1109/TCT.1971.1083337>
- [2] Vlasov A.I., Shakhnov V.A., Zhalnin V.P., Gudoshnikov I.V., Kadyr A.T. Market for memristors and data mining memory structures for promising smart systems. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2020, vol. 8, iss. 2, pp. 98–115. DOI: [http://doi.org/10.9770/jesi.2020.8.2\(6\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2020.8.2(6))
- [3] Vlasov A.I., Zhalnin V.P., Prisyazhnuk S.P. Analysis of Memristor Modules as an Element Base of Microprocessor Control Systems: Contradictions and Prospects. *2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, DOI: <http://doi.org/10.1109/ICIEAM48468.2020.9111917>
- [4] Никитин А.В. Немного о мемристоре. URL: <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0023/001a/1052-nik.pdf> (дата обращения 15.01.2023).
- [5] Белавин А.А. Анализ и оценка рынка устройств на основе мемристоров. *Молодой ученый*, 2019, № 19, с. 105–107. URL: <https://moluch.ru/archive/257/58796/> (дата обращения 08.01.2023).

Sevostyanov N.A. — Student, Department of Design and Technology of Electronic Equipment Production, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Zhuravleva L.V., Associate Professor, Cand. Sc. (Eng.), Russian Federation State Prize Laureate in Science and Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Sevostyanov N.A. Prospects for the memristors development. *Politekhicheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2023, no. 03 (80). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-3-874> (in Russ.).