



Система интеллектуального анализа больших данных



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ

Дата выпуска: 17.03.2022

Топ-15 технологий в микроэлектронике

Институт статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ посредством интеллектуального анализа больших данных выявил перспективные технологии в микроэлектронике и сравнил передовые научные направления с рыночными тенденциями в этой сфере.

Справочно: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA разработана ИСИЭЗ НИУ ВШЭ с применением передовых технологий искусственного интеллекта и включает более 500 млн документов (научные публикации, патенты, нормативная правовая база, рыночная аналитика, отраслевые медиа, материалы международных организаций, вакансии и другие виды источников). В 2020 г. iFORA отмечена в журнале *Nature* в качестве эффективного инструмента поддержки принятия решений в интересах бизнеса и органов власти. ОЭСР относит систему к успешным инициативам в области цифровизации науки. Для данного исследования были проанализированы более 35 тыс. источников, отражающих актуальную повестку науки и бизнеса.

По оценкам ведущих производителей элементной базы микроэлектроники (World Semiconductor Trade Statistics Inc.), в 2022 г. объем мирового рынка такой продукции составит порядка 600 млрд долл. Согласно прогнозу Ассоциации российских разработчиков и производителей электроники, в перспективе 5-10 лет объемы производства отечественной электроники могут достигнуть трети национального ВВП. В частности, востребованы перспективные отечественные разработки с использованием открытой архитектуры RISC-V. Такие микросхемы могут получить широкое распространение в рамках промышленной робототехники, беспроводной связи, интернета вещей и др. (подробнее об этих технологиях – см. [«Топ-15 цифровых технологий в промышленности»](#)).

Перспективы развития как исследовательской, так и рыночной повестки микроэлектроники (табл. 1) связаны с возможностью преодоления физических ограничений по размещению элементов в микросхеме. Эти ограничения обусловлены в первую очередь использованием кремния при изготовлении интегральных микросхем и достижением технических пределов уменьшения их размерностей. Технологии и решения, практически воплощающие эту повестку, имеют разную степень готовности¹: от фундаментальных исследований (УГТ 1) до готового продукта (УГТ 9).

Возможности прототипирования расширяются за счет использования *2D-материалов* (№ 1 в исследовательском / № 2 – в рыночном рейтинге) для миниатюризации транзисторов современных микросхем. Одним из технологических драйверов их дальнейшего распространения в ближайшее время будут *EUV-фотолитография* (№ 11 / № 10), открывающая двери в мир наноэлектроники уже сегодня, и технологии *гибридной металлизации* (№ 5 / № 15). Помимо этих решений распространение в научной повестке уже получили *дисульфидные нанотрубки* (№ 8 / № 11), в частности на основе дисульфида вольфрама. Такие разработки имеют широкие перспективы применения в прикладных областях оптоэлектроники и фотоники.

Гибридная интеграция (№ 6 / № 12) обеспечивает сверхвысокую и ультравысокую интеграцию – увеличение плотности размещения элементов на одном кристалле схемы до 1 млрд логических вентилях. На практике прежде всего применяются монолитная интеграция и совокупность технологий создания комбинированных микрочипов, зачастую именуемых в рыночном дискурсе звучным неологизмом *«чиплет»* (№ 14 / № 8) и позволяющих отказаться от печатных плат. Уровень готовности этих технологий уже достаточно высок и воплощается в конкретных продуктах. Тем не менее внимание широкой аудитории и интерес ключевых промышленных игроков к ним несколько опережают текущий уровень их технологического развития.

Облик современной микроэлектроники изменяется по мере внедрения *нейроморфных чипов* (№ 13 / № 1), реализующих новую архитектуру вычислительных процессов, которая имитирует нейронную сеть на полупроводниках. Использование готовых продуктов на основе таких чипов позволит существенно повысить вычислительную мощность путем использования всех элементов цепочки обработки и хранения данных: от конкретного гаджета до облачного хранилища. Эти технологии становятся новым шагом в развитии распределенных вычислений.

¹ Для целей анализа уровни готовности технологий (УГТ) объединены в три группы: НИР (УГТ 1–4), прототип (УГТ 5–7), продукт (УГТ 8–9).

Таблица 1. Топ-15 технологий в микроэлектронике

Технологии	Готовность технологий	Исследования		Рынок	
		Ранг	Индекс значимости	Ранг	Индекс значимости
2D-материалы		1	1,00	2	0,86
Мемристоры		2	0,45	9	0,14
Нейроморфные вычисления		3	0,21	7	0,36
Энергонезависимая память		4	0,12	3	0,59
Гибридная металлизация		5	0,10	15	0,03
Гибридная интеграция		6	0,08	12	0,09
Печатная электроника		7	0,08	4	0,58
Дисульфидные нанотрубки		8	0,06	11	0,11
Сложные полупроводники		9	0,05	13	0,07
Пригодная для носки и имплантируемая электроника		10	0,05	5	0,57
EUV-фотолитография		11	0,03	10	0,11
Усовершенствованная компоновка микросхем		12	0,03	6	0,41
Нейроморфные чипы		13	0,01	1	1,00
Чиплеты		14	0,01	8	0,28
Молекулярные вычисления		15	0,01	14	0,05

Легенда:



НИР (уровни готовности технологий 1–4)



Прототип (уровни готовности технологий 5–7)



Продукт (уровни готовности технологий 8–9)

Рассчитано на основе высокоцитируемых зарубежных публикаций, представленных на платформе Microsoft Academic Graph (более 15 тыс. источников), а также массива данных профессиональных СМИ (более 20 тыс. источников). **Индекс значимости** технологии показывает ее относительную встречаемость в массиве источников за 2020–2021 гг., где 1 соответствует максимальному числу упоминаний. При расчете учитываются частота встречаемости термина, его специфичность и векторная центральность. Частота встречаемости сама по себе недостаточна для отражения реальной актуальности термина, важно, чтобы он обозначал конкретное научно-технологическое направление и не был слишком общим (эту задачу решает показатель специфичности), а векторная центральность отражает степень его связи с другими направлениями научного поиска.

В области создания **мемристоров** (№ 2 / № 9) экспертные дискуссии отстают от реального уровня научного развития технологического направления. Уже пройден длинный путь от теоретических тезисов профессора Калифорнийского университета в Беркли (США) Л. Чуа о симметрии электросхем, предсказывающих появление их нового элемента – мемристора, до опытного использования в суперкомпьютерах HP. В обозримом будущем мемристоры могут получить широкое распространение в модулях памяти квантовых компьютеров.

В ближайшие два-три года будет реализован отложенный спрос на чипы памяти для персональных компьютеров, а также элементную базу электронных устройств в промышленности и потребительском секторе. Стремление крупных игроков полупроводниковой индустрии удовлетворить этот спрос подкрепляется, в том числе, активным развертыванием технологий **энергонезависимой памяти** (№ 4 / № 3). Теоретическая и, особенно, практическая реализуемость этих технологий непосредственно связана с развитием уже упомянутой **EUV-фотолитографии**.

В ряде случаев, по мере внедрения конкретных технологических решений в повседневную жизнь, исследовательская и рыночная повестки балансируются. Так, технологии создания **сложных полупроводников** (№ 9 / № 13), состоящих из атомов нескольких химических элементов, развиваясь со второй половины 1950-х годов, получили производственное воплощение в середине 2000-х. В настоящее время они приобретают особую актуальность в контексте распространения интернета вещей, в том числе на базе сетей 5G.

Одно из магистральных направлений развития, которое определит облик будущего отрасли, – квантовые вычисления и основанные на них компьютеры. Их ближайший «конкурент» – технологии *нейроморфных вычислений*, имитирующие принципы функционирования нейронных структур человеческого мозга, активно исследуются в течение многих лет (№ 3 в научном и № 7 в рыночном рейтинге). Еще одним перспективным направлением являются *молекулярные вычисления*, оперирующие биологическими компонентами (нуклеиновыми кислотами и белками) в составе живых систем или биокомпьютеров.

Комментирует Александр Снегирев, старший научный сотрудник Центра стратегического прогнозирования ИСИЭЗ НИУ ВШЭ:

Производственный цикл электронной промышленности глобален, в полном смысле этого слова. В текущей ситуации неизбежны затруднения и даже разрывы цепочек поставок, включающих Россию как импортера, так и экспортера.

В первом случае речь идет не только о конечных изделиях, но, что более критично – о поставках готовых чипов, входящих в компонентную базу отечественного электронного производства, в том числе процессоры «Байкал» и «Эльбрус». Во втором случае санкционные центры мирового полупроводникового производства будут лишены поставок редкоземельных металлов (в первую очередь – палладия), химических соединений (в частности, гексафторбутадиена) и сапфировых подложек из России. Все это замедлит динамику глобального электронного производства и снизит его эффективность.

Реализация отраслевых программ импортозамещения в условиях новых вызовов потребует оперативного и при этом комплексного технологического дорожного картирования. Интегральная увязка технологических траекторий электронной промышленности, обеспечивающая замыкание производственного цикла, позволит в конечном счете превратить вызов технологической изоляции в импульс ускоренного развития отечественной микроэлектроники.



Источники: Расчеты на основе системы интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ); результаты проекта «Экспресс-мониторинг развития технологий и рынков микроэлектроники в России и мире с использованием интеллектуального анализа больших данных, библиометрического и патентного анализа» тематического плана научно-исследовательских работ, предусмотренных Государственным заданием НИУ ВШЭ на 2022 год.

■ Материал подготовил **А.Ю. Снегирев**

Данный материал НИУ ВШЭ может быть воспроизведен (скопирован) или распространен в полном объеме только при получении предварительного согласия со стороны НИУ ВШЭ (обращаться issek@hse.ru). Допускается использование частей (фрагментов) материала при указании источника и активной ссылки на интернет-сайт ИСИЭЗ НИУ ВШЭ (issek.hse.ru), а также на автора материала. Использование материала за пределами допустимых способов и/или указанных условий приведет к нарушению авторских прав.

© НИУ ВШЭ, 2022