

Конец кремниевой эпохи: учёные создали первый в мире двумерный компьютер на атомных материалах

Дата публикации: 17.10.2025

На протяжении десятилетий кремний оставался краеугольным камнем мировой электроники. Именно он лежит в основе микропроцессоров, смартфонов, компьютеров и современных электромобилей. Однако учёные уже давно предупреждают, что кремниевая эра близится к пределу своих возможностей: дальнейшее уменьшение размеров транзисторов приводит к потере производительности, перегреву и росту энергопотребления. И вот, впервые в истории, исследователи из Университета штата Пенсильвания представили действующий компьютер, полностью построенный без использования кремния — на основе материалов толщиной всего в один атом.

Это достижение знаменует собой поворотный момент в развитии вычислительных технологий. Новый компьютер создан с использованием двумерных (2D) материалов — кристаллических структур, состоящих всего из одного слоя атомов. Эти материалы сохраняют стабильные электронные свойства даже при экстремальном уменьшении толщины, что делает их идеальными кандидатами для замены кремния в будущем.

Исследователи объединили два типа атомно-тонких полупроводников: дисульфид молибдена (MoS_2), выполняющий роль n-типа транзисторов, и диселенид вольфрама (WSe_2), использованный для транзисторов p-типа. Вместе они образуют комплементарную структуру металл-оксид-полупроводник (CMOS) — основу почти всех современных микрочипов. В отличие от традиционной кремниевой CMOS-технологии, новая схема демонстрирует стабильную работу при низких напряжениях и с минимальными потерями энергии.

Для создания этих наноматериалов команда применила метод химического осаждения из паровой фазы металлоорганических соединений (MOCVD). Этот процесс позволяет выращивать идеально ровные пластины двумерных материалов на больших площадях, обеспечивая масштабируемость и промышленную применимость. В ходе эксперимента исследователи изготовили более тысячи транзисторов каждого типа, после чего интегрировали их в полноценный работающий процессор.

Получившийся компьютер работает на частоте до 25 кГц и способен выполнять базовые логические операции — это скромный показатель по сравнению с современными кремниевыми процессорами, но огромный шаг

вперёд для технологии, существующей менее 15 лет. Учёные отмечают, что их устройство можно считать “компьютером с одним набором команд” — минимальной, но полностью функциональной вычислительной системой.

Главное преимущество 2D-компьютеров заключается в энергоэффективности и сверхмалых размерах. Поскольку электроны в таких материалах движутся почти без сопротивления, энергопотери минимальны, а нагрев значительно ниже, чем у кремниевых аналогов. Это открывает путь к созданию ультракомпактных микросистем — от интеллектуальных сенсоров до нейроморфных процессоров, имитирующих работу человеческого мозга.

Учёные отмечают, что путь к массовому применению таких устройств только начинается. Необходимо оптимизировать методы роста материалов, повысить стабильность контактов и интеграцию с существующими технологиями. Но прогресс происходит стремительно: если развитие кремниевой электроники заняло восемь десятилетий, то исследования двумерных материалов стартовали лишь в 2010-х, и уже сегодня они демонстрируют результаты, которые могут изменить индустрию.

В ближайшем будущем учёные ожидают появления новых типов 2D-компьютеров, использующих графен, фосфорен и другие квантовые материалы. Это позволит создавать гибкие, прозрачные и почти невесомые вычислительные системы, которые можно интегрировать в одежду, медицинские устройства, оптику и даже живые ткани.

Создание первого двумерного компьютера можно считать символическим рубежом — началом посткремниевой эпохи. Этот эксперимент показывает, что физические пределы кремниевой миниатюризации могут быть преодолены, а будущее вычислительной техники, вероятно, будет строиться не на кремнии, а на атомах новых материалов, столь же тонких, как сама граница между материей и светом.