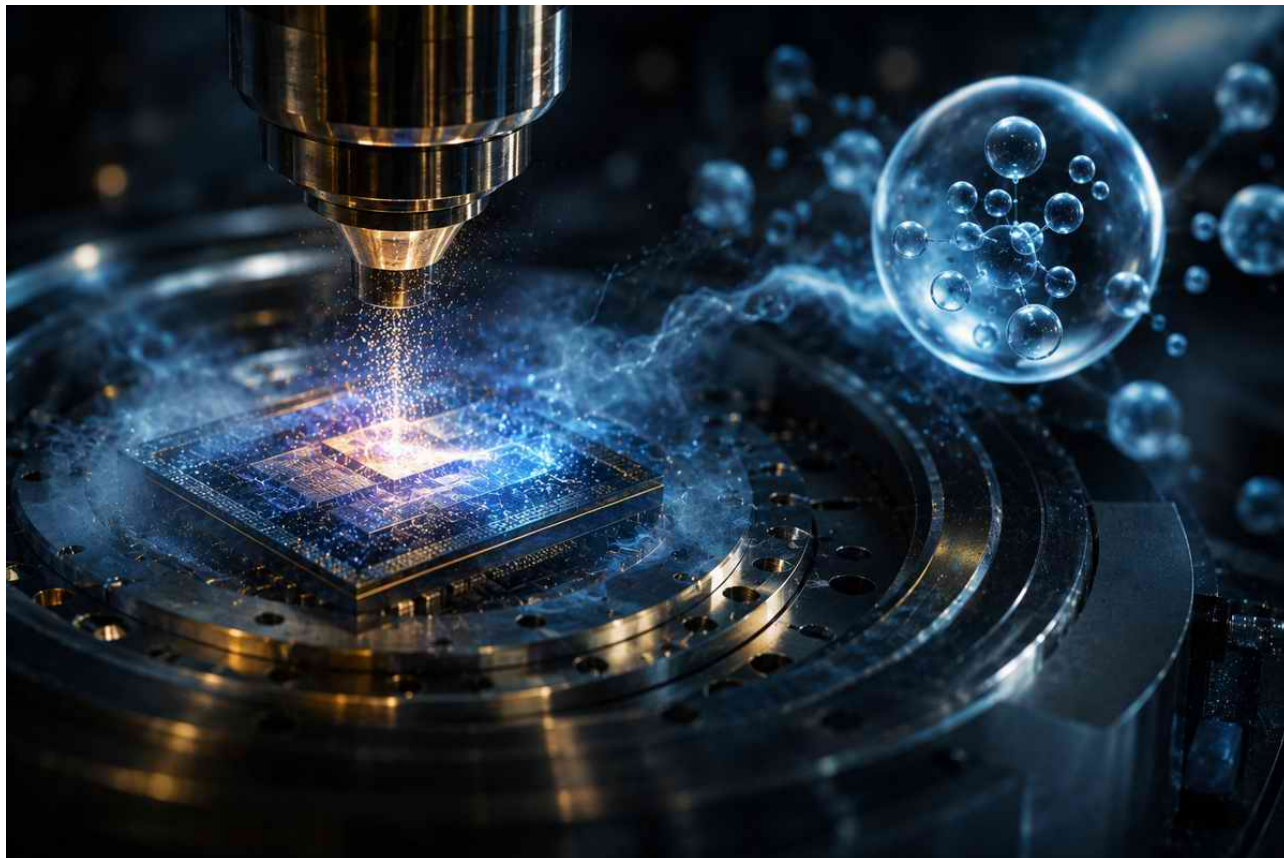


Криптон поможет создавать квантовые чипы: ученые улучшили производство сверхпроводников



Дата публикации: 19.08.2026

Криптон известен большинству людей как один из инертных газов атмосферы, однако теперь ему нашли неожиданное применение в квантовых технологиях. Исследователи Корнеллского университета показали, что с его помощью можно значительно улучшить производство сверхпроводящих компонентов квантовых процессоров. Новый метод позволяет наносить высококачественные пленки тантала на кремний при температуре примерно 200 °C вместо более чем 400 °C.

Температура производства кажется технической деталью, но именно она может определять возможность массового выпуска квантовых чипов. Лабораторный квантовый процессор недостаточно просто заставить работать: для коммерческой технологии нужны процессы, совместимые со стандартным оборудованием полупроводниковых фабрик и позволяющие стабильно производить большое количество одинаковых устройств.

Одним из перспективных материалов для сверхпроводящих квантовых схем считается тантал. Этот металл устойчив к коррозии и обладает характеристиками, подходящими для создания высококачественных сверхпроводящих компонентов. Однако при низкотемпературном нанесении тантал способен формировать нежелательную кристаллическую фазу, ухудшающую электрические свойства материала.

До сих пор одним из решений был нагрев подложки выше 400 °С. Для многих производственных линий это уже проблемная температура. Кроме того, сильный нагрев создает дополнительный риск: тантал начинает взаимодействовать с кремниевой подложкой, формируя промежуточный слой. Для квантовых устройств даже небольшие дефекты и потери энергии могут существенно ухудшить характеристики кубитов.

Команда под руководством Валлы Фатеми предложила изменить не сам тантал, а процесс его нанесения. Для создания тонких металлических пленок используется магнетронное распыление: ионизированный газ бомбардирует металлическую мишень, выбивая из нее атомы. Они перемещаются к подложке и постепенно образуют слой толщиной всего в несколько десятков или сотен нанометров.

Обычно для этой задачи применяют аргон. Исследователи заменили его криптоном — более тяжелым благородным газом. Ионы криптона способны эффективнее передавать импульс атомам тантала при столкновениях. В результате выбитые атомы получают условия, позволяющие сформировать необходимую структуру пленки при значительно меньшем нагреве кремниевой подложки.

Температурный порог удалось снизить примерно до 200 °С. Это уже гораздо удобнее для существующих технологий нанопроизводства и дает инженерам значительно больший технологический запас. Производственный процесс становится менее чувствительным к температурным ограничениям оборудования и потенциально легче интегрируется с другими этапами изготовления микросхем.

Но снижение температуры оказалось не единственным преимуществом. Полученные танталовые пленки продемонстрировали высокую электронную проводимость и характеристики, позволяющие создавать сверхпроводящие квантовые устройства высокого качества. Именно свойства поверхности и количество микроскопических дефектов имеют огромное значение для квантового компьютера.

Причина заключается в чрезвычайной чувствительности кубитов к

окружающей среде. Квантовое состояние легко разрушается из-за тепловых колебаний, дефектов материала, электромагнитных помех и других факторов. Чем дольше кубит сохраняет когерентность, тем больше операций можно выполнить до потери содержащейся в нем квантовой информации.

Поэтому совершенствование квантовых компьютеров зависит не только от новых алгоритмов и архитектуры процессоров. Огромную роль играет материаловедение: чистота металла, структура кристаллов, состояние поверхности и даже особенности границы между двумя слоями материала способны заметно изменить работу всего устройства.

Особенно чувствительным элементом сверхпроводящего кубита является джозефсоновский переход. Он представляет собой два сверхпроводника, разделенных чрезвычайно тонким изолирующим барьером. Благодаря квантовому туннелированию такой переход позволяет реализовать нелинейные свойства, необходимые для работы кубита.

По мере улучшения остальных компонентов исследователи обнаруживают любопытный эффект: начинают становиться заметными дефекты, которые раньше терялись на фоне более крупных источников потерь. Теперь даже небольшие изменения технологии формирования джозефсоновского перехода способны измеримо влиять на характеристики квантового устройства.

Это типичная ситуация для развития сложной технологии. Когда инженеры устраняют одно серьезное ограничение, следующее, ранее почти незаметное, становится новым препятствием. Поэтому создание практического квантового компьютера представляет собой последовательное улучшение десятков материалов, интерфейсов и технологических процессов.

Криптон при этом не становится «квантовым материалом» в буквальном смысле и не входит в состав кубита. Его роль технологическая: газ используется во время производства, помогая сформировать качественный слой тантала. После завершения процесса криптон не является функциональной частью готового квантового процессора.

Тем не менее открытие может иметь большое практическое значение. Возможность получать высококачественные сверхпроводящие пленки при температурах, совместимых с промышленными процессами, сокращает разрыв между экспериментальными квантовыми устройствами и их потенциальным серийным производством. В квантовой гонке важны не только новые кубиты, но и способность надежно изготовить тысячи или миллионы одинаковых компонентов.

Ссылка: «Танталовые пленки, напыленные криптоном, для масштабируемых высокопроизводительных квантовых устройств» DOI: [10.1038/s41563-026-02718-z](https://doi.org/10.1038/s41563-026-02718-z).