**Российские и тайваньские физики создали материал на основе нитрида кремния для высокопроизводительной энергонезависимой резистивной памяти**

Ученые Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, Новосибирского государственного университета, Новосибирского государственного технического университета и Национального университета Чао Тунг (Тайвань) разработали и сравнили элементы резистивной памяти — мемристоры на основе нитрида кремния, синтезированные с помощью двух разных технологий. Более высокопроизводительное устройство удалось получить, используя технологию физического осаждения из газовой фазы (PVD). Существенное преимущество нитрида кремния перед другими материалами для энергонезависимой памяти — совместимость с традиционным способом производства интегральных схем. Применение нового типа памяти позволит увеличить быстродействие компьютеров, гаджетов, проводить большее количество операций в единицу времени, снизив при этом потребление энергии. Результаты работы международной коллаборации опубликованы в журнале [Scientific Reports](https://www.nature.com/articles/s41598-020-59838-y?fbclid=IwAR1fmFjzxe_97DiChTNSXX1pkLsK06d2mVz3ysnjUZZYNDa3o9sARH4cDV8). Исследование проводилось при поддержке Российского научного фонда.

*«Вместе с коллегами из Национального университета Чао Тунг мы обнаружили, что свойства полностью неметаллической резистивной памяти на основе нитрида кремния SINx переменного состава (нестехиометрического) сильно зависят от технологии синтеза последнего. Выращиванием материала занимались коллеги из Тайваня, и они впервые использовали метод физического осаждения, который показал хорошие результаты. Например, время хранения информации на микроэлектронном компоненте, полученном с помощью PVD в 100 раз больше, чем с помощью плазменно-химического осаждения из газовой фазы (PECVD). Первая технология не является традиционной для производства интегральных микросхем и применялась впервые для синтеза нитрида кремния»,* — отмечает российский соавтор статьи, главный научный сотрудник лаборатории физических основ материаловедения кремния Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН доктор физико-математических наук **Владимир Алексеевич Гриценко**.

Методы синтеза PVD и PECVD предполагают разные способы создания материалов нужного состава. В первом случае твердые вещества нагреваются до получения газовой фазы, и затем, в условиях высокого вакуума атомы этих веществ, например, кремния и азота осаждаются на подложке, образуя тончайшую пленку в данном случае — нитрида кремния. В другом методе PECVD — плазменно-химическом осаждении из газовой фазы — молекулы осаждаемых материалов содержатся в газовой смеси, а для их разложения на свободные радикалы используется высокочастотный плазменный разряд. Так как обычно для получения нитрида кремния используются содержащие водород газы — моносилан (SiH4) и аммиак (NH3), то формирующаяся тонкая плёнка нитрида кремния содержит водород в виде Si-H и N-H связей, и концентрация водорода тем выше, чем ниже температура подложки в процессе осаждения.

Работы по созданию энергонезависимой резистивной памяти интенсивно ведутся во всем мире, поскольку ее характеристики существенно превышают те, что есть у распространенной сейчас флэш-памяти. Однако до сих пор в качестве перспективных материалов для RRAM исследовались преимущественно оксиды металлов, например, фирма Panasonic производит такую память на основе оксида тантала. Лишь недавно увеличился интерес к оксиду и нитриду кремния, хотя эти соединения традиционно используются для изготовления микро- и наноэлектроники и не потребуют дополнительных технологических новаций при интеграции в производство кремниевых микросхем, в отличие от оксидов металлов.

*«Тестовые микроэлектронные компоненты RRAM — мемристоры — сделали специалисты Национального университета Чао Тунг, они же провели изучение запоминающих характеристик. Вклад российской стороны — исследование фундаментальных свойств материала, механизма переноса электронов*», — объясняет Владимир Гриценко.

Мемристор — элемент наноэлектроники, изменяющий свое сопротивление в зависимости от протекшего через него электрического заряда. Благодаря этому можно использовать изменение напряжения для перезаписи и считывания информации на мемристоре. Сейчас для записи информации используются транзисторы.

Нужно отметить, что мемристор может выступать не только, как ячейка памяти, но и как аналог синапса — контакта между двумя нейронами или нейроном и другими возбудимыми клетками. Каждый нейрон связывается с большим количеством своих «собратьев», при этом «сила» взаимодействия в каждом случае отличается и может меняться с течением времени. Подобный механизм передачи сигналов можно сформировать и с помощью мемристоров. Это, в свою очередь, делает мемристорные системы перспективными для создания компьютеров, работающих по принципу человеческого мозга.

«*На данный момент у мозга гораздо более высокие показатели работоспособности, чем даже у суперкомпьютера. При весе примерно в 1 кг, потребляемой мощности 100 Ватт, рабочей частоте 100 герц человеческий мозг распознает образ за 100 миллисекунд. Для решения аналогичной задачи суперкомпьютеру потребуется месяц, при этом он будет весить 100 тонн, обладать мощностью в десять мегаватт (это около одной пятой мощности Новосибирской ГЭС) и рабочей частотой в миллиард герц. Конечно, энергопотребление мемристорной системы все равно будет больше, чем у мозга, но разница будет не столь велика, как есть сейчас»,* — подчеркивает Владимир Гриценко.

Пресс-служба ИФП СО РАН,

Пресс-служба РНФ

Иллюстрации, автор фото Н. Дмитриева

1. Фрагмент кремниевой пластины с нанесенным на нее мемристорным материалом, созданным на основе нитрида кремния SiNx
2. Несколько фрагментов кремниевых пластин с нанесенным на них мемристорным материалом, созданным на основе нитрида кремния SiNx
3. Старший научный сотрудник ИФП СО РАН Владимир Гриценко
4. 4. Измерение вольт-амперных характеристик тестового образца мемристора