

Может ли диоксид ванадия увеличить мощность транзисторов?

Перевод: Владимир РЕНТЮК

Ученые-материаловеды Университета штата Пенсильвания (Penn State, США) обнаружили путь, позволяющий увеличить производительность транзисторов, — он состоит в использовании нового технологического приема, основанного на включении диоксида ванадия (IV) в качестве функционального диоксида в эти электронные устройства.

«Трудно заменить текущую технологию транзисторов, потому что в области полупроводников проделана уже просто фантастическая работа, — пояснил Роман Энгель-Герберт (Roman Engel-Herbert), доцент кафедры материаловедения и инженерии. — Но есть определенные материалы, например, такие как диоксид ванадия (IV), добавив которые вы сможете сделать работу существующих устройств еще лучше».

Исследователи уже знали, что диоксид ванадия (IV) имеет необычное свойство, именуемое «фазовый переход металл-диэлектрик». В металлическом состоянии электроны движутся свободно, чем обусловлена проводимость тока, а в состоянии диэлектрика (изолятора) электроны течь не могут. Такое включение/выключение перехода, присущее диоксиду ванадия, может использоваться как основа для компьютерной логики и ячеек памяти.

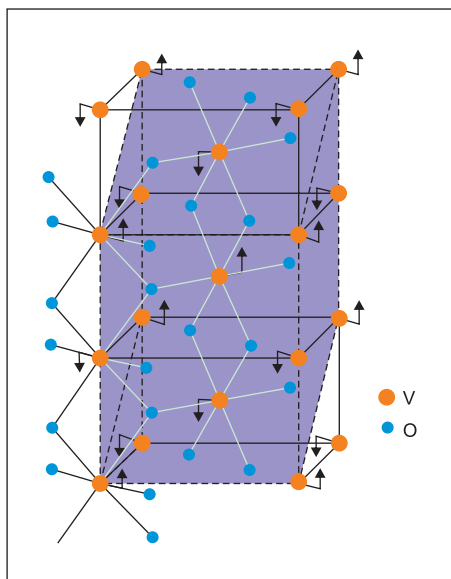


Рис. 1. Схема кристаллической структуры диоксида ванадия VO_2 : показано (черные стрелки) движение ванадия (V) по отношению к ионам кислорода (O) через переход металл-диэлектрик

Специалисты посчитали, что если бы они смогли добавить диоксид ванадия (IV) к кристаллу такого полупроводникового прибора, как транзистор, это повысило бы его производительность. Кроме того, путем добавления диоксида ванадия (IV) в ячейку памяти удалось бы увеличить стабильность и эффективность использования энергии в режимах чтения, записи и удержания информационного состояния конкретной ячейки. Основная проблема, с которой столкнулись исследователи, заключалась в том, что диоксид ванадия (IV) достаточно высокого качества еще никогда не был выращен в виде тонкой пленки в масштабах, необходимых для применения в промышленности, то есть в масштабе полупроводниковых пластин.

Несмотря на то, что диоксид ванадия (IV) как соединение выглядит достаточно просто, его трудно синтезировать. Для того чтобы создать резкий фазовый переход металл-диэлектрик, отношение ванадия к кислороду нужно тщательно контролировать. Когда оно выверено совершенно точно, сопротивление материала увеличится более чем на четыре порядка, чего вполне достаточно для эффективной ответной реакции на включение/выключение проводимости. При низких температурах VO_2 действует как изолятор, но его поведение становится похожим на поведение металла уже при температуре, близкой к комнатной. Изображение (рис. 1) предоставлено Национальной лабораторией Лоренса Беркли (Lawrence Berkeley National Laboratory).

Исследовательская группа Университета штата Пенсильвания представила доклад в интернет-журнале Nature Communications, подтверждающий, что она является первой, кому удалось добиться роста тонких пленок диоксида ванадия (IV) на 3-дюймовых сапфировых пластинах с совершенным отношением один к двум ванадия к кислороду по всей поверхности пластины [1]. Данный материал может быть использован для изготовления гибридных полевых транзисторов — так называемых hyper-FET-транзисторов, что может привести к разработке еще более

энергоэффективных устройств подобного типа. Ранее в этом же году в журнале Nature Communications исследовательская группа, которую возглавляет Суман Датта (Suman Datta), профессор электрического и электронного машиностроения Университета штата Пенсильвания, сделала сообщение о том, что добавка диоксида ванадия (IV) обеспечивает резкое и обратимое обратное переключение при комнатной температуре, уменьшает последствия самонагрева и снижает общие энергетические потребности транзистора.

Имплементация диоксида ванадия (IV) может также найти применение и в существующих технологиях изготовления элементов памяти. Поиски в этом направлении исследователи Университета штата Пенсильвания активно проводят в настоящее время.

«Свойство диоксида ванадия (IV) в виде его фазового перехода металл-диэлектрик может идеально улучшить современный технический уровень энергонезависимой памяти. Это возможно с помощью введения указанного материала в качестве дополнения в ее конструкцию. Весьма интересно, что в некоторых архитектурах памяти он может служить и в качестве селектора», — сказал Сумит Гупта (Sumeet Gupta), доцент кафедры электротехники и руководитель группы лаборатории интегральных схем и устройств Университета штата Пенсильвания.

Такой селектор гарантирует, что чтение или запись информации на чипе памяти делается строго в пределах одной ячейки памяти, без какого-либо влияния на соседние ячейки. Селектор работает, изменяя сопротивление ячейки, что диоксид ванадия (IV) делает весьма эффективно. Кроме того, изменение удельного сопротивления диоксида ванадия (IV) может быть использовано для повышения надежности операции считывания.

«Для того чтобы определить правильное соотношение ванадия к кислороду, мы применили нетрадиционный подход, в котором на сапфировую пластину одновременно наносились диоксид ванадия (IV) с разным соотношением ванадия к кислороду, — сказал Хай-Тян Чжан (Hai-Tian Zhang), доктор

философии и студент группы профессора Энгель-Герберта. — С помощью созданной нами «библиотеки» соотношений ванадия к кислороду мы можем выполнить все необходимые вычисления для определения их оптимального сочетания. Такой подход дает нам идеальное соотношение ванадия к кислороду в полученной пленке, равное один к двум. Новый метод позволит быстро определить оптимальные условия роста пленки для ее промышленного применения, а также избежать долгих и нудных серий экспериментов, идя путем проб и ошибок».

В сотрудничестве с группой профессора Датта из Университета штата Пенсильвания и Университетом Нотр-Дам (Notre Dame, штат Индиана, США), этим методом были выращены тонкие пленки диоксида ванадия (IV), которые впоследствии были использованы для изготовления сверхвысокочастотных переключателей, технология изготовления которых чрезвычайно важна для систем связи. Переключатели с диоксидом ванадия (IV) показали предельные частоты коммутации на порядок выше, чем у обычных устройств. Результаты этой работы будут представлены на международной



Рис. 2. Покрытие 3-дюймовой сапфировой пластины атомами ванадия (синий) и молекулами, содержащими диоксид ванадия (IV) (оранжевый)

конференции по электронным приборам Института инженеров по электротехнике и электронике — IEEE. На этом ведущем форуме, который состоится в декабре 2015 года, специалисты обычно делают доклады о технологических прорывах в области полупроводниковых и электронных приборов.

«Мы начинаем понимать, что класс материалов, обладающих этой реакцией в виде включения/выключения, может быть весьма полезным в различных применениях в области информационных технологий, таких как повышение надежности и энергетической эффективности циклов чтения/записи и вычислительных операций в памяти, логики, а также в устройствах связи, — сказал Энгель-Герберт. — Если удастся нанести высококачественный диоксид ванадия (IV) по всей поверхности в масштабе целой пластины, то можно будет предложить множество прекрасных идей о том, как это использовать».

Рис. 2 иллюстрирует идею, использованную для отработки технологии нанесения слоя диоксида ванадия с заданным соотношением ванадия и кислорода. Здесь атомы ванадия (синий) и молекулы, содержащие диоксид ванадия (IV) (оранжевый), покрывают 3" сапфировую пластину [2].

Литература

1. www.nature.com/ncomms/2015/150807/ncomms8812/full/ncomms8812.html
2. www.mri.psu.edu/news/2015/power-boost.asp