

УДК 54.01

МАГНИТНЫЙ СИЛИЦЕН – МАТЕРИАЛ ЭЛЕКТРОНИКИ БУДУЩЕГО

MAGNETIC SILICENE-THE MATERIAL OF ELECTRONICS OF THE FUTURE

Г.В. ГРЕБЕНИК – бакалавр, Институт информационных технологий и радиоэлектроники, кафедра БЭСТ, группа РЭ-117, E-mail: gal-ya.grebenik@inbox.ru

G. V. GREBENIK-bachelor's degree, Vladimir state university, E-mail: gal-ya.grebenik@inbox.ru

Аннотация: Описаны причины поиска нового материала, какой это материал, и его свойства. Каким требованиям должен отвечать магнитный силицен. Что такое спинтроника, и как она связана с найденным материалом.

Abstract: the reasons for searching for a new material, what kind of material it is, and its properties are Described. What requirements must meet the magnetic silicene. What is spintronics, and how it is related to the found material.

Ключевые слова: кремниевая технология, развитие, спинтроника, кремниевая спинтроника, двумерный, магнитный, интегрируемый, графен, силицен.

Keywords: silicon technology, development, spintronics, silicon spintronics, two-dimensional, magnetic, integrable, graphen, silicene.

В быстром темпе нашей жизни, порой, нет времени на минутку остановиться и задуматься над тем, что любую мелочь или усовершенствование должен был кто-то создать, изобрести, приспособить для всеобщего пользования. Мы настолько привыкли пользоваться результатами их труда, требующего больших усилий, порой самопожертвования, что воспри-

нимаем технический прогресс как само собой разумеющееся, не интересуясь историей создания отдельных изобретений.

Информационные технологии развиваются так быстро, что не всегда человек успевает понять, что произошло и зачем. Мгновенье, и мир будет не узнать. А почему так может произойти? Потому что люди изучают, узнают, открывают новые материалы с новыми свойствами.

Кремниевая технология, которая лежит в основе всех информационных технологий: компьютеров, телефонов и других устройств, в настоящее время подходит к своему физическому пределу. Последние 50 лет развитие информационных технологий на базе кремниевой технологии осуществлялось в основном путем миниатюризации элементов— транзисторов, интегральных схем, элементов памяти. При этом количество транзисторов на единицу площади, согласно так называемому закону Мура, в среднем удваивалось каждые два года. Так продолжалось на протяжении нескольких десятилетий, и наконец боковые размеры элементов подошли к определенному пределу. Речь о том, что в силу фундаментальных физических ограничений перестают работать принципы, положенные в основу действия устройств на базе кремния.

Таким образом, во-первых, уменьшение до наноразмеров привело к тому, что основная работа транзистора, а именно переключение состояний «включено/ выключено», перестает работать. И, во-вторых, в результате миниатюризации элементов микроэлектроники на единицу площади их оказалось настолько много, что тепловыделение не позволяет им функционировать в должном режиме. Эти обстоятельства определяют необходимость поиска новых направлений, материалов и принципов работы элементов интегральных схем.

Те фундаментальные пределы, к которым подошла кремниевая электроника, заставляют разработчиков микроэлектронных устройств

искать иные пути. Выделены два направления — туннельные транзисторы и спинтроника — как альтернативы кремниевой электронике на ближайшие десятилетия.

Обычно принцип работы устройств электроники предполагает перенос заряда электрона. Это сопровождается нагреванием материала, большим тепловыделением, что не позволяет осуществить дальнейшее масштабирование элементов. Спинтроника основывается на другом фундаментальном свойстве электрона — его спине, то есть собственном моменте импульса, который может в определенных условиях осуществлять одно из двух состояний — вверх или вниз. На этом свойстве основывается принцип «включения/выключения». Переворот спина электрона сопровождается очень малым выделением энергии, и это преимущество может оказаться решающим в процессе конкуренции той или иной технологии в микроэлектронике. Таким образом, гонка к гигагерцам заменяется на гонку в сторону ограничения тепловыделения. С одной стороны, значительное уменьшение тепловыделения позволит компенсировать возможное уменьшение тактовой частоты и общей производительности, что особенно важно для массивных вычислений. С другой стороны, фокус сдвигается в сторону облачных технологий, а также мобильных устройств, работающих в условиях ограниченной мощности.

Итак, человечеству необходимо создать кремниевую спинтронику.

Дело в том, что кремниевая технология планарная, то есть двумерная, а это значит, что нужно искать новые технологии, которые были бы тоже двумерными. Поскольку спинтроника основана на динамике спина, а спин связан напрямую с магнитным полем, новый материал должен быть магнитным.

Таким образом, материал должен отвечать следующим требованиям: двумерный, магнитный, интегрируемый в кремниевую технологию. Имен-

но такой материал, и есть магнитный силицен. Что он из себя представляет?

Всем известен графен. По структуре он представляет собой двумерный материал, который в планарном виде выглядит как соты. В узлах решетки графена находятся атомы углерода. Но графен не обладает магнетизмом, и в этом его недостаток – наряду с его уникальными преимуществами.

Существует структурный аналог графена – силицен, где в узлах решетки вместо атомов углерода находятся атомы кремния. Таким образом осуществляется интеграция с кремниевой технологией. Но ведь кремний тоже немагнитен? Если силицен интеркалировать (то есть обратимое включение молекулы или группы между другими молекулами и группами) магнитными ионами, а в данном случае использовали ионы гадолиния и европия, то его можно сделать магнитным, двумерным и, соответственно, интегрированным с кремнием. Осуществляется реакция в высоком вакууме: на подложку кремния направляется поток атомов гадолиния либо европия, и при определенной температуре идет химическая реакция с образованием многослойной структуры — слой гадолиния, слой силицена, опять слой гадолиния, слой силицена. Получается такой двумерный ферромагнитный «слоеный пирог» — уникальный материал, отвечающий всем заявленным выше требованиям. Ничего подобного в мире нет. Это российская разработка, осуществленная на базе Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ).

Сейчас трудно сказать, какова будет его судьба. Дело в том, что не только магнитные, но и транспортные свойства этого материала сильно зависят от количества его слоев. Как это и требуется в двумерности, создатели работают на уровне монослоев, то есть на подложке кремния оказыва-

ются один монослой материала, два, три. Научились выращивать определенные наборы слоев и, таким образом, манипулировать транспортными свойствами структуры.

Необходимо повышать температуру ферромагнитного перехода (в настоящее время она составляет порядка 50 градусов Кельвина), доводить ее до комнатной, чтобы можно было конкурировать с нынешней микроэлектроникой.

Поскольку материал только недавно создан, необходимо исследовать его свойства и расширять класс такого рода материалов — других силицидных ферромагнетиков.

Основная область его применения — это кремниевая спинтроника, которая в перспективе может оказаться альтернативой ныне существующей кремниевой электронике.

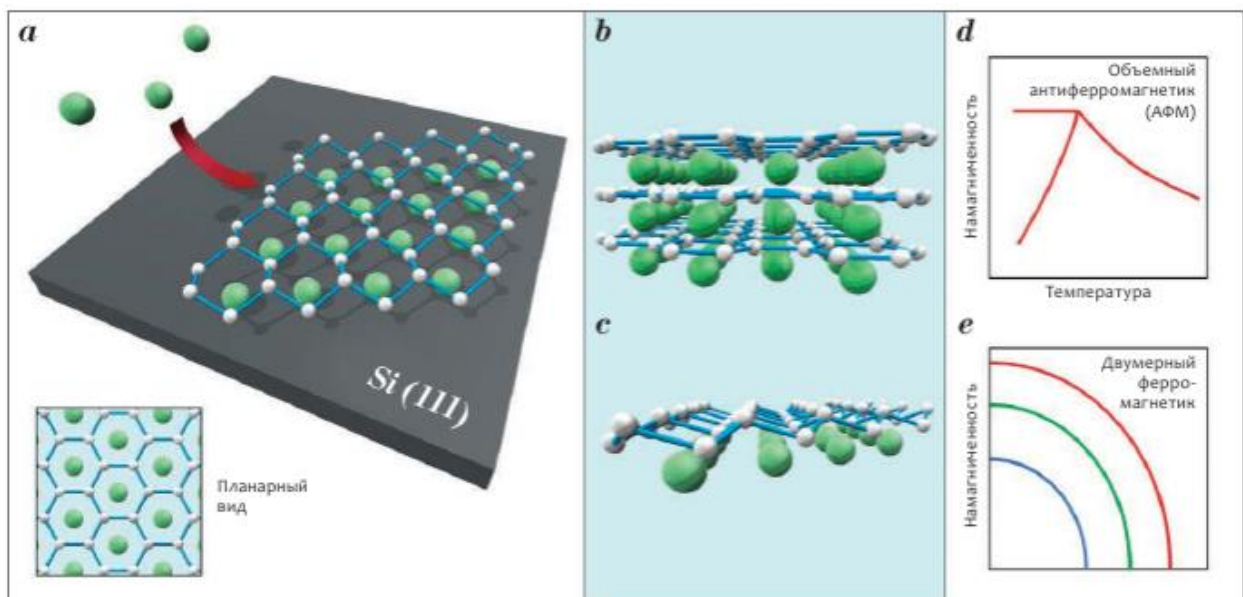


Рисунок 1 – Схематическое представление экспериментов

Объяснение к рисунку 1: а) синтез силицидных структур на установке молекулярно-лучевой эпитаксии на кремниевой подложке с ориентацией SI(III); б) в результате возникает многослойный силицен; в) однослойный силицен; в зависимости от числа слоев происходит переход от объемного антиферромагнитного состояния (d) к ферромагнитному (e); температура

ферромагнитного перехода имеет характерную зависимость от магнитного поля (е).

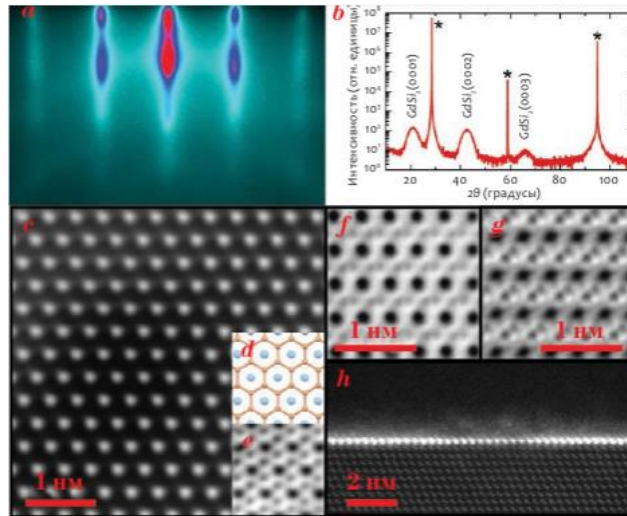


Рисунок 2 – Исследование структурных свойств материала

Обоснование рисунка 2: а) спектр дифракции быстрых электронов в пленке толщиной 4 монослоя $GdSi_2$; б) спектр рентгеновской дифракции пленки толщиной 4 монослоя $GdSi_2$. Электронная микроскопия высокого разрешения – видна сотовая структура материалов: с) вид сверху решетки $GdSi_2$ (темнопольное изображение); д) схематическое изображение вида сверху; е) вид сверху (светлопольное изображение) решетки $GdSi_2$; ф) поперечное сечение решетки $GdSi_2$; г) поперечное сечение решетки $EuSi_2$; х) темнопольное изображение 1 монослоя $GdSi_2$.