

СРАВНЕНИЕ ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТРАНЗИСТОРАХ

Кудин И. С. гр.272301, Громыко М. Р. гр.272601

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Смирнова Г.Ф. – доцент кафедры физики, канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. Данный доклад посвящен вопросу будущего использования двумерных материалов в нанoeлектронике на примере графена и силицена, описываются перспективы и препятствия в интеграции этих материалов в полевые транзисторы. Также обращается внимание на сравнение графена и силицена, различие и схожесть их свойств, делается вывод о более перспективном материале для применения в ближайшем будущем.

В условиях активного процесса миниатюризации даже ведущие производители вычислительных чипов вплотную подошлись к фундаментальным ограничениям в размере транзистора, после которого его элементы не смогут эффективно работать из-за преобладания нежелательных квантовых явлений [1]. По этой причине активно исследуются возможности использования двумерных неметаллов в качестве полупроводников для транзисторов нового типа, способных значительно превзойти в производительности традиционные транзисторы на кремнии.

Одним из таких материалов является графен. Графен – это аллотропная модификация углерода, представляющая собой двумерную решетку, состоящую из правильных шестиугольников. Он является основой для распространенных форм углерода, таких как графит, алмаз или фуллерены. Также графен используется для создания нанотрубок, которые обладают огромной прочностью натяжения. Получить графен удалось еще в 1970 году с помощью наращивания на металлической поверхности, но только в 2004 году этот материал был изолирован и экспериментально описан с точки зрения физики[2].

Графен является перспективным кандидатом для использования в транзисторах благодаря высокой подвижности зарядов в решетке. Используя тонкие графеновые ленты в каналах транзистора, возможно добиться ощутимого прироста переключаемости затвора, а следовательно и огромного прироста тактовой частоты, вплоть до нескольких терагерц при правильном подборе напряжения на затворе[3]. Более того, такие транзисторы будут иметь значительно большую энергоэффективность в сравнении с транзисторами на кремнии из-за меньшего электрического сопротивления графена[4].

Однако главная проблема по-прежнему остается в крайне дорогом процессе получения графена, так как до сих пор не были изобретены дешевые, эффективные и экологичные методы его производства в промышленных масштабах. По нынешний день основными способами выработки графена являются химическое расщепление графита галогенами и солями металлов и окисление графита и последующим его восстановлением. Оба способа требуют использования большого количества воды и сильных химикатов, что ограничивает дальнейшее распространение производства. Тем не менее, активно разрабатываются новые способы его получения, к примеру точное иглофрезерование графита и расщепление его в центрифугах[5].

Тем временем, параллельно с графеном идут исследования по применению другого двумерного материала с похожими свойствами – силицена.

Силицен, представляет собой атомарный слой кремния. Впервые силицен был получен методом молекулярно-лучевой эпитаксии на серебряной подложке. Свойства силицена схожи со свойствами его углеродного «родственника» графена. Например, носители заряда обладают таким же линейным законом дисперсии, как и в графене. Важным свойством силицена является большая химическая стабильность по сравнению с графеном. Другими словами, у графеновой полоски атомы углерода, находящиеся на краях, химически более активны, чем такие же атомы в полоске кремния. Это означает, что разрушить силицен намного сложнее, чем графен[6].

Силицен является аллотроп кремния, точно так же, как графен является аллотропом углерода, и состоит только из атомов кремния (одноатомных). В отличие от других двумерных материалов, таких как графен, силицен не является строго плоским, он имеет изогнутую сотовую поверхность.

Сравнив силицен с графеном мы можем наблюдать, что в отличие от графена силицен не является полностью плоским.

Силицен имеет запрещенную зону, что делает его пригодным для использования в новых транзисторах. Графен, с другой стороны, является полуметаллом и не имеет запрещенной зоны.

Силицен удобнее интегрировать в электронные устройства по сравнению с графеном, особенно для небольших и дешевых электронных устройств. Это связано с тем, что его можно легко интегрировать в линии по производству кремниевых чипов.

Однако, по сравнению с другими 2D-материалами, силицен широко не изучается и не производится, потому что его гораздо сложнее создать, чем любой 2D-материал, такой как графен.

Исходя из этого мы можем сделать, что развитие материалов не стоит на месте, однако на примере силицена, который имеет множество преимуществ перед графеном, мы видим, что графен остаётся той основной базой к которой продолжают ссылаться.

Список использованных источников:

1. Бреус, А.И. Оценка минимальных размеров локальных областей наноразмерного кристалла, при которых применимы классические понятия о работе транзистора / *Инфокоммуникационные технологии*, 2007. – С.22-25
2. Дьяковская, А.В., Телекова Л.Р. Графен: свойства, получение, перспективы применения / *Достижения науки и образования*, 2018. – 3 с.
3. Давидович М.В., Глухова О.Е., Слепченко М.М. Терагерцевый транзистор на основе графена / *Известия саратовского университета. Новая серия. Серия: физика*, 2017. – С.44-54
4. Муравьев В.В., Мищенко В.Н. Влияние одиночного слоя графена на характеристики полевого транзистора / *Материалы и структуры современной электроники*, 2018. – С.82-85
5. Журавлев В.В., Дудаков В.Б. Способ получения графена / *Патент: RU 2570069 C1*, 2015.
6. УДК 538.958 DOI 10.25587/SVFU.2022.89.60.006 Е. П. Шарин, Н. Я. Муксунов Структурные и электронные свойства гетероструктуры графен/силицен