

Моделирование выходных характеристик полевых транзисторов на однослойном графене

М. В. Харевич

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

Графен находится в центре постоянно расширяющейся области исследований. Оптические, электрические и механические свойства графена идеально подходят для создания микро- и наномеханических систем, прозрачных и роводящих электродов и фотоники. Графен по сравнению с известными полупроводниковыми материалами обладает рядом уникальных свойств, что позволяет на его основе создавать перспективные приборные структуры наноэлектроники. На сегодняшний момент не существует промышленного способа получения графена, но предполагается, что его хорошая проводимость поможет создать транзисторы с высокой подвижностью носителей и по этому показателю превзойти подвижность в полевых транзисторах на основе кремниевой технологии.

Ключевые слова: графен, полевой транзистор, выходные характеристики, моделирование, однослойный графен, многослойный графен, передаточные характеристики.

Графен – это однослойный материал, состоящий из углерода, который обладает уникальными свойствами, такими как высокая электропроводность, высокая прочность и гибкость. Из-за этих свойств, графен имеет потенциал для использования в микро и наноэлектронике.

Одной из перспектив использования графена является создание новых поколений транзисторов. Транзисторы на основе графена могут работать на более высоких частотах, иметь большую скорость переключения и быть более энергоэффективными, чем традиционные кремниевые транзисторы. Графен имеет очень маленькую длину свободного пробега для электронов. Это означает, что электроны могут быстро перемещаться через материал, что позволяет создавать транзисторы с очень маленьким временем реакции.

Графен также может использоваться для создания более эффективных и компактных микрочипов, так как он может быть использован для создания более маленьких транзисторов и других компонентов электронных устройств. Еще одним потенциальным применением графена является создание новых видов сенсоров. Графен может быть использован для создания сенсоров, которые могут обнаруживать газы, химические вещества и другие загрязнители в окружающей среде. Кроме того, графен может использоваться в микроэлектронике для создания электродов и других компонентов, которые могут использоваться в электронных устройствах, таких как солнечные батареи, батареи и дисплеи.

Однако, несмотря на все перспективы использования графена в микро и наноэлектронике, до сих пор его промышленное производство и применение ограничены из-за технологических сложностей и высокой стоимости производства. На данный момент графен является одним из самых перспективных материалов с точки зрения своих свойств, как оптических, так и электрических и электромеханических, что позволяет на его основе создавать приборы с перспективными характеристиками, однако на данном этапе приборы на основе графена содержат некоторые минусы, как пропускание тока в закрытом состоянии [3].

Расчеты выходных характеристик полевого транзистора на однослойном графене проводились с применением комбинированных моделей [1,2]. Программы, реализующие модель, являются частью программного комплекса NANODEV, разрабатываемую в БГУИР с 1995 г. [1,2].

На рис. 1 представлено влияние температуры на выходные характеристики полевого транзистора на однослойном графене. Измерения были проведены при постоянном напряжении на стоке $V_d = 0,4$ В и при различной температуре, изменяющейся на 20 К в диапазоне 280 – 340 К.

Исходя из проведенных измерений выявлена зависимость выходных характеристик от температуры. Как видно из графика при повышении температуры увеличивается и плотность тока, а также увеличивается напряжение Дирака для верхнего затвора, при котором наблюдается минимальное пропускание тока в полевом транзисторе на однослойном графене. Подобного рода исследования позволяют путём моделирования и низких затрат определить рентабельность производства практических экземпляров, а также заранее выявить влияние тех или иных свойств на заданный транзистор, что позволяет получать экспериментально приборы с заданными свойствами.

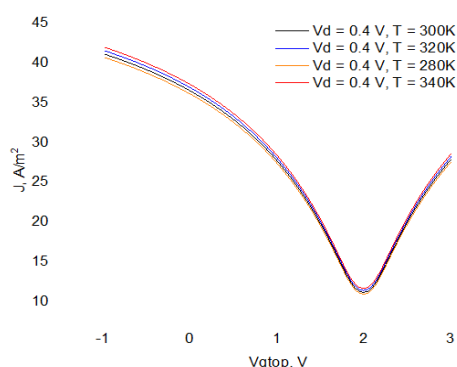


Рис. 1. Выходные характеристики полевого транзистора на однослойном графене

Несмотря на многообещающие свойства графена, есть несколько основных минусов, которые могут ограничить его использование в производстве микроэлектроники. Производство графена требует очень высоких технологических требований и дорогостоящего оборудования. Также существует проблема с качеством и чистотой полученного графена, что может влиять на производительность конечного продукта. Отсутствие запретной зоны – графен является полупроводником с нулевой запретной зоной, что делает его не подходящим для создания конденсированных структур, таких как транзисторы с положительным и отрицательным типами проводимости. Нестабильность – графен очень чувствителен к окружающей среде и может легко деградировать под воздействием влаги, тепла и других факторов, что делает его неустойчивым и не надежным материалом для использования в микроэлектронике. На данный момент нет единой технологии для производства графена, что означает, что каждый производитель должен разрабатывать свои собственные методы производства и оптимизировать их под свои нужды. Это усложняет стандартизацию и масштабирование производства графена [3].

В целом, графен имеет огромный потенциал для использования в микроэлектронике и нанoeлектронике, но на данный момент есть ряд технологических и экономических проблем, которые ограничивают его применение в промышленности. Развитие технологий моделирования позволит избежать лишних затрат в будущем.

Список источников

- [1] **Абрамов, И. И.** Основы моделирования элементов микро- и нанoeлектроники / И. И. Абрамов. – Germany, Saarbrücken, 2016. – 444с.
- [2] **Абрамов, И. И.** Моделирование полевых графеновых транзисторов с одним и двумя затворами / И. И. Абрамов и др. // Нано- и микросистемная техника. – 2017. – С 714 – 717.
- [3] **F. Schwierz.** Graphene transistors. Nature Nanotech. – 2010. – Vol.5. – P.487 – 496.