

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 543.428.4

Михалик
Михаил Михайлович

Стоксово и антистоксово комбинационное рассеяние света в графене

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы в
электронике»

Научный руководитель
Комиссаров Иван Владимирович
Кандидат физ.-мат. наук

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение плотности располагаемых элементов микроэлектроники, их миниатюризация, а также, вследствие этого, увеличение рассеиваемой мощности на единице площади кристалла требует более тщательного подхода к проектированию систем термического менеджмента, который основан как на оптимизации топологии, так и термических свойств используемых материалов. Вышеуказанный подход требует достоверной и более детальной информации распределения температуры в исследуемых объектах. Такую информацию позволяет получать инфракрасная спектроскопия. Однако, с помощью этого метода возможно наблюдать распределение тепла как двумерную картину, без выделения определенных слоев в объекте. В отличие от инфракрасной спектроскопии рамановская термометрия позволяет определять нагреваемые слои, состоящие из различных рамановски активных материалов, и измерять их температуру.

Спектроскопия комбинационного рассеяния света позволяет по установленной связи с параметрами полос полученного спектра определять температуру рамановски активного материала, который составляет электронный компонент. С помощью измерения положения полос спектра, в основном, стоксового рассеяния света и отношению интенсивности полос спектра стоксового рассеяния к интенсивности полос спектра антистоксового рассеяния света определяют температуру исследуемого объекта. Каждый из методов имеет определенные недостатки и отличительные особенности, которые зависят от физических характеристик исследуемых материалов.

В данной магистерской диссертации в качестве исследуемого объекта использовался графен – материал, обладающий исключительными свойствами для систем термического менеджмента, такими как двумерность и высокая теплопроводность. Используемый графен был получен химическим осаждением из газовой фазы и перенесен на целевую подложку для последующих измерений.

Цель данной магистерской диссертации – определить и показать отличительные особенности измерения температуры с помощью отношения полос стоксового и антистоксового рассеяния спектров комбинационного рассеяния света в графене.

Магистерская диссертация выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности соответствует норме, установленной кафедрой микро- и нанoeлектроники. Цитирования обозначены ссылками на публикации, указанные в «Списке использованных источников». Скриншот приведен в приложении.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Увеличение плотности располагаемых элементов микроэлектроники, их миниатюризация, а также, вследствие этого, увеличение рассеиваемой мощности на единице площади кристалла требует более тщательного подхода к проектированию систем термического менеджмента, который основан как на оптимизации топологии, так и термических свойств используемых материалов. Вышеуказанный подход требует достоверной и более детальной информации распределения температуры в исследуемых объектах. Таковую информацию позволяет получать инфракрасная спектроскопия. Однако, с помощью этого метода возможно наблюдать распределение тепла как двумерную картину, без выделения определенных слоев в объекте. В отличие от инфракрасной спектроскопии рамановская термометрия позволяет определять нагреваемые слои, состоящие из различных рамановски активных материалов, и измерять их температуру.

Цели и задачи исследования. Цель данной магистерской диссертации — выработать экспериментальный подход по определению температуры методом отношения интенсивности полос стокс/антистокс спектров комбинационного рассеяния света (КРС) в графене.

Для достижения цели, поставленной в данной магистерской диссертации, необходимо решить следующие задачи:

- Провести синтез методом химического осаждения из газовой фазы графена и осуществить его перенос на целевую подложку, изучить его структуру;
- Разработать держатель для оптических режекторных фильтров и модифицировать конфокальную микрорамановскую систему для детектирования стоксового и антистоксового рассеяния спектров КРС;
- Произвести измерения профиля температурного поля, создаваемого ассистирующим лазером, в подвешенном графене методом отношения интенсивностей стокс/антистоксовых полос спектров КРС и методом сдвига положения полос спектров КРС;
- Определить основные факторы, влияющие на определение температуры по отношению интенсивности стокс/антистоксовых полос спектров КРС и по сдвигу положения полос спектров КРС;
- Сравнить температурные профили, полученные методом отношения интенсивностей стокс/антистоксовых полос спектров КРС, с методом сдвига положения полос спектра КРС в графене.

Объектом исследования является графен, синтезированный методом химического осаждения из газовой фазы и подвешенный над сквозным отверстием диаметром 100 мкм медной подложки.

Предметом исследования является определение температуры в графене с помощью измерения отношения интенсивностей стокс/антистокс полос спектров комбинационного рассеяния света.

Область исследования: Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 81 03 «Нанотехнологии и наноматериалы в электронике».

Научная новизна диссертационной работы заключается в определении стокс/антистоксового взаимодействия в твистированном графене с последующей возможностью использования данного эффекта при создании квантовой памяти на фоновых.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Сравнение профилей распределения температурного поля, индуцированного ассистирующим лазерным излучением (532 нм), полученных методами основанными на смещении положения полос и на измерении относительной интенсивности стокс/антистоксовых полос спектров комбинационного рассеяния света, в подвешенном двухслойном графене показало, что для области образца, соответствующему максимуму лазерного излучения (5 мВт) разница определенной температуры (~100°C) отличается на порядок от разницы для остальных областей (~10°C).

Личный вклад магистранта заключается в проведении анализа литературы, синтеза графена методом химического осаждения из газовой фазы, модификации установки микрорамановской спектроскопии, измерении профиля температуры в графене с помощью метода отношения стокс/антистоксовых полос КРС и сдвига положения полос спектров КРС.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были представлены на конференциях: 55-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. БГУИР, 10-я международная научно-практическая конференция по физике и технологии наногетероструктурной СВЧ электроники «Мокеровские чтения», Москва, 15-16 мая 2019 г. НИЯУ «МИФИ».

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, библиографического списка. Общий объем диссертации – 65 страниц. Работа содержит 2 таблицы, 39 рисунков. Библиографический список включает 38 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении описано современное состояние проблемы термографии интегральных схем, в частности отсутствия измерения температуры отдельных материалов компонентов интегральной схемы; определены основные направления исследования, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В общей характеристике работы сформулированы цели и задачи диссертационной работы, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлено положение, выносимое на защиту, приведены сведения об апробации результатов диссертационной работы.

В первой главе рассматриваются общие сведения о термографии интегральных схем. Рассмотрены и описаны основные методы термографии.

Во второй главе описан принцип комбинационного рассеяния света, а также описана зависимость характеристик полос комбинационного рассеяния света от температуры измеряемого объекта, рассмотрена физический принцип данных явлений

В третьей главе описана экспериментальная часть синтеза образца, исследование его оптических характеристик и подготовка к измерениям рамановской термометрии.

В четвертой главе описана экспериментальная часть модификации установки микрорамановской спектроскопии, описан принцип определения температуры в образце методом рамановской термометрии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы был синтезирован графен методом химического осаждения из газовой фазы.

Методом просвечивающей оптической спектроскопии и спектроскопией комбинационного рассеивания света (КРС) установлено, что синтезированный графен является двуслойным со скрученной структурой.

Осуществлен перенос графена на целевую подложку со сквозным отверстием диаметром 100 мкм.

Разработан и изготовлен переходник для оптических режекторных фильтров (633 нм). Также, произведена модификация оптического пути установки SOL Instruments NR500 микрорамановской спектроскопии, позволяющая записывать стокс/антистоксовые спектры КРС.

Экспериментально установлен инструментальный коэффициент для определения температуры по соотношению интенсивностей полос стокс антистокс КРС в диапазонах длин волн 575 ± 3 нм и 703 ± 3 нм, включающих исследуемую G полосу стокс/антистокс КРС.

Проведены измерения температурного профиля по отношению интенсивностей полос спектров стоксового/антистоксового КРС, а также по сдвигу положения полос КРС подвешенного графена, нагреваемого внешним лазерным излучением с длиной волны 532 нм. Выявлена разность в определении температуры, полученная с помощью вышеописанных методов, для области образца соответствующему максимуму мощности нагревающего излучения. Дано качественное объяснение наблюдаемому различию, основанное на учете напряжений, возникающих в графене вследствие термического расширения.

Анализ полученной зависимости отношений интенсивностей стокс/антистокс КРС как функции мощности возбуждающего лазерного излучения показал отсутствие значительного стокс/антистокс взаимодействия. Этот факт, предположительно, объясняется отличием энергии фотонов возбуждающего лазера (1,96 эВ) от разности энергий особенностей Ван Хофа в электронном спектре плотности состояний исследуемого твистированного графена (2,62 эВ).

Полученные результаты могут быть использованы при создании квантовой памяти на фонах на основе создания твистированного графена с заданным углом поворота.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Михалик М. М. и др. О возможности определения степени легирования графена по спектрам комбинационного рассеяния света //Журнал прикладной спектроскопии. – 2017. – Т. 84. – №. 6. – С. 915-919.

[2] Mikhalik M. M. et al. Possibility of determining the graphene doping level using Raman spectra //Journal of Applied Spectroscopy. – 2018. – Т. 84. – №. 6. – С. 995-998.

[3] Mikhalik M. M. et al. Local laser annealing of 3C-SiC film deposited on the silicon substrate by CVD //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Т. 475. – №. 1. – С. 012036.

[4] Михалик М. М. и др. Влияние глубокого измельчения пиролитического графита на кристаллическую структуру его хлопьев и синтез из них оксида графена //Мокеровские чтения. – 2019. – С. 95-96.

Библиотека БГУИР