ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата физико-математических наук Сысоева Сергея Сергеевича на диссертацию Калеевой Анжелики Алексеевны на тему: «Плазменно-дуговой синтез углеродных и кремниевых наноструктур», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.9 - Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы

Газоразрядная плазма широко применяется для синтеза углеродных наноструктур. В последние годы стали появляться работы, в которых сообщалось о возможности использования газоразрядной плазмы также для синтеза полупроводниковых наноструктур. Однако для осуществления синтеза полупроводниковых наноструктур в электродуговой плазме требуется провести комплексное, как теоретическое, так и экспериментальное, изучение условий синтеза подобных структур. Особое внимание следует уделить температурному полю плазмы дугового разряда, а также температуре электродов и стенок реакционной камеры. Зная эти данные, можно определить место, где возможен синтез той или иной наноструктуры. Большое значение имеет также расположение электродов, материалы электродов, плазмообразующий газ, величина тока.

Совокупность научных данных об условиях синтеза полупроводниковых наноструктур позволит осуществить технологический процесс синтеза наноструктур с заданными свойствами. Поэтому актуальность темы диссертационной работы, посвященной как исследованиям электродуговой плазмы в процессах синтеза наноструктур, так и плазмохимическому синтезу углеродных и кремниевых наноструктур не вызывает никаких сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения и выводы диссертации, сформулированные в диссертации, находятся в согласии с современными научными данными из литературных источников, подтверждаются апробацией на международных и всероссийских конференциях, а также в рецензируемых журналах.

Материалы, по результатам проведенных исследований отражены в 52 научных публикациях, 7 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 17 – в рецензируемых журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science, доложены на многочисленных конференциях Всероссийских и Международных конференциях.

Использование апробированных научных методов и соответствие полученных новых результатов известным научным положениям подтверждает достоверность полученных результатов.

Научная новизна диссертационного исследования определяется тем, что:

- создана физико - математическая модель дугового разряда применительно для синтеза углеродных и кремниевых наноструктур;
- проведены численные исследования по определению параметров плазмы дугового разряда в межэлектродном пространстве;
- выявлены особенности формирования наноструктур в различных областях газоразрядной плазмы;
- впервые плазменно-дуговым методом получены кремниевые наноструктуры специфической архитектуры.

Распределение основных параметров дуговой плазмы в межэлектродном и прилегающем пространстве определялось путем численных расчетов с использованием пакета программ Comsol Multyphysics. Теоретическая модель основана на полностью неравновесном приближении и включает в себя уравнения баланса концентраций заряженных частиц, уравнения баланса

энергий электронов и тяжелой компоненты плазмы и уравнения Пуассона для описания самосогласованного электрического поля. В результате численного исследования системы уравнений, описывающей электродуговой разряд, получены пространственные распределения основных характеристик дугового разряда, таких как потенциал и напряженность электрического поля, концентрации электронов и ионов, температуры газа. Поскольку синтез любых наноструктур происходит только в определенном диапазоне температур и электрофизических параметров, то сформулированная модель и проведенные численные эксперименты являются удобным прогностическим инструментом, позволяющим наиболее эффективным способом организовывать реальный физический эксперимент.

В целом диссертация представляет собой завершенный научный труд и вносит несомненный вклад в исследования дугового разряда, как инструмента для синтеза наноструктур.

Структурно диссертация объемом 137 страниц состоит из введения и 4 глав, заключения, списка используемых источников информации, приложения. Выводы приведены в конце каждой главы.

Во введении обоснована актуальность работы, приведены определения объекта и предмета исследования. Сформулированы научная новизна работы, методология исследования, перечислены полученные результаты и положения, выносимые на защиту.

В первой главе описаны различные способы генерации низкотемпературной плазмы для возможности синтеза наноструктур различных материалов. Представлены различные инструменты для плазмохимического синтеза наноструктур с описанием их преимуществ и недостатков. Подробно рассмотрены основные виды разрядов, используемые для генерации низкотемпературной плазмы в процессе синтеза наноструктур, такие как: тлеющий разряд, магнетронный разряд, дуговой разряд.

Во второй главе посвящена теоретическому исследованию характеристик дугового разряда. Приведены основные уравнения

математической модели дугового разряда для численного решения в программе Comsol. Описаны основные параметры межэлектродного пространства, непосредственно влияющие на образование наноструктур в плазме дугового разряда. В результате численного исследования системы уравнений получены пространственные распределения потенциала и напряженности электрического поля, температуры газа, концентраций носителей заряда электродугового разряда.

Третья глава посвящена методике синтеза углеродных наноструктур плазменно-дуговым методом при изменении внешних параметров, таких как давление, подаваемая сила тока и межэлектродное расстояние. Синтезированные наноструктуры исследовались на сканирующем электронном микроскопе, и полученные данные были приведены в виде фотографий.

В четвертой главе описываются эксперименты по плазменно-дуговому синтезу кремниевых нанотрубок и нанонитей в воздушной среде и в среде аргона. Проведены комплексные исследования условий применения электродуговой плазмы для синтеза кремниевых наноструктур. Определены параметры электрической дуги в аргоне, такие как величина тока и напряжение на разряде, давление газа, которые позволяют осуществить синтез наноструктурированного кремния различной морфологии.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

В целом, диссертационная работа Калеевой Анжелики Алексеевны производит хорошее впечатление. Представленные научные результаты обладают новизной, а именно, в диссертационной работе для синтеза кремниевых и углеродных наноструктур использован плазменно-дуговой метод, основанный на проведенных в диссертационной работе расчетных данных, который позволил получить наноматериалы совершенно различного строения.

При общей положительной оценке диссертации, по ней следует высказать ряд замечаний:

1. Обзорная часть диссертационной работы занимает около 30 процентов всего объема диссертации. Описание некоторых работ, на мой взгляд, представлено излишне подробно. Достаточно было бы представить только новизну и основные результаты, описываемых работ.
2. Автор диссертации пишет, что откачка вакуумной камеры производилась только форвакуумным насосом, поэтому остаточные примеси воздуха могли сильно повлиять на состав, получаемых наноструктур, их природу. К сожалению, в диссертационной работе не приведены результаты элементного анализа полученных образцов наноструктур несмотря на то, что данные исследования проводились. Данные о составе полученных наноматериалов, позволили оценить чистоту проведенных экспериментов.
3. В диссертационной работе не полностью раскрыты преимущества дугового метода в сравнении с остальными методами синтеза наноструктур, в том числе, например, и в плазме тлеющего разряда атмосферного давления.
4. В теоретических расчетах температуры поверхности катода и анода задаются постоянными величинами, хотя Казанской научной школе по физике плазмы, представителем которого является соискатель, уже был опубликован ряд работ, в которых температура тяжелой компоненты плазмы в разрядном промежутке и температура в теле электродов определялись в едином вычислительном цикле, другими словами, температурные поля определялись самосогласованным образом. Насколько сильно изменились бы результаты расчетов, если бы автор диссертации учел этот момент?

Указанные замечания не являются принципиальными, они не противоречат основным выводам, сформулированным в работе, и не уменьшают научную значимость выполненного исследования.

Заключение

Диссертационная работа А.А. Калеевой «Плазменно – дуговой синтез углеродных и кремниевых наноструктур» является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой, написанной на актуальную тему, характеризующейся элементами научной новизны, теоретической и практической значимостью, вносящей определенный вклад в исследование плазмы дугового разряда и решение задач синтеза наноструктурированных материалов.

Содержание опубликованных работ и автореферат раскрывают основные положения и выводы диссертационного исследования.

Все вышеизложенное позволяет заключить, что диссертационная работа полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Калеева Анжелика Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.9 - Механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Сысоев Сергей Сергеевич, даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
ассистент кафедры оптики
физического факультета СПбГУ — Сысоев Сергей Сергеевич

199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д.7-9, Санкт-Петербургский государственный университет

Тел.: +7 (953) 264 22 76

e-mail: serg88025@yandex.ru

Личную подпись С.С. Сысоева заверяю
И.О. начальника отдела кадров
И.И. Константинова
18.04.2023

Текст документа размещен в открытом доступе на сайте СПбГУ по адресу http://spbu.ru/science/expert.htm