

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

УДК 542.06

Кастевич
Алексей Анатольевич

Синтез и свойства нитрида углерода в пористом кремнии

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Научный руководитель

Чубенко Евгений Борисович

к.т.н., доцент

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, графитоподобный нитрид углерода ($g-C_3N_4$) считается одним из перспективных материалов для создания фотокатализаторов, не содержащих тяжёлые металлы. Ширина его запрещённой зоны, 2,7 эВ, а также уникальные электронные свойства позволяют использовать графитоподобный для фотокатализа ряда химических реакций, включая реакцию получения водорода из воды. Кроме того, особенностью $g-C_3N_4$ является также температурная и химическая стабильность, выдающиеся люминесцентные свойства, нетоксичность. Имеются перспективы применения материала при создании светоизлучающих устройств, ведутся исследования его биосовместимости.

Наиболее популярный метод получения $g-C_3N_4$ – метод термической поликонденсации, получивший большое распространение благодаря своей простоте, воспроизводимости результатов и возможности модификации конечного продукта путём изменения условий синтеза.

Синтез структуры $g-C_3N_4/por-Si$ представляет интерес как с точки зрения фотокаталитического применения, так и с точки зрения создания светоизлучающих устройств, вследствие уникальных люминесцентных и фотокаталитических свойств графитоподобного нитрида углерода, а также развитой поверхности пористого кремния, его электрофизических свойств и простоты его получения.

Целью работы является создание и оптимизация технологии синтеза графитоподобного нитрида углерода в матрице пористого кремния, а также измерение люминесцентных характеристик полученного композиционного материала. Для достижения цели, поставленной в диссертации, необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ современного состояния исследований в области синтеза и физическо-химических свойств $g-C_3N_4$;
 - разработать методику синтеза композиционных структур $g-C_3N_4/por-Si$, а также методику измерения физических свойств образцов;
- провести анализ полученных результатов и сделать заключение об эффективности разработанного метода синтеза композиционных структур $g-C_3N_4/por-Si$.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Графитоподобный нитрид ($g-C_3N_4$) углерода является непрямозонным полупроводником с ярко выраженными фотокаталитическими свойствами. Ширина запрещённой зоны $g-C_3N_4$ составляет 2,7 эВ, что, наряду с уникальной структурой энергетических зон, позволяет эффективно использовать данный материал как фотокатализатор, поглощающий свет в видимом диапазоне. Также интерес к $g-C_3N_4$ обусловлен его высокой химической и температурной стабильностью и широкими возможностями управлять его зонной структурой путём легирования или функционализации.

Тем не менее, фотокаталитическая эффективность химически чистого $g-C_3N_4$ невысока, в то же время внедрение $g-C_3N_4$ в пористую матрицу позволит повысить его фотокаталитическую активность путём значительного увеличения удельной площади поверхности такого материала. Выбор в качестве матрицы макропористого кремния обусловлен простотой процесса его синтеза, большой удельной площадью его поверхности, а также высокой воспроизводимостью. Также макропористый кремний может выступать в качестве электрода при создании светоизлучающих структур на основе $g-C_3N_4$.

Цели и задачи исследования

Целью магистерской диссертации является создание и оптимизация технологии синтеза графитоподобного нитрида углерода в матрице пористого кремния, а также измерение люминесцентных характеристик полученного композитного материала.

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

- провести анализ современного состояния исследований в области синтеза и физическо-химических свойств $g-C_3N_4$;
- разработать методику синтеза композитных структур $g-C_3N_4/por-Si$, а также методику измерения физических свойств образцов;
- исследовать структурные и оптические свойства полученных структур $g-C_3N_4/por-Si$;
- провести анализ полученных результатов и сделать заключение об эффективности разработанного метода синтеза композиционных структур $g-C_3N_4/por-Si$.

Объектом исследования являются композиционные структуры $g-C_3N_4/por-Si$.

Предметом исследования является методика синтеза структур $g-$

$C_3N_4/por-Si$ и их люминесцентные свойства.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Теоретическая и методологическая основа исследования. В основу диссертации легли результаты известных исследований белорусских и зарубежных ученых в области технологий синтеза новых материалов и в области материалов для фотокатализа.

Также использовались материалы конференций, последние известные разработки, современные книги, охватывающие данную область.

Научная новизна исследования заключается в создании новых композиционных структур $g-C_3N_4/por-Si$ и исследовании их свойств.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Путем термической поликонденсации меламина, нанесенного на поверхность пористого кремния из водных растворов с концентрацией 3,0 г/л с добавлением 0,1 г/л поверхностно-активного вещества лаурил сульфата натрия, при температуре 450 – 550 °С получены композитные структуры на основе графитоподобного нитрида углерода и макропористого кремния, демонстрирующие интенсивную фотолюминесценцию с максимумом в диапазоне длин волн 440 – 465 нм соответствующую объемному графитоподобному нитриду углерода.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке процесса синтеза композиционных материалов $g-C_3N_4/por-Si$.

Практическая значимость исследования состоит в том, что, базируясь на его результатах, возможно проведение новых исследований, касающихся фотокатализа и электролюминесценции структур $g-C_3N_4/por-Si$, что, в свою очередь, может послужить основой для создания эффективных фотокатализаторов и светоизлучающих приборов.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были неоднократно представлены на конференциях: 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23 - 27 апреля 2020 г. БГУИР,

Публикации

По материалам диссертации опубликовано и подготовлено к опубликованию 2 работы. Из них: 2 тезиса докладов на конференциях.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы

обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения, библиографического списка. Общий объем диссертации – 57 страницы. Работа содержит 9 таблиц, 33 рисунков. Библиографический список включает 21 наименований.

Библиотека БГУИР

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В *первой главе* проведен детальный анализ литературных источников, посвященных исследованиям в области синтеза и определения физико-химических свойств графитоподобного нитрида углерода. Был описан механизм формирования графитоподобного нитрида углерода, его фотолюминесцентные. Была приведена технология формирования композитных материалов **графитоподобного нитрида углерода/пористая матрица силикатного стекла**, также продемонстрированы морфологические и фотолюминесцентные свойства данных структур. Установлено, что наиболее термодинамически стабильная фаза графитоподобного нитрида углерода – состоящая из гептазиновых структурных блоков; оптимальная температура получения материала методом термической поликонденсации находится в пределах 400 – 600 °С в зависимости от условий синтеза.

Вторая глава посвящена методологии синтеза и измерения характеристик синтезируемых структур на разных этапах синтеза. Были описаны основные методы и подходы к созданию структур $g-C_3N_4/por-Si$. Описана методика получения матриц макропористого кремния, методика осаждения меламина в качестве прекурсора в матрицу пористого кремния из водных растворов, а также условия отжига образцов для получения структур $g-C_3N_4/por-Si$. Был показан способ измерения краевого угла смачивания поверхностей матриц пористого кремния растворами меламина, а также описана методика регистрации спектров фотолюминесценции синтезированных образцов. Была представлена схема устройства лазерного спектроскопического комплекса, использованного для исследования фотолюминесцентных свойств структур $g-C_3N_4/por-Si$.

В *третьей главе* представлены результаты исследования: зависимость морфологии поверхности матриц пористого кремния от условий их синтеза; закономерности смачивания поверхностей синтезированных матриц пористого кремния от присутствия поверхностно активного вещества в растворе и содержания в нём меламина; приведена серия спектров фотолюминесценции образцов полученных структур **графитоподобного нитрида углерода/пористый кремний**. Были установлены особенности протекания процессов синтеза структур $g-C_3N_4/por-Si$ в зависимости от условий процесса, также ведётся обсуждение фотолюминесцентных свойств полученных образцов.

В *заключении* кратко подведены итоги магистерской диссертации, приведены результаты синтеза и измерения фотолюминесцентных свойств композитных материалов $g-C_3N_4/por-Si$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации были решены все поставленные задачи, включая проведение анализа современного состояния научных исследований в области синтеза и физическо-химических свойств графитоподобного нитрида углерода, разработка технологии синтеза композитных материалов $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{por-Si}$ и исследование фотолюминесцентных свойств синтезированных материалов.

Были синтезированы образцы композитных материалов на основе графитоподобного нитрида углерода и макропористого кремния путем термической поликонденсации меламина, нанесенного на поверхность пористого кремния из водных растворов при температурах 450°C – 550°C , демонстрирующие фотолюминесцентные свойства, соответствующие объемному графитоподобному нитриду углерода.

В результате проведения работы были получены следующие результаты:

1. Образцы, полученные при температурах синтеза 450 – 500°C , демонстрируют фотолюминесценцию при комнатной температуре с максимумом, расположенным на 465 нм. Спектры фотолюминесценции образцов состоят из трёх полос, расположенных на 440 нм, 465 нм и 510 нм, что соответствует излучательным переходам в объёмном графитоподобном нитриде углерода, синтезированном при подобных температурах.
2. Интенсивность фотолюминесценции образца, синтезированного при 500°C , по меньшей мере на порядок выше в сравнении с образцами, синтезированными при 450°C и 550°C . Это может говорить о невысоком выходе $g\text{-C}_3\text{N}_4$ в процессе синтеза при 450°C и 550°C , что также подтверждается внешним видом образцов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

Статьи в сборниках материалов научных конференций

[1] Кастевич, А.А. Влияние параметров синтеза макропористого кремния на смачивание его поверхности растворами меламина / А.А. Кастевич // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 2020. – с. 91 - 92.

[2] Кастевич, А.А. Фотолюминесцентные свойства композитного материала $g-C_3N_4/p\text{-}Si$, синтезированного методом термической поликонденсации меламина / А.А. Кастевич // XVII Международная научная конференция "Молодежь в науке - 2.0'20", Минск, 2020. – с. 72 – 73. **ожидает печати**

Публикации, не относящиеся к тематике диссертационных исследований

[3] Кастевич, А.А. Влияние параметров синтеза макропористого кремния на смачивание его поверхности растворами меламина / А.А. Кастевич // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 2020. – с. 93.

[4]

[5]