

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики твердого тела

ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ СЕЧЕНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ И РАССЕЯНИЯ
ГИБРИДНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ С УСИЛИВАЮЩЕЙ
СРЕДОЙ

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 201 группы кафедры физики твердого тела

направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Бабаянца Тиграна Артуровича

Научный руководитель

профессор, д.ф.-м.н.

подпись, дата

В.Ф. Названов

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.

подпись, дата

Д.А. Усанов

Саратов 2017

Содержание	
ВВЕДЕНИЕ.....	3
КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.....	6
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.....	8
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	9

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. На данный момент быстро развивается важная область нанотехнологии и нанофотоники – плазмоника (или наноплазмоника). Данная наука исследует колебания электронов проводимости в металлических наноструктурах и наночастицах, а также взаимодействие этих колебаний со светом, атомами и молекулами для создания сложных оптических наноустройств. Наноплазмоника исследует поверхностные электромагнитные волны, у которых длина волны намного меньше длины оптической волны в вакууме. В связи с этим, можно найти много сходств между плазмоникой и ближнеполевой оптикой, которая в настоящее время очень востребована в нанотехнологии [1 – 7].

Особый интерес плазмонный резонанс вызывает в области нанобиотехнологии. Так, наночастицы благородных металлов, в которых присутствует плазмонный резонанс (ПР), используются для аналитических целей в биосенсорике и геномике, визуализации клеточных структур (включая раковые клетки), нацеленной доставки лекарственных препаратов, усиления иммунитета в борьбе с раковыми клетками.

В настоящее время возможно выделить следующие предпосылки для изучения и развития наноплазмоники:

1. Доступность современных технологий для изготовления наноструктур.
2. Существует множество высокочувствительных оптических технологий для снятия характеристик, и эта информация доступна.
3. Стремительное развитие вычислительных мощностей позволяет нам применять мощные вычислительные средства моделирования, представляющие собой гораздо больше возможностей, чем обыкновенный ноутбук.

4. Широкий спектр потенциального применения – солнечные элементы, микроскопия высокого разрешения, изготовление медикаментов и многое другое.

Целью данной работы является компьютерное моделирование сечений поглощения и рассеяния гибридных металлических наночастиц с усиливающей средой.

Для достижения поставленной цели решались следующие *задачи*:

1. Анализ литературы, посвященной свойствам локализованных плазмонов, возбуждаемых в металлических наночастицах;
2. Компьютерное моделирование в программном пакете Mathcad сечений поглощения и рассеяния гибридных металлических наночастиц (серебро Ag) с усиливающей средой двух типов:
 - наносфера, состоящая из металлического ядра и диэлектрической оболочки с усилением;
 - наносфера, состоящая из диэлектрического ядра с усилением и металлической оболочки.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые было проведено компьютерное моделирование сечений поглощения и рассеяния гибридных металлических наночастиц с усиливающей средой.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. В результате компьютерного моделирования оптических спектров сечений поглощения и рассеяния сферических гибридных металлических наночастиц с металлическим ядром и диэлектрической оболочкой из среды с усилением показано, что при некотором коэффициенте усиления среды наблюдается существенное уменьшение как поглощения, так и рассеяния, что позволяет сделать вывод о соблюдении в этом диапазоне длин волн условия, так называемой, «невидимости» частиц

2. В результате компьютерного моделирования оптических спектров сечений поглощения и рассеяния сферических гибридных металлических наночастиц с ядром из диэлектрической среды с усилением и металлической оболочкой показано, что при некотором значении коэффициента усиления материала ядра наблюдается усиление рассеяния при полном отсутствии поглощения, что открывает возможность для создания SPASER.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, двух глав, заключения и списка использованных источников. Работа содержит в себе 49 страниц, включает 20 рисунков и 17 библиографических ссылок.

Во введении представлена цель и поставлены основные задачи работы, а также раскрыта научная новизна и приведены положения, выносимые на защиту.

Основная часть работы имеет следующую структуру.

В первой главе было рассмотрено следующее были рассмотрены оптические свойства металлических наночастиц при их взаимодействии с электромагнитной волной. В частности, рассмотрен плазмонный резонанс металлических наносфер в рэлеевском приближении теории Ми. Приведены формулы для расчета сечений поглощения и рассеяния [9 – 10] «голых» металлических сферических наночастиц в среде.

Также, кратко рассмотрены оптические свойства гибридных металлических сферических наночастиц. Показано соотношение для расчета поляризуемости такой системы.

Кроме того, уделено внимание свойствам наночастиц в усиливающей среде. В частности, показано, что в усиливающей среде показатель поглощения (мнимая часть показателя преломления) является отрицательной величиной. Кратко рассмотрены свойства гетерогенных усиливающих сред.

Кратко рассмотрены основные области применения локализованных плазмонов в наносенсорике и нанофотонике. В частности, созданы наносенсоры, отработана технология направленной доставки лекарств с использованием благородных металлов на эффекте плазмонного резонанса. Перспективными остаются направления использования структур с локализованными плазмонами для создания SPASER.

В разделе 2 представлены результаты компьютерного моделирования с помощью программного пакета Mathcad сечений поглощения и рассеяния сферических гибридных наночастиц с усиливающей средой.

В данном разделе было проведено компьютерное моделирование оптических спектров сечений поглощения и рассеяния для «голых» металлических наночастиц в воде, а также, для гибридных металлических сферических наночастиц с усилением и без.

Показано, что для «голых» наночастиц прослеживается зависимость длины волны, на которой наблюдается плазмонный резонанс, от показателя преломления среды, в которой находятся наночастицы.

Для гибридных металлических сферических наночастиц без усиления, показали, что управлять их оптическими свойствами возможно путем изменения как радиуса ядра, так и радиуса само наночастицы.

Также показано, что для гибридных металлических сферических наночастиц с усилением (ядро с усилением, металлическая оболочка) при выборе определенного коэффициента усиления, наблюдается скачок резкое увеличение рассеяния при отсутствии поглощения, что может быть использовано в таких устройствах как Spaser. Для наночастиц состоящих из металлического ядра и оболочки из гетерогенной среды с усилением, в свою очередь, при некотором коэффициенте усиления наблюдается уменьшения как поглощения, так и рассеяния, что говорит нам о прозрачности наночастицы в некотором диапазоне длин волн.

В заключении сформулированы основные выводы работы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В результате компьютерного моделирования оптических спектров сечений поглощения и рассеяния сферических гибридных металлических наночастиц с металлическим ядром и диэлектрической оболочкой из среды с усилением показано, что при некотором коэффициенте усиления среды наблюдается существенное уменьшение как поглощения, так и рассеяния, что позволяет сделать вывод о соблюдении в этом диапазоне длин волн условия, так называемой, «невидимости» частиц
2. В результате компьютерного моделирования оптических спектров сечений поглощения и рассеяния сферических гибридных металлических наночастиц с ядром из диэлектрической среды с усилением и металлической оболочкой показано, что при некотором значении коэффициента усиления материала ядра наблюдается усиление рассеяния при полном отсутствии поглощения, что открывает возможность для создания SPASER.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Названов В.Ф. Наноплазмоника в наносенсорике и нанофотонике: учебное пособие - Саратов: изд-во ООО «Новый ветер», 2015. – 88 с.: илл.
2. Хлебцов Н.Г., Богатырев В.А. Оптические методы определения параметров наночастиц с плазмонным резонансом: учебное пособие для студентов старших курсов, специализирующихся в области биофизики и нанобиотехнологии.// KHL_VOG_Edu2. pdf.
3. Хлебцов Н.Г. Оптика и биофотоника наночастиц с плазмонным резонансом. // Квантовая электроника. 2008. Т. 38. № 6. С. 504 – 527.
4. Дыкман Л.А., Богатырев В.А., Щеголев С.Ю., Хлебцов Н.Г. Золотые наночастицы: синтез, свойства, биомедицинские применения.- М.: Наука, 2008.
5. Garonenko S.V. Introduction to Nanophotonics. –Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
6. Lawandy N.M. Localized surface Plasmon singularities in amplifying media.//Appl. Phys. Lett. 2004. V. 85. N 21/ PP. 5040 -5042.
7. Berini P. and De Leon I. Surface Plasmon – polariton amplifiers and lasers.// Nature Photonics. 2012. V. 6. PP. 16 -24.
8. Климов В.В. Наноплазмоника. –М.:ФИЗМАТЛИТ, 2009.
9. Майер С.А. Плазмоника: теория и приложения. –М. –Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011.
10. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. –М.: Мир, 1986.

11. Livesay, D. E. and Chen, K. M. Electromagnetic fields induced inside arbitraryshaped bodies.// IEEE Trans, Microwave Theory & Tech, 1974, MTT-22, 1273.
12. Ораевский А. Н., Проценко И. Е. Высокий показатель преломления и другие особенности оптических свойств гетерогенных сред. //Письма в ЖЭТФ. 2000. Т. 72. Вып. 9. С. 641-646.
13. Ораевский А. Н., Проценко И. Е. Оптические свойства гетерогенных сред. //Квантовая электроника. 2001. Т. 31. № 3. С. 252-256.
14. Kajenski P. Tunable optical filter using long-range surface plasmons. //Opt. Eng. 1997. V. 36. N 5. PP. 1537-1541.
15. Stockman M.I. The spaser as a nanoscale quantum generator and ultrafast amplifier.//J. Opt. 2010. V. 12. P. 024004 (13pp).
16. Stockman M.I. Spaser Action, Loss Compensation, and Stability in Plasmonic Systems with Gain.//Phys. Rev. Letters. 2011. V. 106. PP. 156802-1 – 156802-4
17. Stockman M.I. Nanoplasmonics: past, present, and glimpse into future.// Optics Express. V. 19. N 22. PP. 22029 -22106.