

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

С.М. Шандаров

**ФОТОНИКА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ И
НАНОПЛАЗМОНИКА**

Методические указания к практическим занятиям и по самостоятельной работе для
студентов технических направлений подготовки

Томск 2024

УДК 535:53
ББК 22.34
Ш201

Шандаров, Станислав Михайлович

Ш201 Фотоника наноструктурированных материалов и наноплазмоника: методические указания к практическим занятиям и по самостоятельной работе для студентов технических направлений подготовки / С.М. Шандаров. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 8 с.

Представленные методические указания предназначены для практических занятий и самостоятельной работы студентов. Приведены разделы и их краткое содержание, примерные тесты для проверки знаний во время контрольных точек.

Одобрено на заседании каф. ЭП, протокол № 05-24 от 08.05.2024 г.

УДК 535:53
ББК 22.34

© Шандаров С.М. 2024
© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024

Оглавление

Введение	4
Раздел 1 Введение	5
Раздел 2 Условия возникновения коллективных электронных возбуждений плазмонного типа в наноструктурированных композитных материалах	5
Раздел 3 Методы возбуждения и регистрации коллективных электронных возбуждений плазмонного типа в наноструктурированных композитных материалах.....	5
Раздел 4 Связь между характеристиками плазмонов, оптическими свойствами материалов и формой наночастиц.....	5
Раздел 5 Перспективы применения коллективных электронных возбуждений плазмонного типа в наноструктурированных композитных материалах в устройствах фотоники и оптоинформатики.....	5
6 Темы практических занятий	5
7 Примерный перечень тестовых заданий.....	6
8 Примерный перечень вопросов для зачета.....	7
Список рекомендуемой литературы	8

Введение

Цели изучения дисциплины:

Сформировать у студентов знания о когерентных нелинейных оптических явлениях в нано-структурированных материалах.

Сформировать у студентов знания о возбуждении, регистрации и использованию коллективных электронных возбуждений плазмонного типа в наноструктурированных композитных материалах.

Задачи дисциплины

Изучение основных принципов фотоники наноструктурированных материалов и наноплазмоники.

Изучение круга явлений, в которых возбуждение коллективных электронных колебаний приводит к увеличению чувствительности и разрешающей способности оптических методов исследования.

Требования к результатам практической и самостоятельной работы студентов по дисциплине:

Знание методики поиска научно-технической информации по разработке оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.

Умение проводить подбор оборудования и комплектующих, необходимых для проведения исследований в области фотоники.

Владение навыками обработки и анализа результата исследований в области фотоники.

Раздел 1 Введение

Роль микро и наночастиц в истории цивилизации. Современные методы синтеза плазмонных наночастиц. Галерея наночастиц и наноструктур.

Раздел 2 Условия возникновения коллективных электронных возбуждений плазмонного типа в наноструктурированных композитных материалах

Введение в электродинамику металлов: электродинамика проводящих сред, теория Друде-Зоммерфельда оптических свойств металлов, диэлектрическая проницаемость малых частиц, дисперсия в газе свободных электронов и объемные плазмоны. Поверхностные плазмоны: двумерный случай, слоистые среды, одномерные поверхностные плазмоны.

Раздел 3 Методы возбуждения и регистрации коллективных электронных возбуждений плазмонного типа в наноструктурированных композитных материалах

Возбуждение и наблюдение поверхностных плазмонов. Теория плазмонных колебаний в наночастицах; аналогия между спектрами локализованных плазмонов и спектрами атомов и молекул. Оптические свойства сферических частиц. Плазмонные свойства наносфероидов. Оптические свойства трехосного наноэллипсоида. Локализованные плазмоны в многогранных наночастицах. Локализованные плазмоны в кластерах наночастиц

Раздел 4 Связь между характеристиками плазмонов, оптическими свойствами материалов и формой наночастиц

Оптические свойства наночастиц из «необычных» материалов: оптика частице отрицательным показателем преломления; оптические свойства киральных частиц. Оптические свойства нанотверстий в металлических пленках

Раздел 5 Перспективы применения коллективных электронных возбуждений плазмонного типа в наноструктурированных композитных материалах в устройствах фотоники и оптоинформатики

Терапия и визуализация опухолей с помощью наночастиц. Биосенсоры на поверхностных плазмонах. Биосенсоры на локализованных плазмонах. Спектроскопия отдельных плазмонных наночастиц. Элементная база для волноводной фотоники на плазмонах: пассивные и активные элементы. Приложения на основе влияния наночастиц на излучение атомов и молекул. Супер- и гиперлинзы на основе поверхностных плазмонов и метаматериалов. Покрытия-невидимки на основе плазмонных метаматериалов.

6 Темы практических занятий

Перед практическими занятиями студент должен повторить лекционный материал. Темы практических занятий приведены ниже:

1. Объемные плазмоны. Плазмоны на плоской границе раздела «металл - диэлектрик». Поверхностные плазмоны в слоистых средах. Плазмоны в металлических проволоках круглого сечения

2. Возбуждение поверхностных плазмонов при нарушенном полном внутреннем отражении, на поверхностной дифракционной решетке и нанолокализованными источниками

света.

3. Электродинамика сред с отрицательным показателем преломления.

4. Пассивные элементы для оптических интегральных схем на плазмонах. Активные (динамические) элементы плазмоники для оптических и интегральных схем.

7 Примерный перечень тестовых заданий

1. Какой метод не может быть использован для получения наночастиц?

- а) метод осаждения из коллоидных растворов
- б) метод газофазного синтеза
- в) метод наносферной литографии
- г) метод Рунге-Кутты

2. Распространение продольных волн с вектором напряженности электрического поля, параллельным волновому вектору:

- а) невозможно в любой среде
- б) возможно в газоразрядной и твердотельной плазме на частотах, при которых диэлектрическая проницаемость имеет нулевое значение
- в) возможно в прозрачной среде с относительной диэлектрической проницаемостью, равной единице
- г) возможно в полупроводниках при энергии кванта светового поля, точно соответствующей ширине запрещенной зоны

3. В области высоких частот, где диэлектрическую проницаемость плазмы можно считать действительной величиной:

- а) она принимает нулевое значение на частоте электромагнитного поля, равной плазменной частоте
- б) она стремится к бесконечности на частоте электромагнитного поля, равной плазменной частоте
- в) она принимает нулевое значение на частотах электромагнитного поля, превышающих плазменную частоту
- г) она стремится к бесконечности на частотах электромагнитного поля, превышающих плазменную частоту

4. В области высоких частот, где диэлектрическую проницаемость плазмы можно считать действительной величиной:

- а) она является отрицательной на частотах электромагнитного поля, превышающих плазменную частоту
- б) она является отрицательной на частотах электромагнитного поля, не превышающих плазменную частоту
- в) она является отрицательной на частотах электромагнитного поля, превосходящих плазменную частоту более чем в два раза
- г) она является отрицательной на частотах электромагнитного поля, превосходящих плазменную частоту в $\epsilon = 2,718$ раз

5. По какому закону изменяется напряженность электрического поля электромагнитной волны внутри металла в области низких частот, когда мнимая и действительная части диэлектрической проницаемости близки друг к другу?

- а) экспоненциально возрастает с удалением от границы раздела с диэлектрической средой
- б) экспоненциально убывает с удалением от границы раздела с диэлектрической средой
- в) убывает с удалением от границы раздела с диэлектрической средой по линейному закону
- г) убывает с удалением от границы раздела с диэлектрической средой по квадратичному закону

6. Поперечные объемные плазмоны существуют в области прозрачности плазмы:
 - а) на частотах, превосходящих плазменную частоту
 - б) на всех частотах спектра электромагнитных колебаний
 - в) на частотах, не превышающих плазменную частоту
 - г) в области частот, где реальная часть диэлектрической проницаемости плазмы принимает отрицательные значения
7. Существование продольных объемных плазмонов возможно:
 - а) в диэлектрической среде на любых частотах электромагнитного излучения
 - б) в прозрачной среде с относительной диэлектрической проницаемостью, равной единице
 - в) в газоразрядной и твердотельной плазме на частотах, при которых диэлектрическая проницаемость принимает нулевое значение
 - г) в газоразрядной и твердотельной плазме в области частот, где реальная часть диэлектрической проницаемости имеет отрицательные значения
8. Двумерные поверхностные плазмоны реализуются в виде:
 - а) электромагнитных ТЕ-волн в области частот, превосходящих плазменную частоту, на границе раздела «металл – диэлектрик»
 - б) электромагнитных ТМ-волн в области частот, превосходящих плазменную частоту, на границе раздела «металл – диэлектрик»
 - в) в виде поперечных электромагнитных Т-волн на границе раздела двух диэлектриков
 - г) электромагнитных ТМ-волн в области частот, не превосходящих плазменную частоту, на границе раздела «металл – диэлектрик»
9. Двумерные поверхностные плазмоны характеризуются:
 - а) наличием продольной компоненты магнитного поля, спадающей по экспоненциальному закону по мере удаления от границы «металл – диэлектрик»
 - б) наличием продольной компоненты электрического поля, спадающей по экспоненциальному закону по мере удаления от границы «металл – диэлектрик»
 - в) наличием поперечных компонент электрического и магнитного полей, спадающих по экспоненциальному закону по мере удаления от границы «металл – диэлектрик»
 - г) наличием поперечных компонент электрического и магнитного полей, спадающих по экспоненциальному закону по мере удаления от границы «диэлектрик – диэлектрик»
10. Максимальная длина распространения двумерных поверхностных плазмонов на заданной частоте в трехслойных структурах наблюдается в случае:
 - а) симметричных мод в структуре «металл – диэлектрик – металл»
 - б) антисимметричных мод в структуре «металл – диэлектрик – металл»
 - в) антисимметричных мод в структуре «диэлектрик – металл – диэлектрик»
 - г) симметричных мод в структуре «диэлектрик – металл – диэлектрик»

8 Примерный перечень вопросов для зачета

1. Современные методы синтеза плазмонных наночастиц
2. Теория Друде-Зоммерфельда оптических свойств металлов
3. Дисперсия в газе свободных электронов и объемные плазмоны
4. Одномерные поверхностные плазмоны
5. Теория плазмонных колебаний в наночастицах
6. Плазмонные свойства наносфероидов
7. Оптические свойства трехосного наноэллипсоида
8. Диадная функция Грина, эванесцентные поля.
9. Теория Друде-Зоммерфельда
10. Объемные плазмоны.
11. Плазмоны на плоской границе раздела «металл - диэлектрик».
12. Решение уравнений Максвелла для наночастиц «e- методом»

13. Материальные уравнения для киральных сред
14. Теория дифракции Бете-Боукампа.
15. Пассивные элементы для оптических интегральных схем на плазмонах.
16. Активные (динамические) элементы плазмоники

Список рекомендуемой литературы

1. Ярив А. Оптические волны в кристаллах / А. Ярив, П. Юх. – М.: Мир, 1987. – 616 с.
2. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. Учебник для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 2001. – 574 с.
3. Звелто О. Принципы лазеров / О. Звелто. – СПб-б. : Лань, 2008. – 720 с.
4. Панов М.Ф. Физические основы интегральной оптики : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / М.Ф. Панов, А.В. Соломонов, Ю.В. Филатов. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 432 с.
5. Климов, В. В. Наноплазмоника / В. В. Климов. — 2-е изд., испр. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 480 с.
6. Айхлер Ю., Айхлер Г.Н. Лазеры. Исполнение, управление, применение. М.: Техносфера, 2012. – 496 с.
7. Шандаров, С. М. Введение в оптическую физику: Учебное пособие [/ С. М. Шандаров, Н. И. Буримов, А. С. Акрестина. – Томск: ТУСУР, 2023. – 252 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/11001> (Дата обращения: 06.05.2024)