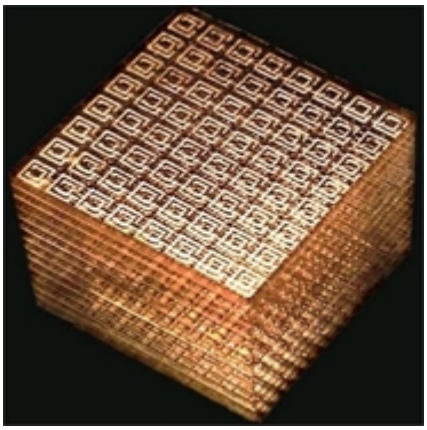
Электродинамика Метаматериалов

Лекторы:
Юрий Балошин

Ассистент:
Николай Солодовченко
Кирилл Барышников



Язык:
Русский

Трудоемкость:
3 з.е.

Форма контроля:
Дифференцированный зачет

Образовательная программа:
Фотоника и спинтроника
2-й семестр

Пререквизиты:
Общая физика: электричество и магнетизм
Общая физика: оптика и квантовая физика
Высшая математика: векторный анализ, теория полей, уравнения с частными производными математической физики

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
13	2	3
*1 академический час = 45 минутам		

Метаматериалы (ММ) — это специальные композиционные материалы, которые получаются искусственной модификацией внедряемых в них элементов, благодаря которой эти материалы приобретают совершенно новые свойства, которых нет у материалов природного происхождения.
Курс Электродинамики ММ является разделом современной физики, в котором рассматриваются структуры ММ, определённые размерами, формой, взаимным расположением метаатомов (элементов, частиц) и изучается взаимодействие электромагнитного поля с этими структурами. Этот курс является начальной базой для современных задач радиофизики, оптики, фотоники и включает в себя несколько разделов: 1) Виды, классификация ММ и их разработка; 2) Активные ММ; 3) Среда и суперлинза Веселаго-Пендри; 4) Маскирующие покрытия на основе ММ с использованием аппарата трансформационной оптики; 5) Акустические ММ и их использование в практических задачах.

Содержание курса

1-ий раздел — Виды, классификация и разработка ММ

Структура курса

1. Введение. Разработка и создание ММ. Виды включений(мета-атомов).
ММ с отрицательными ε и μ /лекция
2. Проводящие стержневые композиты /лекция
3. SRR –резонаторы /лекция
4. ММ на основе спиральных включений /лекция
5. Определение эффективных ε и μ метаматериалов. Методика Никольсона—Росса /семинар, практика

2-ой раздел — Активные метаматериалы

Структура курса

1. Способы реализации перестройки структур ММ /лекция
2. Активные ММ радиофизике и оптике /лекция

3-ий раздел — Среда и суперлинза Веселаго-Пендри

Структура курса

1. Понятие левой среды (среда с отрицательными ε и μ) /лекция
2. Законы оптики с учётом отрицательных значений ε и μ /семинар,
практика
3. Пластина — линза Веселаго (принцип работы) /лекция
4. Разрешающая способность линзы Веселаго-Пендри /лекция

4-ый раздел — Маскирующие покрытия на основе ММ с использованием аппарата трансформационной оптики

Структура курса

1. Математический аппарат трансформационной оптики /лекция
2. Метод волнового обтекания /лекция
3. Маскировка на основе оболочек SRR-резонаторов и компенсации рассеяния /лекция

5-ый раздел — Акустические ММ и их использование в практических задачах

Структура курса

1. Примеры акустических ММ и их использование в практических задачах /лекция, семинар

6-ой раздел — Консультации по выполнению курсовых работ

Структура курса

Рекомендуемые ресурсы

[1] A.G.Bruggeman // Ann. Phys. 24636, 1935.
[2] Ping Sheng // Phys. Rev. Lett. 45 (60), 1980.
[3] J.B.Pendry .R.Marques , S.I.Maslovski // Phys. Rev. Lett., 76 (25), 1996.
[4] П.А.Белов, А.А.Орлов, С.Ю.Косульников «Передача изображений со сверхразрешением» // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012, 165 стр.
[5] J.B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, and W.J. Stewart // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 47, 2075, 1999.
[6] R. Marques, F. Medina, R. Rafii-El-Idrissi // Phys. Rev. B 65, 144440, 2002.
[7] R. Marques, F. Mesa, J. Martel and F. Medina // IEEE Trans. Antennas Propag. 51, 2572, 2003.
[8] Smith D.R., Padilla W.T., Vier D.C et al. // Phys. Rev. 84, 2000.
[9] A.N.Lagarkov, V.Semenenko, V.A.Kisel // JMMM, 238-239, p.161, 2003.
[10] A.M. Nicolson, G. F. Ross // Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on 19 (4), pp. 377-382, 1970.
[11] James R. Baker-Jarvis et al. // Technical Note (NIST TN) 1520, 2001.
[12] Pérez Cesaretti, Mauricio David // Dissertation thesis, Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Dottorato di ricerca in Ingegneria elettrotecnica, 24 Ciclo, 201.
[12] В.В.Климов «Наноплазмоника» // Москва, ФизМатГиз. 2009, 480 стр.

[14] К.Р.Симовский // Оптика и Спектроскопия, 107 (5), с.766-793, 2009.
[15] Ю.С.Кившарь, А.А.Орлов. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 79 (3), с. 1-10, 2010.
[16] V. Shadrivov, S.K. Morrison, and Yu.S. Kivshar // Optics Express 14, p.9344, 2006.
[17] S. O'Brien, D. McPeake, S.A. Ramakrishna, and J.B.Pendry // Phys. Rev. B. 69, p.241101, 2004.
[18] M. Lapine, D. Powell, M. Gorkunov, I. Shadrivov, R. Marques, and Yu. S. Kivshar // Appl. Phys. Lett. 95, p.084105, 2009.
[19] Мандельштам Л.И. «Лекции, прочитанные 26 февраля 1940 г. 5 мая 1944 г.» // Полн. собр. тр. Т. 5, М., Изд-во трудов АН СССР, 1950.
[20] А.Е. Дубинов, Л.А. Мытарёва «Маскировка материальных тел методом волнового обтекания» // УФН, 180 (5), с.475-501, 2010.
[21] А.В.Кильдешев, В.М.Шалаев // УФН 181 (59), с.59-70, 2011.
[22] А.В.Щёлокова, И.В.Мельчакова, А.П.Слобаженюк, Е.А.Янковская, К.Р.Симовский, П.А.Белов. «Экспериментальные реализации маскирующих покрытий» // УФН, 185 (2), с. 181-206, 2015.

Политика оценивания

Максимальное количество баллов за курс ----------50
Максимальное количество баллов за решение задач----------10
Максимальное количество баллов за выступление на семинаре-----10
Максимальное количество баллов за практическую работу----------10
Максимальное количество баллов за финальный устный экзамен---20

Тип самостоятельных заданий

1. Задана сферическая частица с заданной диэлектрической проницаемостью. Размер частицы (диаметр) 5 мм. Материал частицы—кварц.
Определить зависимость сечения рассеяния частицы от падающей на неё плоской электромагнитной волны в диапазоне частот 500 МГц – 12 ГГц с целью выявления в этом диапазоне электрического и магнитного резонансов Ми;
При наличии этих резонансов построить картины электрического и магнитного полей внутри частицы на этих резонансах;
Определить зависимости фаз (arg) электрической и магнитной поляризуемости частиц в исследуемом диапазоне частот и длину волны, на которой эти фазы равны.

2. Задаётся SRR с конфигурацией, изображенной на рисунке

SRR-располагается на диэлектрической подложке
• Радиус внешнего кольца: 16 мм
Ширина внутреннего и внешнего кольца 2 мм
• Ширина зазора между кольцами: 0,8 мм
• Зазор во внешнем и внутреннем кольце: 0,7 мм
• Размеры подложки: 30х30мм
• Высота подложки: 1мм
Определить
1. Для нормального падения определить резонансную частоту природу и добротность первого резонанса.
2. Определить зависимость частоты этого резонанса от толщины подложки.
3. Исследовать случаи возбуждения резонатора под углом 30о волнами с TE и TM поляризацией.
4. Провести расчет на подложке FR-4 (lossy), определить частоту резонанса и добротность.

3. Построить бесконечную метаповерхность, состоящую из разомкнутых кольцевых резонаторов (SRR) из меди на подложке. Радиус кольца - 13.5 мм, диаметр его обода 1 мм. Параметры элементарной ячейки:
- Радиус кольца - 13.5 мм
- Радиус обода – 0.5 мм
- Материал кольца – медь с потерями
- Ширина разреза – 10 град.
- Толщина подложки – 1 мм
- Сторона квадратной подложки – 2d мм (d 2 (14.1 ÷ 17.1)мм)
- Материал подложки – Rogers RO3003
Задание:

Рассчитать параметры S11 (отражение) и S 21 (пропускание) для бесконечной метаповерхности из разомкнутых кольцевых резонаторов в диапазоне частот
0.1 ÷ 10 GHz при нормальном падении излучения на поверхность.
Выявить характерные изменения при варьировании расстояния между кольцами
Изменить угол наклона падающей волны на 10 градусов.