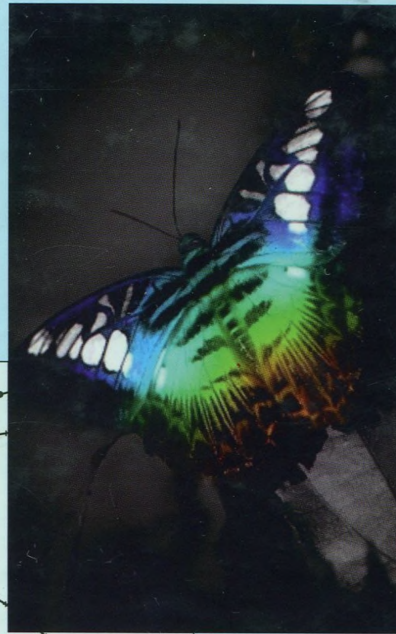
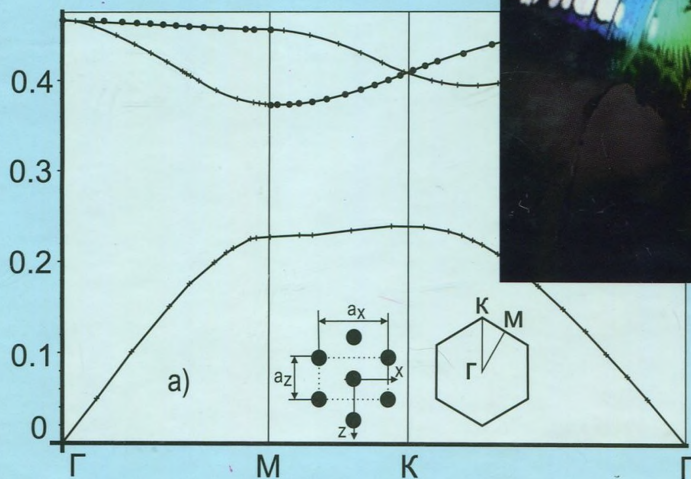


535.4
Ф64

В. М. Фітьо, Я. В. Бобицький

ОПТИЧНА ДИФРАКЦІЯ НА ПЕРІОДИЧНИХ СТРУКТУРАХ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

В. М. Фітьо, Я. В. Бобицький

ОПТИЧНА ДИФРАКЦІЯ НА ПЕРІОДИЧНИХ СТРУКТУРАХ

Монографія

Львів
Видавництво Львівської політехніки
2013

УДК 535.4: 535.42; 535.135; 537.8

ББК 22.34

Ф 134

Рецензенти:

Кушнір О. С., доктор фізико-математичних наук, професор кафедри нелінійної оптики Львівського національного університету імені Івана Франка;

Шовгенюк М. В., доктор фізико-математичних наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту фізики конденсованих систем НАН України;

Муравський Л. І., доктор технічних наук, професор, завідувач відділу оптико-електронних інформаційних систем Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України

*Рекомендувала Вчена рада Національного університету "Львівська політехніка"
(Протокол №51 від 27.03.2012 р.)*

Фітьо В. М.

Ф 134 Оптична дифракція на періодичних структурах: монографія / В. М. Фітьо, Я. В. Бобицький. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 300 с.

ISBN 978-617-607-489-2

Розглянуто теорію та проаналізовано явища оптичної дифракції на різноманітних періодичних структурах. На основі рівнянь Максвелла отримано нескінченновимірні системи лінійних диференціальних рівнянь методу зв'язаних хвиль, для яких розроблено стійкі числові алгоритми розв'язання. За незначної модуляції діелектричної проникності середовища ґратки запропоновано наближені системи рівнянь, що дають змогу отримати аналітичні розв'язки. Описано новий метод аналізу зонної структури 1D та 2D фотонних кристалів. Проаналізовано особливості та аномальні явища дифракції на рельєфних ґратках.

Монографія призначена для наукових працівників та спеціалістів, які займаються розробленням оптичних приладів на періодичних структурах, а також для викладачів, аспірантів та студентів фізичних спеціальностей вищих навчальних закладів.

УДК 535.4; 535.42; 535.135; 537.8

ББК 22.34

ISBN 978-617-607-489-2

© Фітьо В. М., Бобицький Я. В., 2013

© Національний університет
"Львівська політехніка", 2013

Зміст

Вступ	7
1 Вузлові моменти розвитку теорії дифракції	9
2 Методи аналізу оптичної дифракції	13
2.1. МЗХ та його зв'язок з МЗМ.....	14
2.2. Отримання систем рівнянь МЗХ методом збурення.....	19
2.3. Отримання методом збурень точних систем рівнянь МЗХ	21
2.3.1. Модифікація та узагальнення систем рівнянь.....	28
2.3.2. Прямий алгоритм аналізу дифракції.....	29
2.3.3. Параболічне наближення для товстих фазових ґраток	31
2.4. МЗХ для планарних та рельєфних ґраток.....	33
2.4.1. Рівняння опису дифракції електромагнітних хвиль ТЕ поляризації	34
2.4.2. Система рівнянь, яка описує дифракцію хвиль ТМ поляризації.....	35
2.4.3. Розв'язання систем диференціальних рівнянь у матричній формі.....	36
3 Числові алгоритми аналізу дифракції	37
3.1. Прямий числовий Т-алгоритм аналізу дифракції.....	37
3.2. Модифікований стійкий числовий S-алгоритм.....	40
3.3. Модифікований стійкий числовий R-алгоритм.....	42
3.4. Симетризація системи диференціальних рівнянь у МЗХ	43
3.4.1. Числовий аналіз МЗХ за наявності симетрії	46
3.5. Точність аналізу МЗХ оптичної дифракції на ґратках.....	50
3.5.1. Точність аналізу МЗХ оптичної дифракції на прямокутних металевих ґратках	51
3.5.2. Точність аналізу МЗХ оптичної дифракції на прямокутній діелектричній ґратці.....	55
3.5.3. Точність аналізу МЗХ оптичної дифракції на діелектричних ґратках з косинусоїдальною змінною діелектричної проникності.....	56
3.6. Порівняння МЗХ з наближеними методами аналізу ґраток.....	57
3.6.1. Дифракційна ефективність тонкої фазової ґратки.....	59

3.6.2.	Моделювання ефекту Тальбота МЗХ.....	63
3.7.	Деякі застосування планарних ґраток.....	66
3.7.1.	Поляризатор на основі періодично розміщених нанопровідників	66
3.7.2.	Просвітлення ґраткою границі прозорий діелектрик-повітря.....	68
3.7.3.	Спектральні особливості структури “діелектрична ґратка на діелектричній підкладці”	74
4	Аналіз фазових ґраток	77
4.1.	Класифікація фазових голограм за товщиною.....	79
4.2.	Числовий аналіз фазових голограм малої та проміжної товщин	82
4.3.	Двохвильове наближення для товстих об’ємних ґраток.....	85
4.3.1.	Двохвильове наближення для товстих фазових ґраток	85
4.3.2.	Двохвильове наближення для товстих амплітудно-фазових ґраток.....	88
4.4.	Нелінійність запису голограм.....	91
4.4.1.	Аналітичний зв’язок між n_{1ef} і n_{2ef} з n_1 і n_2 для першого і другого кутів Бреґга	94
4.4.2.	Аналітичний зв’язок між n_{1ef1} і n_{2ef} і n_{3ef} з n_1 , n_2 і n_3 для трьох перших кутів Бреґга.....	100
4.4.3.	Умови застосування ефективних значень модуляції показника заломлення.....	103
4.4.4.	Числовий розрахунок дифракційної ефективності товстих фазових голограм з урахуванням n_1 , n_2 і n_3	104
4.4.5.	Розрахунок n_1 , n_2 і n_3 за експериментальними залежностями дифракційної ефективності від кута падіння пучка на ґратку.....	106
4.5.	Багат шарові голограми.....	110
4.5.1.	Дифракційна ефективність багат шарових голограм	111
4.5.2.	Оптичні властивості багат шарових голограм	114
4.5.3.	Можливі варіанти виготовлення багат шарових голограм.....	118
5	Аналіз багат шарових структур	123
5.1.	Матричний метод аналізу багат шарових структур.....	124
5.2.	Аналіз відбивання від ґратки МРПРФ	125
5.3.	Межові умови для багат шарових структур.....	127
5.4.	Розв’язок систем рівнянь.....	129
5.5.	Аналіз структур, для яких ϵ_2 змінюється довільно.....	131
5.6.	Наближені методи аналізу суто відбивних ґраток	135
5.6.1.	Взаємодія оптичних хвиль із суто відбивною ґраткою у разі виконання умов Бреґга першого порядку.....	136
5.6.2.	Взаємодія оптичних хвиль із суто відбивною ґраткою у разі виконання умов Бреґга другого порядку.....	147

5.6.3.	Взаємодія оптичних хвиль із суто відбивною граткою у разі виконання умов Бреґґа другого порядку за нелінійності запису ґратки.....	158
5.6.4.	Взаємодія оптичних хвиль із суто відбивною граткою у разі виконання умов Бреґґа третього порядку.....	164
5.6.5.	Взаємодія оптичних хвиль із суто відбивною граткою у разі виконання умов Бреґґа третього порядку за наявності нелінійності.....	170
5.6.6.	Обґрунтування нехтування першою похідною від $i_t(z)$, $i_r(z)$, коли $j \neq 0$	177
6	Можливі застосування багат шарових структур	179
6.1.	Структура “шар діелектрика-металева плівка-шар діелектрика”.....	179
6.2.	Структура “шар діелектрика-інтерференційне дзеркало-шар діелектрика”.....	186
6.3.	Просвітлення перехідним діелектричним шаром.....	193
6.4.	Резонансні явища в призмових структурах з металевою плівкою.....	195
6.4.1.	Особливості кутових залежностей коефіцієнта відбивання.....	196
6.4.2.	Чутливість зміщення мінімуму коефіцієнта відбивання до зміни показника заломлення n_s	198
6.4.3.	Чутливість коефіцієнта відбивання від металевої плівки до зміни показника заломлення n_s	200
7	Фотонні кристали	203
7.1.	Метод плоских хвиль аналізу 2D фотонних кристалів.....	206
7.2.	Аналіз зонної структури 1D і 2D фотонних кристалів.....	208
7.2.1.	1D фотонний кристал.....	209
7.2.2.	2D фотонний кристал.....	213
7.2.3.	Побудова зонної структури 2D фотонного кристала.....	217
8	Резонансне поглинання в ґратках з металевими складовими	226
8.1.	Особливості планарних хвилеводів з металевими складовими.....	227
8.1.1.	Хвилевід: метал-діелектрик-метал.....	228
8.1.2.	Хвилевід: діелектрик-тонка плівка металу-діелектрик.....	230
8.1.3.	Хвилевід: метал-тонка плівка діелектрика діелектрик.....	234
8.1.4.	Хвилевід: діелектрик-шар діелектрика-тонка плівка металу-шар діелектрика-діелектрик.....	236
8.2.	Поглинання системою “діелектрична ґратка на металі”.....	236
8.2.1.	Визначення наближених параметрів ґратки повного поглинання на основі хвилеводного ефекту.....	237
8.2.2.	Повне поглинання системою “ґратка на металевій підкладці”.....	239
8.3.	Діелектричний хвилевід-металева ґратка металева підкладка.....	242
8.3.1.	Повне поглинання електромагнітних хвиль у структурі діелектрична плівка-металева ґратка.....	243

8.3.2. Поглинання електромагнітних хвиль у металевій гратці з прямокутним рельєфом ($d_1 = 0$)	244
8.3.3. Резонансно-хвильоводні явища в щілині гратки.....	246
8.4. Збудження граткою поверхневих плазмон-поляритонів.....	249
9 Пропускання ґраток з металевими складовими	258
9.1. Структура: металева плівка між двома діелектричними ґратками.....	258
9.2. Пропускання металевих ґраток з вузькими щілинами.....	263
9.3. Ґратка між двома діелектричними шарами.....	269
9.4. Металева плівка між двома тонкими ґратками.....	272
Список літератури	278