

М. Строшио, М. Дутта

Ф О Н О Н Ы В НАНОСТРУКТУРАХ

Перевод с английского
Б.В. Никифорова, В.Э. Пожара

ПОД РЕДАКЦИЕЙ ПРОФЕССОРА Г.Н. ЖИЖИНА



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ
2006

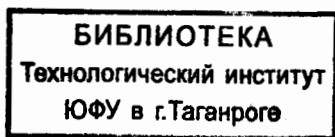
УДК 539.21
ББК 22.37
С 86

Строшио М., Дутта М. **Фононы в наноструктурах** / Пер. с англ. под ред. Г.Н. Жижина. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 320 с. — ISBN 5-9221-0656-2.

Книга представляет собой монографию крупных американских специалистов в области современной наноэлектроники. В ней систематически излагается теория, необходимая для понимания свойств наноструктур, изучения фононов и эффектов с их участием в наноструктурах с размерным ограничением по одной или более координатам.

Уровень изложения материала доступен для студентов и аспирантов, которые прослушали курс квантовой механики и курс физики твердого тела или твердотельных устройств. Предполагается также знание основ электромагнетизма и классической акустики.

519.262



ISBN 5-9221-0656-2 (рус.)
ISBN 0-521-79279-7 (англ.)

© ФИЗМАТЛИТ, 2006
© М. Строшио, М. Дутта, 2001

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----------|
| Предисловие редактора перевода | 7 |
| Предисловие | 10 |
| Глава 1. Фононы в наноструктурах | 14 |
| § 1. Фононные эффекты: фундаментальные ограничения на подвижность носителей заряда и динамические процессы | 14 |
| § 2. Целенаправленное изменение характера фононных взаимодействий при создании наноструктур с заданными свойствами | 17 |
| Глава 2. Фононы в кубических кристаллах | 20 |
| § 1. Кубическая структура | 20 |
| § 2. Ионная связь в полярных полупроводниках | 21 |
| § 3. Модель линейной цепочки и макроскопические модели | 22 |
| 3.1. Дисперсионные соотношения для высокочастотных и низкочастотных мод (22). 3.2. Распределение смещений атомов (25). 3.3. Поляритоны (25). 3.4. Макроскопическая теория полярных мод в кубических кристаллах (28). | |
| Глава 3. Фононы в кристаллах с решеткой вюрцита | 31 |
| § 1. Основные свойства фононов в кристаллах с решеткой вюрцита | 31 |
| § 2. Модель Лаудона для одноосных кристаллов | 33 |
| § 3. Применение модели Лаудона к нитридам группы АIIIВv | 39 |
| Глава 4. Свойства комбинационного рассеяния света на объемных фононах | 41 |
| § 1. Измерение дисперсионных соотношений в макроскопических образцах | 41 |
| § 2. Комбинационное рассеяние света в кристаллах типа цинковой обманки или вюрцита | 42 |
| 2.1. Кристаллы с решеткой цинковой обманки (43). 2.2. Кристаллы с решеткой вюрцита (44). | |
| § 3. Времена жизни в кристаллах типа цинковой обманки и вюрцита | 46 |
| § 4. Трехкомпонентные сплавы | 48 |
| § 5. Связанные плазмон-фононные моды | 49 |

| | |
|--|-----|
| Глава 5. Представление в числах заполнения | 51 |
| § 1. Амплитуды фононных мод и числа заполнения | 51 |
| § 2. Полярные оптические фононы: фрёлиховское взаимодействие | 57 |
| § 3. Акустические фононы и взаимодействие, описываемое деформационным потенциалом | 59 |
| § 4. Пьезоэлектрическое взаимодействие | 60 |
| Глава 6. Ангармоническая связь фононов | 62 |
| § 1. Неквадратичные члены кристаллического потенциала для ионно-связанных атомов | 62 |
| § 2. Канал Клеменса для процесса распада оптического фонона на два акустических фонона | 63 |
| § 3. Время жизни продольных оптических фононов в кубических кристаллах | 64 |
| § 4. Влияние времени жизни фононов на процессы релаксации носителей | 65 |
| § 5. Ангармонические эффекты в структурах с решеткой вюрцита: канал Ридли | 67 |
| Глава 7. Континуальные модели фононов | 69 |
| § 1. Диэлектрические континуальные модели фононов | 69 |
| § 2. Модель упругого континуума фононов | 74 |
| § 3. Оптические моды в размерно-ограниченных структурах | 79 |
| 3.1. Диэлектрическая континуальная модель мод пластины: нормировка интерфейсных мод (79). 3.2. Электрон-фононное взаимодействие в пластинах (85). 3.3. Моды пластины в размерно-ограниченных структурах с решеткой вюрцита (91). 3.4. Модель на основе матриц переноса для структур с множеством поверхностей раздела (100). | |
| § 4. Сравнение континуальной и микроскопической моделей фононов | 111 |
| § 5. Сравнение предсказаний диэлектрической континуальной модели с результатами исследований методами спектроскопии КРС | 114 |
| § 6. Континуальная модель акустических мод в размерно-ограниченных структурах | 119 |
| 6.1. Акустические фононы в изолированном свободном слое (120). 6.2. Акустические фононы в гетероструктурах с двумя поверхностями раздела (123). 6.3. Акустические фононы в квантовых проволоках прямоугольного сечения (128). 6.4. Акустические фононы в цилиндрических структурах (136). 6.5. Акустические фононы в квантовых точках (150). | |
| Глава 8. Рассеяние носителей на продольных оптических фононах | 158 |
| § 1. Фрёлиховский потенциал для продольных оптических фононов в объемных структурах типа цинковой обманки и вюрцита | 158 |

| | |
|---|------------|
| 1.1. Частоты рассеяния в объемных полупроводниках с решеткой цинковой обманки (158). 1.2. Частоты рассеяния в объемных полупроводниках с решеткой вюрцита (164). | |
| § 2. Фрелиховский потенциал в квантовых ямах | 168 |
| 2.1. Частоты рассеяния в структурах с квантовыми ямами, имеющих решетку цинковой обманки (169). 2.2. Частоты рассеяния в структурах с квантовыми ямами, имеющих решетку вюрцита (174). | |
| § 3. Рассеяние носителей на продольных оптических фононах в квантовых проволоках | 174 |
| 3.1. Частота рассеяния на объемных модах продольных оптических фононов в квантовых проволоках (175). 3.2. Частота рассеяния на размерно-ограниченных продольных оптических фононах в квантовых проволоках (178). 3.3. Частота рассеяния на интерфейсных продольных оптических модах фононов (183). 3.4. Коллективные эффекты и неравновесные фононы в полярных квантовых проволоках (191). 3.5. Снижение частоты рассеяния на интерфейсных фононах в структурах металл-полупроводник (193). | |
| § 4. Рассеяние носителей на LO-фононах в квантовых точках | 197 |
| Глава 9. Рассеяние носителей на акустических фононах | 202 |
| § 1. Рассеяние носителей на акустических фононах в объемных структурах с решеткой цинковой обманки | 202 |
| 1.1. Рассеяние на деформационном потенциале в объемных структурах с решеткой цинковой обманки (202). 1.2. Пьезоэлектрическое рассеяние в объемных полупроводниковых структурах (203). | |
| § 2. Рассеяние носителей на акустических фононах в двумерных структурах | 205 |
| § 3. Рассеяние носителей на акустических фононах в квантовых проволоках | 205 |
| 3.1. Цилиндрические проволоки (205). 3.2. Прямоугольные проволоки (212). | |
| Глава 10. Последние разработки | 218 |
| § 1. Фононные эффекты в лазерах на межподзонных переходах | 218 |
| § 2. Влияние размерного ограничения фононов на коэффициент усиления лазеров на межподзонных переходах | 226 |
| § 3. Вклад фононов в долинный ток в структурах с двумя барьерами | 233 |
| § 4. Увеличение инверсии населенности за счет фононных процессов в лазерах на квантовых ямах с асимметричным двойным барьером | 240 |
| § 5. Эффекты размерного ограничения фононов в тонкопленочных сверхпроводниках | 245 |
| § 6. Генерация акустических фононов в структурах с квантовыми ямами | 247 |

| | |
|---|-----|
| Глава 11. Заключительные соображения | 251 |
| § 1. Всеобъемлющая роль фононов в современных твердотельных устройствах | 251 |
| § 2. Тенденции: фононные эффекты в наноструктурах и фононные технологии | 252 |
| Приложения | 255 |
| Приложение А: теория Хуан Куня–Борна | 255 |
| Приложение Б: теория Вендлера | 256 |
| Приложение В: моды оптических фононов в структурах с двумя поверхностями раздела | 258 |
| Приложение Г: моды оптических фононов в структурах с решеткой вюрцита с одной и двумя поверхностями раздела | 270 |
| Г.1. Одноосные структуры с одной поверхностью раздела (271). | |
| Г.2. Одноосные структуры с двумя поверхностями раздела (276). | |
| Приложение Д: золотое правило Ферми | 288 |
| Приложение Е: эффекты экранирования в двумерном электронном газе | 291 |
| Список литературы | 295 |
| Предметный указатель | 314 |