

## БИБЛИОГРАФИЯ

Рецензия на книгу Е. Дьелесэна и Д. Ройе «Упругие волны в твердых телах». Приложение к обработке сигналов *Ondes elastiques dans les solides. Application au traitement du signal*. E. Dieulesaint, D. Royer. Masson et C<sup>ie</sup>, Editeurs, 1974, 407 стр.

В последние годы ультразвуковые методы нашли довольно широкое применение в радиоэлектронике, в частности при создании акустических устройств для обработки сигнальной информации. Появилась новая область акустики, которую иногда называют акустоэлектроникой, охватывающая изучение физики процессов распространения, возбуждения и взаимодействия упругих волн в твердых телах. Практические задачи стимулировали быстрое развитие этой области, свидетельством чему является рост числа публикаций по данной тематике. В проведение исследований и разработок в области акустоэлектроники включился большой круг радиоинженеров. В то же время многие физики, ведущие исследования в данной области, далеки от специфических вопросов теории сигналов и задач обработки сигнальной информации. Все это остро поставило вопрос о необходимости учебного пособия, достаточно полно и доступно излагающего физические основы распространения, возбуждения и применения ультразвуковых волн в твердых телах. В значительной степени этот пробел восполняет рецензируемая книга Е. Дьелесэна и Д. Ройе, которая вышла недавно во Франции в серии монографий по электронике под общей редакцией проф. П. Гриве. Книга содержит 9 глав, хорошо иллюстрирована (26 рисунков, 26 фотографий, 10 таблиц) и содержит 64 полезных упражнения.

В первой главе излагаются основы теории распространения волн (бегущие и стоячие волны, отражение волн, фазовая и групповая скорость волн, дисперсия) и основные положения теории сигналов (спектр, преобразование Фурье, отклик линейной системы, частотные характеристики системы, импульсный отклик, свертка и корреляция).

Во второй главе рассматриваются элементы кристаллографии: кристаллическая структура и симметрия кристаллов, стереографическая проекция, кристаллографические классы, решетки Браве. Более подробно обсуждаются кристаллические структуры наиболее часто применяемых в акустике твердого тела кристаллов ( $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{LiNbO}_3$  и др.).

Физические свойства кристаллов обсуждаются в третьей главе. Авторы кратко излагают основные сведения о тензорах и операциях с тензорными величинами, матричное представление тензоров и методы расчета матриц тензоров физических свойств для различных кристаллографических классов. Весьма полезным является параграф о собственных значениях и собственных векторах тензора второго ранга.

Следующая глава посвящена элементам теории упругости — статической теории упругости. Вводятся понятия тензоров деформации и напряжения, рассматриваются условия равновесия элемента объема, линейный обобщенный закон Гука и свойства тензора модулей упругости. В этой же главе обсуждается понятие энергии деформированного кристалла.

В пятой главе рассматривается распространение упругих волн в кристаллах. Глава начинается с общего описания возможных типов упругих волн в кристаллах: объемных, поверхностных и изгибных. Далее выводится уравнение Грина — Кристоффеля и рассматриваются свойства однородных плоских волн в анизотропной среде. Довольно подробно рассматриваются поток энергии в волне деформации и групповая скорость. Однако внутренняя коническая рефракция рассмотрена слишком кратко. Акустическая активность совсем не упоминается. Полезным является обсуждение вопросов, связанных с расчетом и построением характеристических волновых поверхностей. Изложение хорошо иллюстрируется примерами для наиболее характерных представителей различных кристаллографических классов. Достаточно подробно рассмотрены вопросы отражения волн от границы раздела кристаллов, обсуждается зависимость коэффициента отражения от угла падения, трансформация волн на границе раздела, отражение от свободной поверхности. Здесь же рассматриваются поверхностные волны: волны Лява, волны Релея. Рассматривается схема решения задачи для поверхностных волн и основные характеристики последних.



Глава 6 посвящена пьезоэлектричеству. Прежде всего авторы рассматривают принцип симметрии Кюри. Далее делается попытка модельного описания пьезоэлектричества. Подробно излагается феноменологическая теория пьезоэффекта, свойства тензора пьезоэлектрических коэффициентов, влияние симметрии кристалла на число независимых модулей. Распространение волн деформации в пьезоэлектрических кристаллах рассматривается в квазистатическом приближении. В качестве примеров подробно обсуждаются особенности распространения волн деформации в некоторых наиболее распространенных пьезоэлектрических кристаллах. В этой же главе рассматривается распространение поверхностных волн в пьезоэлектрических кристаллах, в том числе и недавно обнаруженных волн Гуляева — Блостейна. Пожалуй, заслуживает некоторой критики недостаточно четкое и полное изложение вопроса о коэффициенте электромеханической связи — весьма важного понятия при описании волн деформации в пьезоэлектриках.

В седьмой главе рассмотрены вопросы генерации и приема волн. Большое внимание авторы уделяют методам возбуждения гиперзвуковых волн в кристаллах. При этом рассматриваются только резонансные (пленочные) преобразователи, методы расчета характеристик преобразователей различной структуры, эквивалентные схемы, импедансы преобразователей. Кратко рассмотрена технология изготовления пленочных преобразователей.

Вторая часть этой главы посвящена методам возбуждения и приема поверхностных волн. Авторы подробно рассматривают устройство, принцип действия и методы расчета встречно-штыревых преобразователей поверхностных волн. Описывается метод дискретных источников для расчета сложных (аподизированных) преобразователей поверхностных волн. Очень кратко описана технология изготовления преобразователей.

Взаимодействие световых волн и волн деформации обсуждается в восьмой главе. Прежде всего авторы показывают наглядную физическую картину дифракции света на волнах деформации. Излагается теория распространения света в кристаллах, теория фотоупругости. Подробно излагается теория дифракции света на ультразвуковых волнах, дифракция Брэгга, в том числе и изотропная. Рассматривается параметр качества материалов и сравнивается эффективность наиболее распространенных оптико-акустических материалов. В заключение рассматривается дифракция света в оптическом волноводе, вызванная поверхностной волной.

Последняя, девятая глава посвящена применению волн деформации в твердых телах в устройствах для обработки сигнальной информации. Описываются линии задержки на объемных и поверхностных волнах, переменные акустооптические линии задержки. Подробно рассматриваются согласованные фильтры (фильтры сжатия) для ЛЧМ сигнала и реализация таких устройств на объемных и поверхностных волнах. Обсуждается устройство и принципы работы согласованных акустооптических фильтров, полосовых фильтров. Рассматриваются устройства для запоминания сигнала и получения функции свертки, многоэлектродные структуры со связанными волнами, дефлекторы и модуляторы оптического излучения. Глава очень хорошо иллюстрирована практическими примерами. При этом авторы используют самые последние достижения в данной области. Каждая глава заканчивается рядом интересных задач с решением.

К сожалению, в книге не рассмотрены два важных вопроса: основы физики взаимодействия волн деформации с электронами проводимости (хотя бы в пьезополупроводниковых кристаллах) и основы нелинейной кристаллоакустики.

В целом книга Е. Дьелесэна и Д. Ройе представляет собой отличное учебное пособие по новой области науки, возникшей на стыке физики твердого тела, акустики и радиоэлектроники. Книга будет очень полезна студентам старших курсов физических и радиотехнических специальностей, аспирантам-физикам и радиоэлектроникам, инженерам и научным работникам, ведущим исследования в области физики ультразвука, и разработчикам радиоэлектронных устройств и систем; ее можно рекомендовать к переводу на русский язык.

*В. Е. Лямов*