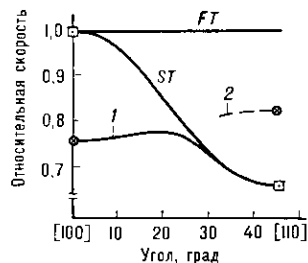


поток энергии, оставаясь в плоскости распространения, отклоняется от направления волновой нормали; имеет место каналирование энергии поверхностных волн, излучаемых точечным источником, и т. д. Скорость поверхностной волны, как правило, меньше фазовой скорости любой из объёмных волн, распространяющихся в том же направлении. Однако в кристаллах со значит. степенью анизотропии (даже в кристаллах высокой симметрии — кубических и гексагональных) существуют срезы с особыми направлениями; по мере приближения направления распространения поверхностной волны к такому направлению возрастает глубина проникновения волны, скорость волны приближается к фазовой скорости v_{ST} медленной поперечной моды объёмных волн, и поверхностная волна превращается в линейно поляризованную объёмную волну (рис. 6). В то же вре-

Рис. 6. Скорости поверхностных волн при распространении их в плоскости (001) кристалла никеля: 1 — поверхностная волна рэлеевского типа, 2 — псевдоповерхностная волна, FT и ST — скорости быстрых и медленных квазипоперечных волн.



мя вдоль особого направления может распространяться чисто рэлеевская поверхностная волна со скоростью, большей v_{ST} . Эта волна даёт начало ветви псевдоповерхностных, или т. н. вытекающих, волн: при распространении вдоль направлений, отличных от особого, такие волны излучают в глубь кристалла объёмную волну. За счёт излучения псевдоповерхностные волны при распространении затухают. Помимо рэлеевских и псевдоповерхностных волн в ряде кристаллов распространяются поверхностные волны др. типов. В пьезоэлектриках возможно распространение электроакустич. сдвиговых волн (волн Блюштейна — Гуляева), в магн. кристаллах существуют поверхностные *магнитоупругие волны*, в т. ч. чистосдвиговые.

Поверхностные акустич. волны в кристаллич. подложках нашли широкое применение в совр. технике в качестве линий задержек, фильтров, устройств обработки информации и др.

Нелинейные акустические эффекты в кристаллах. Нелинейная К. исследует распространение и взаимодействие УЗ-волн конечной амплитуды в кристаллах. В кристаллах имеет место релаксационный ангармонизм (см. *Колебания кристаллической решётки*), описываемый соотношениями нелинейного Гука закона, но существуют и др. механизмы акустич. нелинейности. Они возникают за счёт взаимодействия упругих деформаций с разл. видами возбуждений кристалла. Так, в полупроводниках существенна электронная акустич. нелинейность, обусловленная нелинейной зависимостью концентрации носителей заряда от деформации, вызванной акустич. волной, в пьезоэлектрич. кристаллах значит. роль играют нелинейный пьезоэффект, электрострикция и т. п.

В кристаллах наблюдаются те же нелинейные эффекты, что и в изотропных телах: генерация гармоник, нелинейное поглощение, нелинейное взаимодействие волн с образованием волн суммарной и разностной частоты, в т. ч. комбинац. рассеяние звука на звуке, и т. д. Однако нелинейная акустика кристаллов отличается сложностью и многообразием этих эффектов. Существование трёх ветвей акустич. колебаний увеличивается в кристаллах число видов нелинейного взаимодействия акустич. волн, разрешённых условиями фазового синхронизма. Возможность того или иного вида взаимодействия, а также его эффективность зависят от ориентации волновых нормалей взаимодействующих волн от-

носительно кристаллографич. осей. Эффективность волнового взаимодействия в кристаллах связана со взаимным расположением взаимодействующих акустич. пучков. Она максимальна, когда совпадают направления лучей для всех волн, участвующих во взаимодействии. В кристаллах, однако, из-за различия фазовых и лучевых скоростей направления взаимодействующих пучков часто не совпадают даже при коллинеарности волновых векторов взаимодействующих волн.

Акустич. волны в кристаллах используют для создания УЗ- и гиперзвуковых линий задержки, резонаторов, разл. устройств акустоэлектроники и акустооптики, для излучения и приёма УЗ-сигналов, измерений механич. деформаций и напряжений, измерений модулей упругости и др. физ. величин.

Лит.: Федоров Ф. И., Теория упругих волн в кристаллах, М., 1965; Musgrave M. J. P., Crystal acoustics. Introduction to the study of elastic waves and vibrations in crystals, S. F., 1970; Труалл Р., Эльбаум Ч., Чик Б., Ультразвуковые методы в физике твёрдого тела, пер. с англ., М., 1972; Фарелл Дж., Свойства упругих поверхностных волн, в кн.: Физическая акустика, под ред. В. Мэсона и Р. Терстона, пер. с англ., т. 6, М., 1973; Auld В. А., Acoustic fields and waves in solids, v. 1—2, N. Y., 1973; Александров К. С., Акустическая кристаллография, в кн.: Проблемы современной кристаллографии, М., 1973; Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П., Основы кристаллофизики, 2 изд., М., 1979; Балакирев М. К., Гилинский И. А., Волны в пьезокристаллах, Новосиб., 1982; Акустические кристаллы, под ред. М. П. Шаскольской, М., 1982; Вольф Дж., Баллистические тепловые импульсы в кристаллах, в кн.: Физика за рубежом, пер. с англ., М., 1982; Лямов В. Е., Поляризационные эффекты и анизотропия взаимодействия акустических волн в кристаллах, М., 1983; Красильников В. А., Крылов В. В., Введение в физическую акустику, М., 1984.

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ (от *кристаллы* и греч. *gráphō* — пишу, описываю) — наука об атомно-молекулярном строении, симметрии, физ. свойствах, образовании и росте кристаллов. Зародилась в древности в связи с наблюдениями над природными кристаллами, имеющими естеств. форму правильных многогранников. Как самостоят. наука К. существует с сер. 18 в. В 18—19 вв. развивалась в тесной связи с минералогией как дисциплина, устанавливающая закономерности ограничен кристаллов [Р. Гаюи (R. Haüy), 1784]. Была разработана теория симметрии кристаллов — их внеш. форм (А. В. Гадолин, 1867) и внутр. строения [О. Браве (A. Bravais), 1848; Е. С. Фёдоров; А. Шёнфлис (A. Schoenflies), 1891]. Совокупность методов описания кристаллов и закономерности их ограничения составляют содержание геометрической К. На основе геом. К. возникла гипотеза об упорядоченном трёхмерно-периодич. расположении в кристалле составляющих его частиц, в совр. понимании — атомов и молекул, к-рые образуют *кристаллическую решётку*. Матем. аппарат К. основан на дискретной геометрии, теории групп, тензорном исчислении и теории преобразований Фурье.

Исследования дифракции рентг. лучей в кристаллах [M. Laue (M. Laue), 1912] экспериментально подтвердили их периодич. решётчатое строение. Первые рентгенографич. расщепления атомной структуры кристаллов NaCl, алмаза, ZnS и др., осуществлённые в 1913 У. Г. Брэггом (W. H. Bragg) и У. Л. Брэггом (W. L. Bragg), положили начало структурной К. Изучение прохождения света через кристаллы позволило сформулировать закономерности анизотропии свойств кристаллов (см. *Кристаллооптика*). Дальнейшее изучение атомной структуры кристаллов связано с именами Л. Полинга (L. Pauling), В. Гольдшмидта (V. Goldschmidt), Дж. Бернала (J. Bernal) и Н. В. Белова; исследование физ. свойств кристаллов и их роста — с именами И. Н. Странского (I. N. Stranski), Г. В. Вульфа, А. В. Шубникова и др.

Для совр. К. характерны дальнейшее исследование атомной и дефектной структуры кристаллов, процессов их роста и поиск новых свойств кристаллов как единой комплексной проблемы, направленной на получение новых материалов с важными физ. свойствами. Резуль-