

в плоскости симметрии, и направления в плоскостях, перпендикулярных осям симметрии чётных (2-го, 4-го или 6-го) порядков, являются поперечными нормальными, причём векторы колебаний чисто поперечных волн перпендикулярны плоскости распространения. Ориентация продольных и поперечных нормалей, а также акустич. осей может и не быть связанной с направлениями высокой симметрии. Так, напр., в триклинных кристаллах, где оси и плоскости симметрии отсутствуют, обязательно существуют продольные нормали и акустические оси.

Характеристические поверхности. Фазовые скорости упругих волн в кристаллах зависят от направления распространения. Наглядно такая зависимость представляется с помощью поверхности, образованной концами векторов фазовых скоростей для всевозможных направлений распространения. Поверхность фазовых скоростей состоит из трёх полостей, каждая из к-рых отвечает одному из типов упругих волн. Полость, отвечающая квазипродольным волнам, охватывает полости, соответствующие квазипоперечным волнам, не имея, как правило, с ними общих точек. Полости квазипоперечных волн пересекаются (или касаются) либо в отд. точках, либо вдоль линий; совокупность таких общих точек определяет направления акустич. осей в кристалле. Форма поверхности скоростей передаёт симметрию упругих свойств кристалла — наличие и положение осей и плоскостей симметрии. В изотропной среде поверхность скоростей превращается в две concentric. сферы, причём две поверхности, отвечающие поперечным волнам разл. поляризации, сливаются в одну сферу. В кристаллах поверхности скоростей представляют собой сложные геом. образы, поэтому на практике используют сечения таких поверхностей плоскостями разл. ориентации, обычно связанными с элементами симметрии кристалла (рис. 1).

Чаще в К. используются две др. характеристич. поверхности: поверхность волновых векторов и поверхность медленностей (поверхность обратных скоростей или поверхность рефракции).

Поверхность волновых векторов образуется концами векторов $K = \omega n/c(n)$, проведённых из начала координат во всех направлениях и отвечающих одному и тому же значению круговой частоты ω . Поверхность медленностей (поверхность обратных скоростей или поверхность рефракции) образуется концами векторов $n/c(n)$, отличающаяся от поверхности волновых векторов лишь масштабным множителем $1/\omega$. Поверхность волновых векторов имеет вид поверхности скоростей, состоит из трёх полостей, отвечающих упругим волнам разл. поляризации.

Перенос акустической энергии в кристалле. При распространении плоской волны в анизотропной среде поток энергии отклоняется от волновой нормали. Скорость переноса энергии определяется вектором лучевой скорости e_g , равным отношению средней по времени плотности потока энергии I к средней плотности энергии W в волне: $e_g = I/W$. Понятие лучевой скорости играет ключевую роль в К., поскольку реально в среде распространяются не бесконечные волны, а пучки конечной апертуры, поэтому направления их распространения задаются переносом энергии, а не фазы (рис. 2). Лучевая скорость e_g совпадает с групповой скоростью

$d\omega/dk$, понятие к-рой вводится, когда акустич. пучок рассматривается как совокупность плоских волн, слегка отличающихся направлениями волновых нормалей. Компоненты вектора лучевой скорости упругой волны с волновой нормалью n и поляризацией U определяются соотношением

$$c_{gi} = \frac{1}{\rho c} C_{ijkl} n_j U_l U_m \quad (4)$$

Проекция лучевой скорости e_g на направление волновой нормали n равна фазовой скорости волны c . Луче-

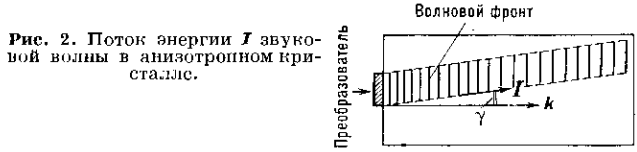


Рис. 2. Поток энергии I звуковой волны в анизотропном кристалле.

вая скорость равна фазовой только тогда, когда она направлена вдоль волновой нормали. Направления, для к-рых это имеет место, наз. направлениями чистых мод; вдоль них обычно направляют пучки УЗ-волн в акустоэлектронных и акустооптич. устройствах. Во всех остальных случаях лучевая скорость по абс. величине больше фазовой: $c_g > c$. Для мн. кристаллов угол γ между I и k может достигать десятков градусов (напр., в кварце SiO_2 , паратеелуриде TeO_2 и др.). Степень анизотропии лучевой скорости для упругих волн разл. поляризаций наглядно представляется с помощью поверхностей лучевых скоростей, образованных концами векторов e_g при всевозможных положениях луча в пространстве.

Лучевая скорость для волны с заданным вектором k направлена по нормали к поверхности волновых векторов $\omega(k) = const$ в точке, определяемой вектором k (рис. 3, а). Лучевая скорость совпадает с фазовой для тех точек этой поверхности, нормаль к к-рым направле-

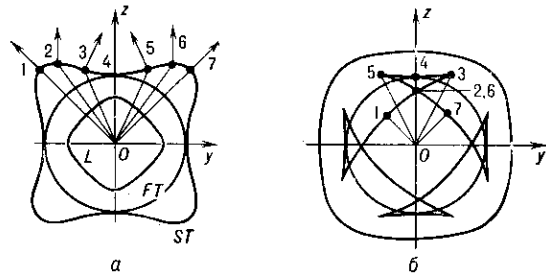


Рис. 3. Сечение поверхностей волновых векторов (а) и лучевых скоростей (б) плоскостью (100) кристалла никеля. Стрелки на рис. а задают направления лучевых скоростей, отвечающих выделенным направлениям волновых нормалей.

на вдоль их радиусов-векторов (точки 1, 7 на рис. 3). Эти точки соответствуют экстремумам и др. стационарным точкам поверхности, в к-рых $\partial c(n)/\partial n = 0$, и определяют направления чистых мод. Особый характер имеет зависимость e_g от направления n в тех кристаллах, у к-рых поверхность волновых векторов имеет не только выпуклые, но и вогнутые участки. При непрерывном перемещении направления волновой нормали с одного выпуклого участка на другой через область отрицат. кривизны вектор e_g дважды принимает одно и то же значение (точки 2, 6, рис. 3, б). Как отражение этого факта поверхность лучевых скоростей для соответствующего направления луча имеет самопересечение, образуя складку. Складки и др. топологич. особенности поверхности лучевых скоростей означают, что вдоль одного луча может распространяться несколько (в т. ч. и бесконечное множество) волн одной и той же частоты, принадлежащих к одной ветви колебаний, но различающихся направлениями своих волновых нормалей n : на рис. 3 (б) вдоль луча Oz распространяются

же значению круговой частоты ω . В пространстве волновых векторов эта поверхность описывается ур-нием $\omega(k) = const$. Поверхность медленностей, образованная концами векторов $n/c(n)$, отличается от поверхности волновых векторов лишь масштабным множителем $1/\omega$. Поверхность волновых векторов, так же как и поверхность скоростей, состоит из трёх полостей, отвечающих упругим волнам разл. поляризации.

Перенос акустической энергии в кристалле. При распространении плоской волны в анизотропной среде поток энергии отклоняется от волновой нормали. Скорость переноса энергии определяется вектором лучевой скорости e_g , равным отношению средней по времени плотности потока энергии I к средней плотности энергии W в волне: $e_g = I/W$. Понятие лучевой скорости играет ключевую роль в К., поскольку реально в среде распространяются не бесконечные волны, а пучки конечной апертуры, поэтому направления их распространения задаются переносом энергии, а не фазы (рис. 2). Лучевая скорость e_g совпадает с групповой скоростью