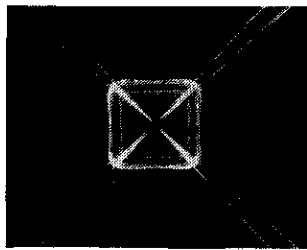


волны с волновыми нормальными, определяемыми точками 2, 4, 6 поверхности волновых векторов.

Эффекты, связанные с топологией характеристик поверхности, особенно существенны при распространении излучения, создаваемого точечными источниками. В изотропной среде поток звуковой энергии, излучаемой точечным источником, равномерно распределён по всем направлениям. Если такой источник поместить в кристаллич. среду, то энергия излучения переносится преим. вдоль определ. кристаллографич. направлений. Этот эффект преимущественного распространения (концентрирования, каналирования) энергии акустич. излучения вдоль выделенных направлений в анизотропной среде наз. фононной фокусировкой. Анизотропия потока акустич. энергии от точечного источника характерна для всех кристаллов, однако фононная фокусировка возможна лишь в тех из них, поверхность волновых векторов (поверхность медленно-стей) k -рых содержит перегибы — области перехода от выпуклых участков поверхности к вогнутым, обладающие малой кривизной. Все волны с волновыми векторами k , лежащими в нек-рой окрестности точки перегиба (точки 3 или 5, рис. 3, а), переносят свою энергию в одном и том же направлении. Это направление соответствует точке возврата (лучи 3 или 5, рис. 3, б) на поверхности лучевых скоростей. Экспериментально явление фононной фокусировки наблюдалось при возбуждении акустич. ВЧ-волн (акустич. фононов) тепловым импульсом в нек-рых кристаллах (Ge, Si и др.) при низких темп-рах, когда возможно баллистич. (бесстолкновительное) распространение тепловых фононов по кристаллу. Измерение фононных потоков в кристал-

Рис. 4. Фононная фокусировка в германии в направлении [100]. Светлые области соответствуют акустической энергии, приходящей от точечного источника на задней поверхности кристалла Ge.



лах по разл. направлениям приводит к сложной картине углового распределения потока звуковой энергии, идущего от теплового источника (рис. 4).

Количественно эффект перераспределения потока энергии для луча g характеризуется коэф. концентрирования энергии A_g . Если вокруг g выделить конус лучей $d\Omega_g$, то все волновые нормали, k -рым соответствуют лучевые скорости внутри этого конуса, будут заключены внутри телесного угла $d\Omega_n$, при этом $A_g = -d\Omega_n/d\Omega_g$. В изотропной среде $A_g = 1$, в кристалле A_g может быть как больше, так и меньше единицы в зависимости от направления луча g . Для направлений, вдоль k -рых концентрируется поток энергии при фононной фокусировке, коэф. концентрирования обращается в бесконечность. Интенсивность излучения I в сферич. волне, излучаемой точечным источником в изотропной среде, убывает с расстоянием r как $1/r^2$. В анизотропной среде зависимость I от расстояния различна для разных направлений; в направлениях концентрирования при фононной фокусировке I убывает с расстоянием гораздо медленнее, чем в изотропной среде: $I \sim 1/r^\alpha$, где $\alpha < 2$. В частности, может быть $\alpha = 1, 3/2, 4/3$ и т. д. в зависимости от топологии поверхности волновых векторов.

При распространении упругих волн вдоль акустич. оси в кристалле может наблюдаться внутренняя коническая рефракция. При распространении поперечных волн разл. поляризации в направле-

нии акустич. оси их лучевая скорость отклоняется от волновой нормали, причём направление отклонения зависит от поляризации волны. При повороте вектора смещения в плоскости поляризации соответствующий ему луч также поворачивается, описывая конус, являющийся геом. местом возможных направлений потока энергии. Внутри конич. рефракция наблюдается, напр., при распространении чисто сдвиговых волн вдоль осей симметрии 3-го порядка (гл. осей симметрии [001] в тригональных кристаллах; направление [111] вдоль диагонали куба в кубич. кристаллах). Все возможные направления акустич. лучей в этом случае образуют круговой конус; отклонение лучей от акустич. оси характеризуется углом конич. рефракции, k -рый имеет во мн. кристаллах значит. величину и составляет, напр., в кальците $\text{CaCO}_3 \sim 30^\circ$, в кварце $\sim 17^\circ$, в поваренной соли $\text{NaCl} \sim 10^\circ$, ниобате лития $\text{LiNbO}_3 \sim 8^\circ$.

В кристаллах (напр., в цинке в направлении [001]) возможно также явление внешней конической рефракции, k -рое состоит в том, что вдоль этого направления может распространяться множество квазипоперечных волн с волновыми нормальными, образующими конус вокруг направления луча. После прохождения границы раздела с изотропной средой такие волны преломляются и расходятся в изотропной среде по конич. поверхности (рис. 5).

Акустическая активность кристаллов. На гиперзвуковых частотах пространственная периодичность кристаллич. решётки приводит к пространственной дисперсии упругих свойств — становится существенной зависимость упругих напряжений не только от деформаций, но и от их пространственных производных. Поправки, связанные с пространственной дисперсией, пропорциональны отношению параметра решётки a к длине звуковой волны λ и всегда малы. Наличие же даже слабой пространственной дисперсии приводит к тому, что вдоль акустич. оси распространяется не множество поперечных волн с одной и той же фазовой скоростью c_0 , а две циркулярно поляризованные волны с векторами поляризации, вращающимися в противоположные стороны, и со слегка различающимися скоростями c_1 и c_2 : $c_{1,2} = c_0 \pm kG/\rho$, где k — волновое число, G — параметр акустич. гирации.

При возбуждении в направлении акустич. оси плоско поляризованной сдвиговой волны пространственная дисперсия приводит к явлению акустич. активности — способности кристалла поворачивать плоскость поляризации такой волны. Возбуждаемая волна является суперпозицией лево- и правополяризованной волн. По мере распространения в глубь кристалла увеличивается фазовый сдвиг между этими волнами из-за различия скоростей их распространения. Результирующее акустич. поле представляет собой плоскополяризованную волну, плоскость поляризации k -рой поворачивается по мере продвижения в глубь кристалла. Угол поворота φ линейно растёт с проходимым волной расстоянием L и пропорционален квадрату частоты: $\varphi = \omega^2 LG/2\rho c_0^4$. По порядку величины $\varphi \sim k^2 a L$ и акустич. активность существенно только на гиперзвуковых частотах. Экспериментально акустич. активность наблюдалась в кварце: угол поворота на частоте 1 ГГц при длине пути 1 см составляет 130° . Искусств. акустич. активность возникает в магн. кристаллах типа иттриевого граната, помещённых в магн. поле, за счёт магнитоупругого взаимодействия (акустич. аналог Фарадея эффекта).

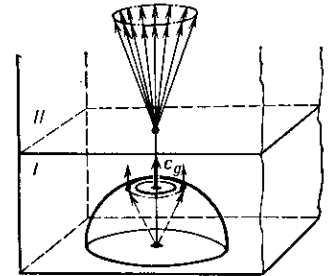


Рис. 5. Внешняя коническая рефракция на поверхности (001) кристалла Zn (I), граничащего с изотропной средой (II).