

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Giles C. H., MacEwan T. H., Nakhwa S. N., Smith D. // J. Chem. Soc. 1960. N 10. P. 3973.
- [2] Сенаторова Н. Р., Рыжиков Б. Д. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1988. 29, № 1. С. 43.
- [3] Де Бур Я. X. Динамический характер адсорбции. М., 1976.
- [4] Кауль С. И., Сенаторов П. К. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1990. 31, № 6. С. 37.
- [5] Шлезингер М., Клафтер Дж. // Фракталы в физике: Тр. VI Междунар. симп. по фракталам в физике. Триест, Италия, 9—12 июля 1985 г. М., 1988. С. 553.
- [6] Иваньян Л. И., Левшин Л. В., Рыжиков Б. Д. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1995. 36, № 1. С. 32.

Поступила в редакцию
29.07.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995, Т. 36, № 1

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 534.2

ФОКУСИРОВКА ФОНОНОВ В ПАРАТЕЛЛУРИТЕ

К. Н. Баранский, Л. Н. Мамина, И. В. Шляхов

(кафедра физики полимеров и кристаллов)

Определены направления фокусировки и дефокусировки фононов в кристалле парателлурита. На равномерных сетках направлений волновых нормалей отображены угловые положения соответствующих им лучей трех акустических мод. Установлена связь концентрации лучей с экстремумами групповой и фазовой скоростей необыкновенных волн в парателлурите.

Фокусировкой фононов принято называть концентрацию лучей (s) и энергии необыкновенных акустических волн около некоторых направлений в кристалле [1, 2]. Направления фокусировки фононов определяются особенностями поверхностей фазовых (V) и групповых (S) скоростей кристалла, образованных их векторами, построенными из начала кристаллофизической системы координат. Так, если точка касания этих поверхностей ($V=S$) соответствует их локальным максимумам, то к этому направлению отклоняются векторы лучей необыкновенных волн, имеющих различные направления нормалей n . Такие главные направления фокусировки особенно удобны для возбуждения коллимированных групп акустических волн, так как по ним распространяются обыкновенные волны ($n=s$) и они могут совпадать с осями и плоскостями симметрии упругих свойств кристалла. Если же точка касания поверхностей соответствует минимуму одной и максимуму другой скорости, то ей соответствует направление дефокусировки фононов — минимальной концентрации энергии акустических волн. Из окрестностей таких направлений волновых нормалей векторы лучей отклоняются к направлениям фокусировки фононов. Неоднородность распределения энергии волн особенно ярко выражена у кристаллов с сильной анизотропией упругих свойств. К таким кристаллам относится кристалл парателлурита (TeO_2), широко применяемый в акустооптике [3, 4], где особенно важно получение хорошо коллимированных акустических волн. Этот пьезоэлектрический кристалл принадлежит к классу 422 и группе упругой симметрии $4/mmm$, его упругие, пьезоэлектрические

и диэлектрические свойства подробно исследованы в ряде работ [5, 6]. В окрестности направлений координатных осей упругой симметрии второго порядка [100] и [010] фазовая скорость быстрых квазипоперечных (QFT) волн оказывается больше фазовой скорости квазипродольных (QL) волн. По этой причине три полости поверхности фазовых скоростей парателлурифта нельзя отождествлять с волнами какого-то одного вида поляризации. Им принадлежат волны с минимальной, средней и максимальной скоростями (полости обозначаются M_1 , M_2 и M_3 соответственно [1, 5]).

Для определения направлений фокусировки нужно рассчитать и графически представить угловое распределение векторов лучей волн, соответствующих заданному равномерному распределению направлений волновых нормалей. С этой целью последовательно перебираются направления нормали, задаваемое углами φ и θ , которые отсчитываются соответственно от положительных направлений осей OX_1 и OX_3 . Для каждого направления рассчитываются значения компонент векторов скоростей V , поляризаций p , групповых скоростей S и лучей s трех волн, распространяющихся по этому направлению. Направления векторов s определяются соответствующими им значениями углов φ_s и θ_s . Значения углов φ и θ перебираются с шагами в 1 и 5°. В сетке углов на рис. 1—3 угол φ отсчитывается против часовой стрелки от направления оси OX_1 , внешний сплошной круг служит его шкалой. Угол θ отсчитывается линейно от центра по радиусу ($R=\theta^0$). Центр сетки ($\theta=0$) соответствует оси OX_3 , продольной акустической оси кристалла. Внешний круг ($\theta=90^\circ$) соответствует направлениям, лежащим в плоскости X_1OX_2 упругой симметрии кристалла (001). Диаметры при $\varphi=0, 45, 90$ и 135° включают направления, лежащие в плоскостях упругой симметрии (010), ($\bar{1}\bar{1}0$), (100) и (110). Их пересечения с плоскостью (001) — оси упругой симметрии второго порядка. По всем осям распространяются обыкновенные продольные (L) и поперечные (T) волны. В плоскостях симметрии распространяются T -волны, поляризованные перпендикулярно к ним, и квазипоперечные (QT) и квазипродольные (QL) волны, поляризованные в этих плоскостях. Лучи необыкновенных волн, распространяющихся в плоскости симметрии, отклоняются от своих нормалей, оставаясь в этой же плоскости.

На рис. 1, 2 и 3 точками отображены угловые распределения векторов лучей волн, принадлежащих к трем полостям: M_1 , M_2 и M_3 поверхности фазовых скоростей V парателлурифта. Области сгущения точек соответствуют направлениям фокусировки фононов, к которым отклоняются лучи из областей дефокусировки.

На рис. 1 ось OX_3 — главное направление фокусировки медленных поперечных (ST) и квазипоперечных (QST) волн, ему соответствуют акустическая ось, точка касания и локальный максимум поверхностей скоростей V и S . Четырехугольные контуры, образованные лучами и соответствующие нормалям с $\theta=\text{const}$, прерываются линиями фокусировки фононов, ограничивающими секторы дефокусировки. В плоскости (001) не отклоненные от нормалей лучи обыкновенных ST -волн, поляризованных по оси OX_3 , образуют дуги в окрестностях осей OX_1 и OX_2 . Лучи в плоскостях симметрии ($\bar{1}\bar{1}0$) и (110) отклоняются к оси OX_3 и осям [$\bar{1}\bar{1}0$] и [110].

На рис. 2 лучи QFT -волн расходятся из окрестности оси OX_3 , образуя область дефокусировки. Они описывают сложные контуры с завитками в окрестностях плоскостей симметрии (010) и (100). В результате образуется четырехугольная область фокусировки фононов.

Fig. 2

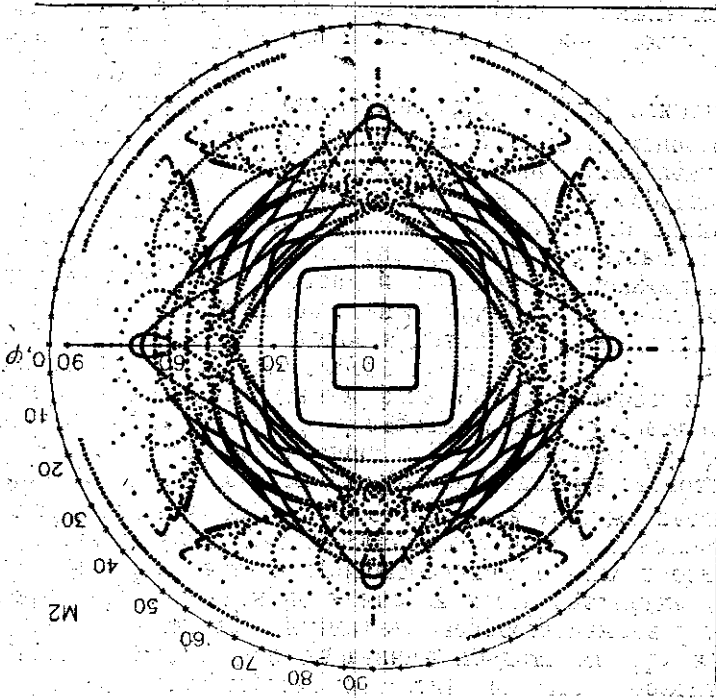
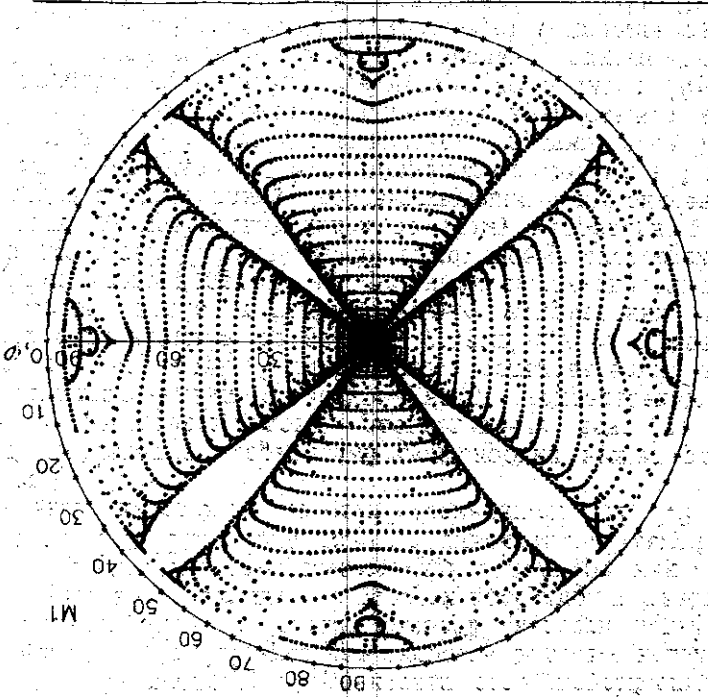


Fig. 1



В плоскости (001) лучи обыкновенных FT -волн образуют дуги в окрестностях осей $[1\bar{1}0]$ и $[110]$, дополняющие дуги обыкновенных волн ST той же поляризации на рис. 1. В этих направлениях концентрация лучей существенно выше, чем в областях дефокусировки фононов, и они удобны для возбуждения коллимированных волн.

На рис. 3 распределение лучей L - и QL -волн полости $M3$ образу-

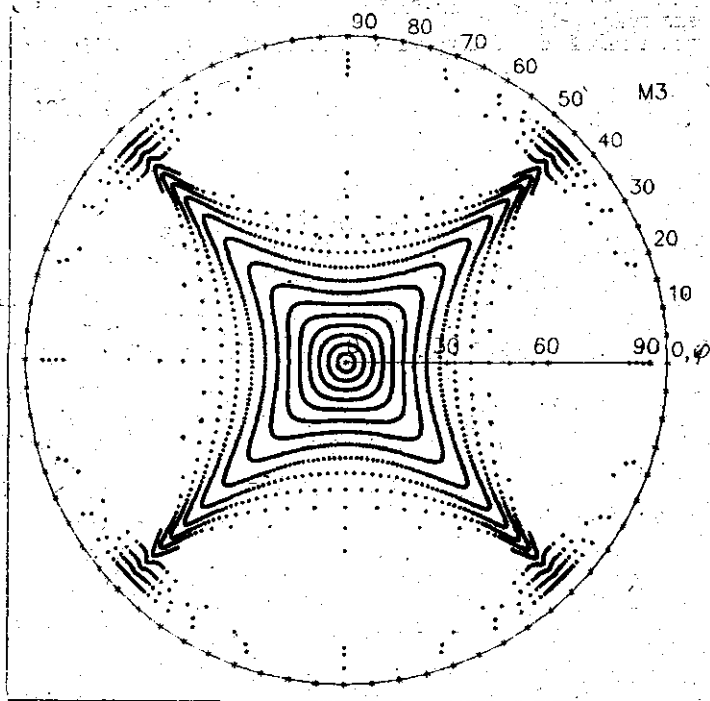


Рис. 3

ет главное направление фокусировки по оси Ox_3 и в плоскостях $(1\bar{1}0)$ и (110) . Именно эти направления распространения L - и QL -волн и используются в акустооптике. В интервалах углов $70^\circ < \theta < 110^\circ$ и $-8^\circ < \varphi < 8^\circ$ распространяются QFT -волны. Области дефокусировки этой полости довольно обширны.

Для эффективного использования явления фокусировки необходимо возбуждать расходящиеся волны, лучи которых фокусируются в избранном направлении. Это может осуществляться как путем уменьшения размеров пьезопреобразователя, что ведет к увеличению дифракционной расходимости волн, так и путем использования поверхностей специальной формы, обеспечивающих фокусировку волн. В направлениях фокусировки фононов возбуждение волн с вогнутой поверхности может привести как к коллимированию, так и к образованию каустики лучей. Условия пьезоэлектрического возбуждения парателлурита, обладающего поперечным пьезоэффектом, приводят к необходимости использования преобразователей на основе более эффективных пьезоэлектриков. Преобразователи в виде пленок пьезополупроводников на изогнутых поверхностях успешно используются для фокусировки гиперзвуковых волн в рубине [7].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П. Основы кристаллофизики. М., 1975.
- [2] Every A. G., Sachse W., Kim K. Y., Thompson M. O. // Phys. Rev. Lett. 1990. 65, N 12. P. 1446.
- [3] Voloshinov V. V. // Opt. Engineering. 1992. 31. P. 2089.
- [4] Воронова М. А., Парыгин В. И. // Вести Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1988. 29, № 6. С. 27.
- [5] Ohmachi Y., Uchida N. // J. Appl. Phys. 1969. 40. P. 4692.
- [6] Писаревский Ю. В., Сильвестрова И. М., Воронков Е. В. и др. // Кристаллография. 1987. 32. С. 257.
- [7] Ганапольский Е. М. // Письма в ЖЭТФ. 1988. 47. С. 111; 1988. 48. С. 370.

Поступила в редакцию
06.06.94