

ВЛИЯНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В КРИСТАЛЛЕ ТЕЛЛУРА

П.В. Мальнева, Н.В. Поликарпова

*Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова,
физический факультет
malneva@physics.msu.ru*

Большое внимание ученых в последние годы сосредоточено на исследовании сред естественного и искусственного происхождения, обладающих необычными физическими свойствами. Например, было обнаружено, что в кристаллических, периодических и композитных структурах углы между фазовой и групповой скоростью волны могут принимать практически любые значения [1-2]. Известно, что в акустооптических устройствах последнего поколения применяются именно такие кристаллические материалы, у которых, например, акустические или оптические свойства, необычны. Оказалось, что волны в таких материалах могут распространяться довольно необычно. Особый интерес для современной акустооптики представляют новые среды, в которых не совпадают направления фазовой и групповой скорости акустических волн. Известно, что значительная угловая зависимость акустических скоростей является причиной существования в этих кристаллах больших углов акустического сноса, т. е. углов между волновым вектором и вектором Умова-Пойнтинга. Например, в кристалле парателлурита волновые векторы фазовой и групповой скорости разделяет рекордно большой угол $\psi = 74^\circ$ [3-4]. Так же, к материалам, характеризующимся достаточно большим акустическим сносом, относится и монокристаллический теллур (Te). А так как данный кристалл обладает достаточно сильными пьезоэлектрическими свойствами, интересно провести исследование по влиянию пьезоэффекта на особенности поведения упругих волн в этом материале [5].

Значения упругих характеристик, а именно, скоростей и поляризаций акустических волн, в кристалле теллура для различных направлений распространения ультразвука были посчитаны с помощью численного решения уравнения Грина-Кристоффеля [3-4]. Для кристалла теллура были использованы следующие величины плотности $\rho = 6,25 \text{ г/см}^3$ и упругих коэффициентов $c_{11} = 3,27 \cdot 10^{11} \text{ дин/см}^2$, $c_{12} = 0,86 \cdot 10^{11} \text{ дин/см}^2$, $c_{13} = 2,49 \cdot 10^{11} \text{ дин/см}^2$, $c_{33} = 7,22 \cdot 10^{11} \text{ дин/см}^2$, $c_{14} = +1,24 \cdot 10^{11} \text{ дин/см}^2$ и $c_{44} = 3,12 \cdot 10^{11} \text{ дин/см}^2$ [3]. При расчетах значение константы c_{14} было выбрано положительным, что соответствует левой модификации данного материала [3-4]. Пьезоэлектрический эффект может быть описан следующими значениями констант: $e_{11} = 0,42 \text{ к/м}^2$ и $e_{14} = 0,17 \text{ к/м}^2$, тогда ужесточенные модули упругости равны $c_{11}^E = 3,26 \cdot 10^{11} \text{ дин/см}^2$, $c_{12}^E = 0,845 \cdot 10^{11} \text{ дин/см}^2$,

$c_{13}^E = 2,57 \cdot 10^{11}$ дин/см², $c_{33}^E = 7,17 \cdot 10^{11}$ дин/см², $c_{14}^E = +1,24 \cdot 10^{11}$ дин/см² и $c_{44}^E = 3,09 \cdot 10^{11}$ дин/см².

На основе имеющихся констант были рассчитаны зависимости акустической скорости для различных направлений распространения упругих волн. Анализ проводился с учетом пьезоэлектрического эффекта и без него [5]. На рис. 1 представлены кривые, иллюстрирующие зависимости (а) акустической медленности ($1/V$) и (б) угла поляризации волны от направления распространения звука в кристалле теллура в плоскости ХОУ. Эта плоскость выбрана для анализа, поскольку пьезоэлектрический эффект в ней сказывается наиболее сильно. На графике пунктирной линией показаны поверхности медленности и значения угла поляризации без учета пьезоэлектрического эффекта, а сплошной – значения обратных скоростей и поляризации, рассчитанные с использованием ужесточенных пьезоконстант упругости. Как видно на рис. 1, пьезоэлектрический эффект усиливает анизотропию акустических мод в рассматриваемой плоскости.

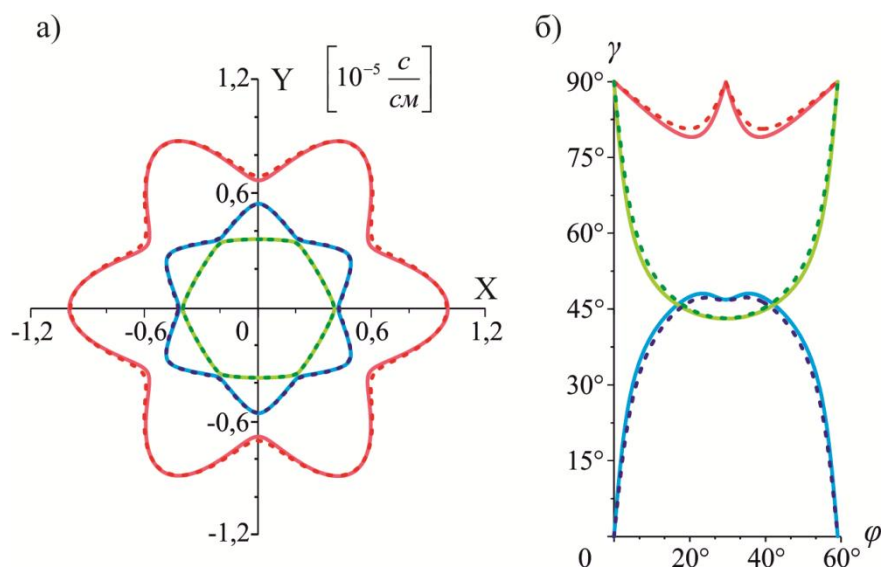


Рис. 1. Поверхности медленности (а) и зависимость угла поляризации от направления распространения волны (б) в плоскости ХОУ кристалла теллура: сплошная линия - квазипродольная волна, пунктир - быстрая квазипоперечная волна, штрихпунктирная линия - медленная квазипоперечная волна

Также было исследовано влияние пьезоэффекта на угол акустического сноса для различных направлений распространения упругих волн в плоскости ХОУ кристалла (рис. 2). Сплошной линией обозначены углы между фазовой и групповой скоростями без учета пьезоэлектрических свойств теллура. Пунктирной линией показаны значения угла сноса при малых значениях пьезоконстант: $e_{11} = 0,42$ к/м² и $e_{14} = 0,17$ к/м². Точечные кривые соответствуют случаю, в котором пьезоэффект проявляется наиболее сильно. Для расчетов использованы следующие значения констант: $e_{11} = 0,83$ к/м² и $e_{14} = 0,57$ к/м². Полученные зависимости показывают, что пьезоэлектрический эффект значительным образом

влияет на величины углов акустического сноса в рассматриваемой плоскости кристалла теллура.

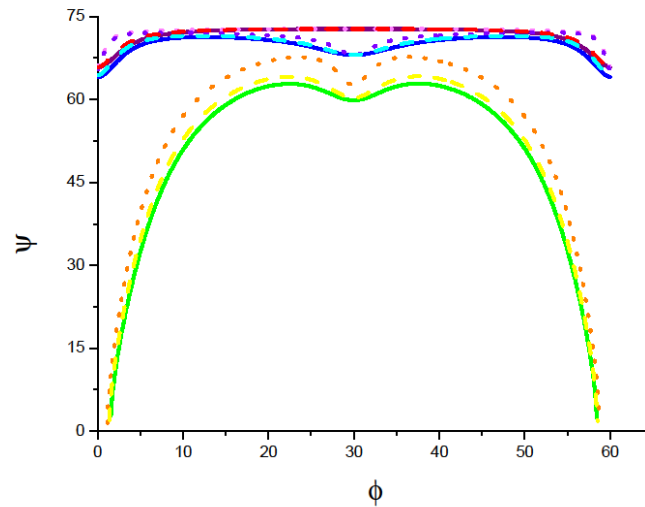


Рис. 2. Зависимость угла акустического сноса ψ от направления распространения упругой волны ϕ в плоскости XOY кристалла теллура для трех мод

Следует отметить, что обнаруженные закономерности должны учитываться при разработке новых акустооптических приборов: модуляторов, дефлекторов и фильтров [8–9], в которых применяются косые срезы кристалла теллура.

Работа поддержана грантами Российского фонда фундаментальных исследований 12-02-33122 мол_а_вед, 12-02-01302-а, 12-07-00633-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буров В. А., Волошинов В. Б., Дмитриев К. В., Поликарпова Н. В. // УФН. 2011. Т. 181. № 11. С. 1205.
2. Веселаго В. Г. // УФН. 2011. Т. 181. №11. С. 1201.
3. Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов. М.: Наука, 1982.
4. Auld B. A. Acoustic Fields and Waves in Solids. V. 1. Malabar, Florida: Robert E. Krieger Publ. Company, 1990.
5. Поликарпова Н. В., Мальнева П. В. // Известия РАН. Серия физическая. 2012. Т. 76. №12. С. 1422.
6. Горлей П. Н., Кушнир Н. Я., Шендеровский В. А. // Укр. физ. журн. 1989. Т. 34. № 1. С. 102.
7. Дьяконов А. М., Илисавский Ю. В., Яхкинд Э. З. // Журн. тех. физики. 1981. Т. 51. № 7. С. 1494.
8. Voloshinov V. B., Gupta N., Knyazev G. A., Polikarpova N. V. // Journal of Optics. 2011. V. 13. № 1. P. 015706.
9. Gupta N., Voloshinov V. B., Knyazev G. A., Kulakova L. A. // Journal of Optics. 2012. V. 14. № 3. P. 035502.