

АНИЗОТРОПНАЯ АКУСТООПТИЧЕСКАЯ ДИФРАКЦИЯ В ТЕЛЛУРЕ
ПРИ НАЛИЧИИ ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИГ.А. Князев¹, В.Б. Волошинов¹, Е.С. Воробьев¹, Н.В. Хитрин²¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова²ФГБУН Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН
g_knyazev@mail.ru

На сегодняшний день кристаллический теллур является наиболее перспективным акустооптическим материалом для применения в дальнем инфракрасном диапазоне 5-20 мкм [1-8]. Данный кристалл обладает весьма высоким акустооптическим качеством $M_2 > 10^{-14}$ с³/г [1-8]. Тем не менее, ряд недостатков теллура мешает активному применению этого материала в акустооптике. Наиболее существенной проблемой является высокое поглощение излучения необыкновенной поляризации в диапазоне 8-14 мкм [2-7,9]. Также необходимо отметить, что вопрос о максимально возможном значении акустооптического качества при анизотропной дифракции до сих пор остается не решенным: результаты измерений противоречат рассчитанным значениям эффективности акустооптического взаимодействия, поэтому требуется более точное измерения значений тензора фотоупругости, в частности константы p_{41} .

Целью данной работы являлось исследовать влияние оптической активности теллура на характер акустооптического взаимодействия в данном материале. Известно, что оптическая активность кристалла приводит к тому, что даже вдоль оптической оси Z скорости двух оптических мод различаются, при этом различие скоростей определяется величиной оптической активности. Оптическая активность вносит дополнительный вклад в показатель преломления материала:

$$\delta n = \frac{\rho \lambda}{2\pi} \quad (1)$$

Благодаря этому изменяется форма зависимостей показателей преломления от направления волнового вектора обыкновенной и необыкновенной оптических мод. В направлении оптической оси показатель преломления одной из мод уменьшается, а для другой моды увеличивается. Поэтому при распространении звука ортогонально оптической оси Z становится возможной анизотропная дифракция вблизи оптической оси, которая характеризуется условием $\left. \frac{\partial f}{\partial \theta_B} \right|_{f=f_{min}} = 0$. Таким образом, в материалах, обладающих оптической активностью, становится возможным наблюдать широкоугольную акустооптическую дифракцию при распространении ультразвука ортогонально оптической оси.

Как правило, частота широкоугольной дифракции f_{min} не превышает нескольких мегагерц. Однако, благодаря тому, что указанный эффект пропорционален длине волны света, а удельное вращение плоскости поляризации в теллуре на длине волны 10,6 мкм достигает 16°/мм, частоты f_{min} для медленной сдвиговой, продольной и быстрой сдвиговой мод в теллуре достигают значений соответственно 7,8 МГц, 18,2 МГц и 19,5 МГц. Данные значения рассчитаны для случая распространения акустической волны вдоль оси X кристалла. На рис. 1 показаны углочастотные характеристики акустооптической ячейки на кристалле теллура, рассчитанные с учетом оптической активности кристалла. Синяя, зеленая и красная кривые соответствуют анизотропной дифракции на медленной сдвиговой, продольной и быстрой сдвиговой акустической моде. Штриховые линии соответствуют необыкновенной поляризации падающего света, а сплошные – обыкновенной поляризации. Черная кривая определяет зависимость угла Брэгга при изотропной дифракции на продольной акустической волне. Штрихпунктирная кривая характеризует изотропную дифракцию света в +2 порядок.

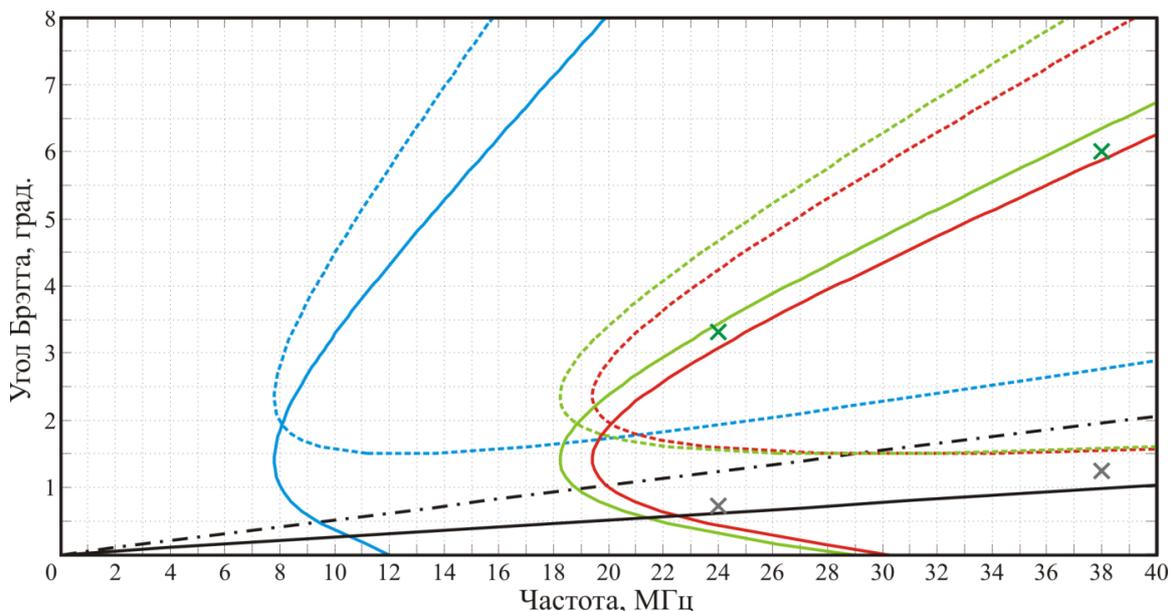


Рис. 1. Зависимость угла Брэгга от частоты ультразвука при акустооптическом взаимодействии инфракрасного излучения в теллуре

Из рис. 1 видно, что углы Брэгга не превышают 2°–3° внутри кристалла, что соответствует 10°–15° в воздухе. При столь малых углах теллур оказывается прозрачным как для обыкновенной, так и для необыкновенной волны [5]. С практической точки зрения, наиболее удобной является чистая продольная мода, так как частота f_{min} для нее не значительно меньше частоты быстрой сдвиговой моды, при этом продольную волну легче возбудить в кристалле. Поэтому для экспериментальной реализации была выбрана именно продольная мода.

Как видно из рис. 1, экспериментально полученные точки попадают на кривые, соответствующие изотропной и анизотропной дифракции. Та-

ким образом, можно утверждать, что наблюдавшаяся в эксперименте дифракция при больших значениях угла Брэгга соответствует анизотропной дифракции, а не изотропной дифракции в +2-й порядок (штрих пунктирная кривая на рисунке).

Акустооптическая ячейка, исследованная в эксперименте, представляла собой кристалл теллура, вырезанный вдоль кристаллографических осей X , Y и Z . Размеры ячейки по осям были приблизительно одинаковыми и равными 1,2 см. Грани ячейки, ортогональные оптической оси Z кристалла, были просветлены. Интенсивность света на выходе ячейки составляла величину 70% от интенсивности падающего излучения. Потери оптической мощности были обусловлены поглощением инфракрасного излучения в материале. К грани кристалла, ортогональной оси X , был прикреплен пьезоэлектрический преобразователь из кристалла LiNbO_3 $Y+36^\circ$ -среза, генерировавший продольную акустическую волну в кристалле. Скорость акустической волны достигала значения $2,45 \cdot 10^5$ см/с. Размеры управляющего электрода преобразователя были равны $l=0,9$ см вдоль направления распространения света и $d=0,35$ см в перпендикулярном направлении (вдоль оси Y). Резонансная частота преобразователя была приблизительно равна 8 МГц. При экспериментальном исследовании преобразователь возбуждался на 3-й и 5-й гармониках на частотах ультразвука около 24 МГц и 40 МГц, соответственно.

Максимальная эффективность дифракции на 3-й гармонике преобразователя наблюдалась на частоте ультразвука 24 МГц. Угол Брэгга при изотропной дифракции был равен $\theta_B = (0,73 \pm 0,06)^\circ$ внутри кристалла и около $3,5^\circ$ в воздухе. Измерения показали, что при управляющей акустической мощности около 2 Вт эффективность дифракции при вертикальной поляризации падающего света (вектор напряженности электрического поля вдоль оси Y кристалла) составила величину порядка $60 \pm 6\%$. Измерения эффективности анизотропной дифракции при угле Брэгга равном $\theta_B = (3,32 \pm 0,28)^\circ$ внутри кристалла и $16,7^\circ$ снаружи, показали, что относительная интенсивность дифрагированного света была равна около $4.0 \pm 0.4\%$.

При исследовании дифракции на 5-й гармонике преобразователя максимальная эффективность дифракции наблюдалась на частоте ультразвука 38 МГц. При угле Брэгга $\theta_B = (1,24 \pm 0,03)^\circ$ для изотропной дифракции в кристалле и $6,2^\circ$ вне кристалла при 2 Вт управляющей мощности достигнута эффективность дифракции около $55 \pm 5\%$. При реализации анизотропной дифракции угол Брэгга возрос до $\theta_B = (5,97 \pm 0,14)^\circ$ в кристалле и 30° вне него. Эффективность анизотропной дифракции оказалась равной $13 \pm 1\%$.

Таким образом, в результате проведенных исследований была обнаружена геометрия акустооптического взаимодействия, основанная на ис-

пользовании оптической активности кристалла. Благодаря уникальным характеристикам теллура, данный тип взаимодействия характеризуется относительно высокой частотой и эффективностью дифракции, что подчеркивает практическую значимость обнаруженного эффекта.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 12-02-01119-а, 11-02-00681.

ЛИТЕРАТУРА

1. Voloshinov V.B., Balakshy V.I., Kulakova L.A., Gupta N. // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 2008. 10. 095002.
2. Knyazev G.A., Voloshinov V.B. // Bulletin of the Russian Academy of Science. Physics. 2008. 72. N 12. P.1643.
3. Князев Г.А., Волошинов В.Б. // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. № 12. С. 1762.
4. Князев Г.А., Волошинов В.Б. // Изв. РАН. Сер. физ. 2010. Т. 74. № 12. С. 1792.
5. Gupta N., Voloshinov V.B., Knyazev G.A., Kulakova L.A. // J. Opt. 2011. 13. 055702.
6. Voloshinov V.B., Gupta N., Knyazev G.A., Polikarpova N.V. // J. Opt. 2011. 13. 015706.
7. Gupta N., Voloshinov V.B., Knyazev G.A., Kulakova L.A. // J. Opt. 2012. 14 035502.
8. Oliveira J., Adler E. // IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control UFFC-34. 1987. P. 86.
9. Caldwell R.S., Fan H.Y. // Phys. Rev. 1959. 114. P.664.