

ШИРОКОАПЕРТУРНАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ АКУСТООПТИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.Б. Волошинов, О.В. Миронов,
В.Я. Молчанов, В.Н. Парыгин,
И.П. Пономарева

Перестраиваемые акустооптические фильтры (АОФ) с широкими угловыми апертурами $\Delta\theta$ обеспечивают спектральную фильтрацию и оптоэлектронную обработку оптических изображений [1-4]. Большой практический интерес представляет расширение спектрального диапазона АОФ в УФ и ближнюю ИК области спектра [4, 5]. С точки зрения практического применения еще более перспективно использование АОФ в среднем ИК диапазоне. Однако в этом диапазоне фильтры с традиционной геометрией акустооптического взаимодействия (АОВ) [1-5] не могут обеспечить требуемого спектрального разрешения при работе с сильно расходящимися пучками. Это обусловлено тем, что переход в ИК область спектра сопровождается уширением полосы пропускания фильтра, величина которой пропорциональна квадрату длины волны излучения. Угловые апертуры АО фильтров ограничены селективностью АОВ. До настоящего времени не были созданы устройства с апертурой свыше 10° . В то же время известно [1], что качество отфильтрованного изображения, а также объем обрабатываемой информации, зависят от величины угловой апертуры. Поэтому представляется целесообразным усовершенствование АОФ с целью повышения величины $\Delta\theta$. В данной работе за счет специального среза кристалла удалось получить предельное значение угловой апертуры $\Delta\theta = 52^\circ$ с хорошим спектральным разрешением в интервале длин волн излучения 2.8-4.4 мкм.

Акустооптическая ячейка (АОЯ) описываемого фильтра была выполнена на основе монокристалла парателлуриата TeO_2 . Геометрия АОЯ изображена на рис. 1. Через \vec{k} , \vec{k}_i , \vec{k}_d обозначены волновые векторы ультразвука, падающего и дифрагированного излучения. Плоскостью АОВ была плоскость $(1\bar{1}0)$ кристалла. Величина угловой апертуры фильтра зависит от угла α между вектором \vec{k} и направлением $[110]$ в кристалле. Ячейка была вырезана таким образом, что $\alpha = 18.9^\circ$. Анализ показывает, что при α , близких к этому значению, фильтр может иметь наибольшие угловые апертуры [3]. Кристалл TeO_2 является акустически анизотропным, поэтому угол ψ между лучевым \vec{s} и волновым \vec{k} векторами ультразвука (рис. 1) зависит от направления в кристалле и для $\alpha = 18.9^\circ$ угол $\psi = 57^\circ$. В отличие от АО фильтров, описанных в работах [1-5], входная и выходная оптические грани фильтра непараллельны между собой. Угол между этими гранями $\beta = 7^\circ$ (рис. 1) обеспечивает оптимальную компенсацию поперечного смеще-

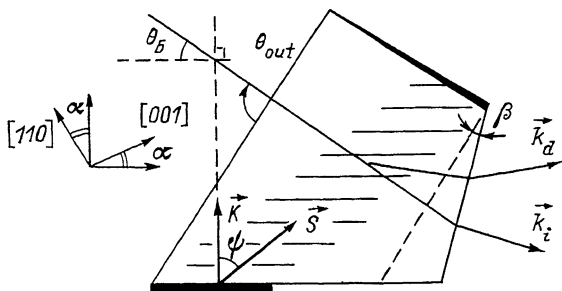


Рис. 1.

ния дифрагированного луча на выходе фильтра при его перестройке по длинам волн излучения [6]. Пьезогеобразователь из ниобата лития X-среза имел размеры $l = 6.7$ мм в плоскости $(1\bar{1}0)$ и $a = 2.1$ мм в ортогональной плоскости (001) .

Оптическая схема экспериментальной установки аналогична описанной в работе [1]. Параметры фильтра исследовались с помощью источника когерентного излучения с длиной волны 3.39 мкм. Приемником излучения служил $Ge : Au$ фоторезистор. Падающее на АОФ излучение было поляризовано как необыкновенная волна.

Эксперимент показал, что при частоте ультразвука $f \approx 40$ МГц дифракция излучения на ультразвуке наблюдается в большом интервале углов Брэгга. Для определения величины угловой апертуры фильтра был измерен ряд кривых зависимости эффективности дифракции T от угла θ_{out} при фиксированном значении f . Угол θ_{out} отсчитывался в плоскости $(1\bar{1}0)$ от входной оптической грани фильтра (рис. 1). Нормальному падению излучения на входную оптическую грань фильтра ($\theta_{out} = 90^\circ$) соответствует значение угла Брэгга $\theta_B = 38.1^\circ$. Кривые 1, 2, 3, 4 и 5 (рис. 2) сняты при значениях частоты ультразвука $f = 39.85, 39.95, 40.10, 40.40$ и 40.60 МГц соответственно. Значения угловой апертуры оценивались на основании данных рис. 2 по уровню 3 дБ. Наибольшее достигнутое значение $\Delta\theta$ равнялось 52° при $f = 40.10$ МГц.

Эксперимент выявил принципиальную особенность дифракции излучения на звуке для выбранной широкоапертурной геометрии АОФ. Эта особенность заключается в асимметрии максимумов на кривых $T(\theta_{out})$. Асимметрия объясняется зависимостью акустооптического качества M_2 кристалла TeO_2 от направления распространения излучения. Кроме того, на характер кривых $T(\theta_{out})$ влияет зависимость эффективной длины $l_{эф}$ области АОФ от угла Брэгга. В плоскости АОФ величина $l_{эф}$ связана с размером пьезообразователя l , углами θ_B и ψ соотношением $l_{эф} = l \cdot \cos\psi / \cos(\psi - \theta_B)$. При изменении угла θ_B от 22° до 50° (что соответствует изменению угла θ_{out} от 50° до 120°) $l_{эф}$ меняется от 4.5 до 3.7 мм.

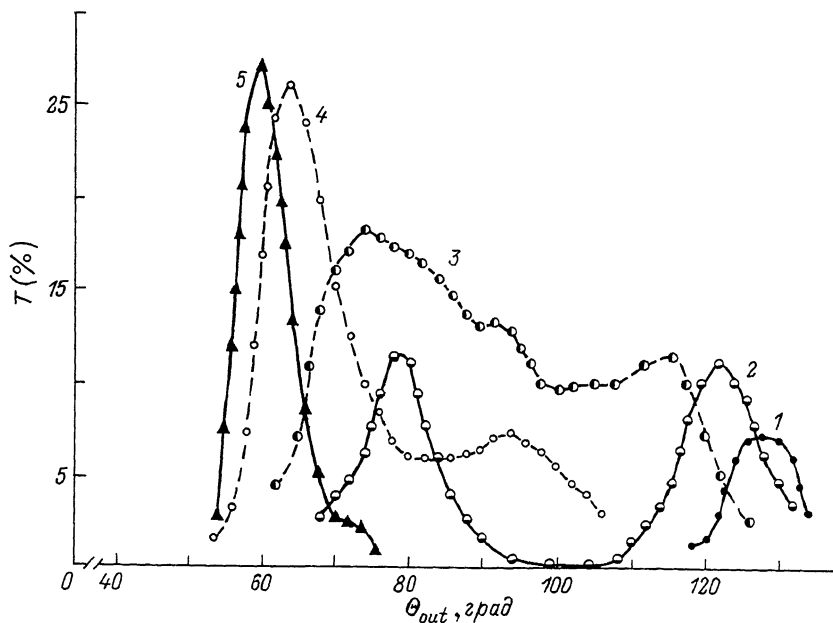


Рис. 2.

В эксперименте измерялись полосы пропускания фильтра для коллимированного излучения. Все измерения проводились в импульсном режиме при мощности управляющего электрического сигнала на согласованной нагрузке $P = 4$ Вт. Экспериментально снималось семейство кривых зависимости коэффициента пропускания фильтра от частоты ультразвука для различных углов Брэгга. Полоса пропускания оценивалась по формуле $\Delta\lambda = (\Delta f / f^*) \lambda$, где f^* - частота ультразвука, соответствующая максимуму эффективности дифракции, а величина Δf определялась из кривых $T(f)$ по уровню 3 дБ. Оценки показали, что фильтр характеризуется минимальной полосой пропускания $\Delta\lambda = 270 \text{ \AA}$ при угле Брэгга $\theta_B = 38.1^\circ$. Коэффициент пропускания при этом равнялся $T = 16\%$. Для углов $\theta_B = 27.5^\circ$ и 20.5° полосы пропускания возросли до 350 и 430 \AA соответственно. Однако при этом коэффициент пропускания увеличился до 26 и 34%. Физическая причина этого явления заключается в отмеченной выше зависимости величины M_2 и эффективной длины области АОВ от угла Брэгга.

Об энергетических параметрах АО фильтров с широкоапертурной геометрией АОВ можно судить по величине АО качества M_2 кристалла. Оценки величины M_2 кристалла TeO_2 при нормальном падении излучения на входную оптическую грань фильтра ($\theta_{out} = 90^\circ$, $\theta_B = 38.1^\circ$) для $\lambda = 3.39 \text{ мкм}$ показали, что значение M_2 по порядку величины равно $50 \cdot 10^{-18} \text{ с}^3 \text{ г}^{-1}$.

Таким образом, проведенные исследования доказали возможность значительного увеличения угловой апертуры АОФ за счет специального среза кристалла TeO_2 . Однако величина M_2 для выбранного кристаллического среза оказалась не достаточно высокой. Это является некоторым недостатком, повышающим требования к величине управляющего сигнала. В то же время эксперимент показал, что выбором соответствующего угла падения удается достичь более высоких значений M_2 , хотя угловая апертура при этом уменьшается.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б е л и к о в И.Б., Б у й м и с т р ю к Г.Я., В о л о ш и н о в В.Б. и др. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 10. В. 20. С. 1225-1229.
- [2] Б у й м и с т р ю к Г.Я., В а в а е в В.А., В о л о ш и н о в В.Б. и др. // Исследование Земли из космоса. 1985. № 5. С. 67-75.
- [3] Е п и х и н В.М., В и з е н Ф.Л., Н и к и т и н Н.В., К а л и н н и к о в Ю.К. // ЖТФ. 1982. Т. 52. В. 12. С. 2405-2410.
- [4] Б е л и к о в И.Б., В о л о ш и н о в В.Б., П а р ы г и н В.Н., К а с ь я н о в А.Б. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 7. С. 645-650.
- [5] В о л о ш и н о в В.Б., М и р о н о в О.В. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 17. С. 1541-1544.
- [6] В о л о ш и н о в В.Б., К у л а к о в Л.А., М и р о н о в О.В. // Радиотехника и электроника. 1988. Т. 33. № 10. С. 2177-2182.

Московский
государственный
университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
30 ноября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 4
07; 09

26 февраля 1989 г.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПЭВ ПУЧКОМ
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕШЕТКЕ
КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

Р.Й. П е т р у ш к я в и ч ю с, Р.-М.В. К а н а п е н а с

В последнее время возрос интерес к исследованию преобразования оптического излучения в поверхностные электромагнитные волны (ПЭВ) с помощью дифракционных решеток (ДР) конечных размеров. Это обусловлено широким использованием ПЭВ в спектроскопии приповерхностного слоя вещества [1], установлением большой