

С. В. БОГДАНОВ, Т. А. БОЛЬШЕВА
(Новосибирск)

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ДЕФЛЕКТОРОВ НА ПАРАТЕЛЛУРИТЕ

В настоящее время для отклонения лазерного излучения широко применяются акустооптические дефлекторы (АОД) на парателлуриите. При этом для расширения оптической полосы АОД используется анизотропная брэгговская дифракция, а для исключения повторной дифракции — косой срез, когда волновой вектор звука k_z составляет с осью [110] угол α . Методика расчета геометрии АОД на парателлуриите была изложена нами ранее [1]. Однако при увеличении рабочей полосы частот АОД всегда остается опасность, что частота повторной дифракции f_n окажется в пределах этой полосы и на зависимости эффективности АОД от частоты $\eta(f) = I_n/I_{пад}$ появится провал [2]. При увеличении рабочей (средней) частоты $f_{cp} = 1/2 (f_{max} + f_{min})$ при построении АОД по «низкочастотной» схеме или при ее уменьшении при построении АОД по «высокочастотной» схеме разность $f_n - f_{cp}$ уменьшается. Поэтому остается неясным также вопрос о «предельном» значении рабочей частоты $f_{cp}^{(n)}$, при которой $f_{cp}^{(n)} = f_n$ и рабочая полоса частот $\Delta f = f_{max} - f_{min}$ обращается в нуль (в том смысле, что f_n и соответствующий ей «провал» эффективности оказываются внутри рабочего диапазона частот при любом значении $\Delta f \neq 0$). Например, из данных, приведенных в табл. 2 работы [3], вытекает, что предельное значение рабочей частоты АОД на парателлуриите при $\lambda_0 = 0,6328$ мкм составляет всего 103,14 МГц.

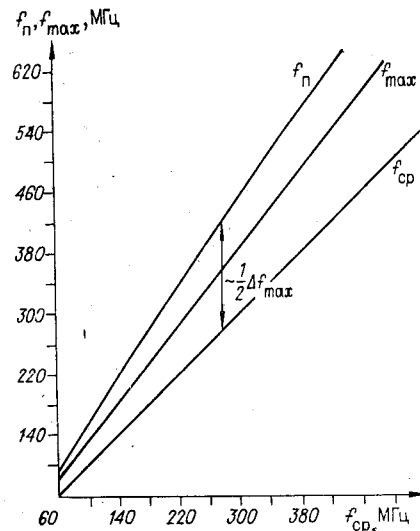
Чтобы ответить на эти вопросы, нами выполнялись расчеты АОД, построенного по «низкочастотной» схеме, по методике, изложенной в [1] при длине волны света $\lambda_0 = 0,6328$ мкм в диапазоне частот f_{cp} 60—375 МГц. В результате расчета были найдены углы α и φ (здесь φ — угол между волновым вектором падающего света k , и оптической осью кристалла) для каждого заданного значения средней частоты f_{cp} . Затем по методике, изложенной в [2], находилась частота начала повторной дифракции f_n (в [2] эта частота обозначена как $f_{n(1)}$). При расчете углов α и φ принимались следующие значения параметров: $n = f_{max}/f_{min} = 2$; $m = 0,4; 0,85; 1,35$. (Параметр m определяет эффективность η_m АОД на частоте f_{cp} в зависимости от заданных максимальной η_{max} и минимальной η_{min} эффективности дефлектора.) Принятые значения m соответствуют: $\Delta\eta_m = 0,1\Delta\eta_{max}$; $0,45\Delta\eta_{max}$; $1,0\Delta\eta_{max}$. Здесь $\Delta\eta_m = \eta_{max} - \eta_m$; $\Delta\eta_{max} = \eta_{max} - \eta_{min}$.

Результаты расчетов для некоторых частот даны в таблице. Для наглядности на рисунок представлена зависимость частоты повторной дифракции от f_{cp} при $m = 1,35$. На этом же графике приведены значения f_{cp} и f_{max} ($n = 2$, $f_{max} = 4/3f_{cp}$).

Из анализа данных таблицы видно, что с увеличением рабочей частоты углы α и φ монотонно увеличиваются. Это опровергает широко

f_{cp} , МГц	m	α°	φ°	f_n , МГц	f_{cp} , МГц	m	α°	φ°	f_n , МГц
60	0,4	5,53	4,05	95,13	230	0,4	16,71	12,40	358,44
	0,85	5,50	4,02	94,03		0,85	16,63	12,34	356,49
	1,35	5,46	4,00	92,30		1,35	16,55	12,30	354,15
120	0,4	10,29	7,62	190,85	375	0,4	23,00	17,16	567,07
	0,85	10,21	7,56	189,30		0,85	22,93	17,08	563,40
	1,35	10,16	7,52	188,21		1,35	22,84	16,98	560,20

бытующее мнение, что угол $\alpha = 6^\circ$, предложенный в [4], является оптимальным: в действительности угол α зависит от частоты f_{cp} , относительной полосы рабочих частот $\Delta f/f_{cp}$, заданной степени неравномерности характеристики $\eta = \eta(f)$ АОД, от длины волны света. В частности, для рассчитанных в данной работе дефлекторов изменение частоты f_{cp} от 60 до 375 МГц приводит к изменению угла α от $\sim 5,5$ до $\sim 23^\circ$, а угла φ от ~ 4 до $\sim 17^\circ$. Увеличение угла α , как это следует из диаграммы волновых векторов (см., например, [2]), должно приводить к увеличению частоты повторной дифракции. Действительно, из данных таблицы следует, что с увеличением средней частоты увеличивается и частота повторной дифракции. Более того, при любой рабочей частоте f_n оказывается больше, чем f_{max} при данной f_{cp} (см. рисунок).



Таким образом, в АОД на парателлурите с полосой частот, равной октаве ($f_{max}/f_{min} = 2$ или $\Delta f = 2f_{cp}/3$), отсутствуют ограничения по рабочей частоте, связанные с «вхождением» частоты повторной дифракции в рабочую полосу АОД. Иными словами, правильно сконструированный АОД не имеет «предельной» частоты в указанном выше смысле. Из рисунка видно, что f_n увеличивается с ростом f_{cp} почти линейно. Это связано с тем, что углы α в рассмотренной области частот еще относительно невелики и кривизна поверхности обыкновенного показателя преломления n_e еще не приводит к заметному ограничению f_n . Это произойдет уже в области таких частот, где использование парателлурита практически полностью исключено из-за чрезвычайно высокого затухания звука. Рисунок позволяет ответить также и на другой вопрос: какова предельно допустимая полоса Δf_{max} при выбранной f_{cp} ? Действительно, если положить $f_{max} = f_n$, то разность $f_n - f_{cp} = 1/2 \Delta f_{max}$. Откуда $\Delta f_{max} = 2(f_n - f_{cp})$. Эту разность с вполне достаточной точностью при заданной f_{cp} можно определить из рисунка. Так, например, при $f_{cp} = 100$ МГц находим $f_n - f_{cp} = 60$ МГц и соответственно $\Delta f_{max} = 120$ МГц. При этом с увеличением f_{cp} растет и максимально возможная полоса Δf_{max} , хотя относительная полоса $\Delta f_{max}/f_{cp}$ несколько уменьшается. Последнее связано с тем, что f_n увеличивается с ростом f_{cp} все же медленнее, чем линейно.

Следует отметить, что найденная из рисунка максимально возможная полоса Δf_{max} имеет определенную погрешность. Дело в том, что с расширением рабочей полосы частот изменяется и параметр n . Так, при $f_{cp} = 100$ МГц и $\Delta f \cong 120$ МГц $n = f_{max}/f_{min} \cong 160/40 = 4$, в то время как при расчете дефлектора было принято $n = 2$. Изменение n приведет к изменению частоты повторной дифракции, которая теперь может оказаться несколько ниже, чем при $n = 2$.

Выполненные нами расчеты для $f_{cp} = 100$ МГц и $f_{cp} = 280$ МГц показали, что f_n действительно уменьшается с увеличением n . Однако это уменьшение не превышает $\sim 2,0\%$. Таким образом, значения Δf_{max} , найденные из рис. 1, вполне могут быть использованы для оценки максимально допустимой полосы АОД.

Проведенные расчеты показали, что частотные ограничения АОД на парателлурите обусловлены отнюдь не низким значением частоты повторной дифракции или сужением полосы частот, а совсем другими причинами: сильным ростом затухания медленной звуковой волны с увеличением частоты и существенным отклонением направления вектора групповой скорости этой волны от направления [110].

Первая причина приводит к неравномерности распределения интенсивности звука по апертуре АОД, размытию дифракционного пятна и уменьшению интенсивности звука при удалении от преобразователя. Если принять за максимально допустимую неравномерность в распределении интенсивности звука 3 дБ (что, грубо говоря, соответствует уменьшению интенсивности дифрагированного света по апертуре АОД в 2 раза), а апертуру — 0,5 мм, то предельное значение затухания звука составит ~ 60 дБ/см. Такое затухание будет наблюдаться при частоте ~ 550 МГц (см., например, [5]). Ее и следует принять за f_{\max} выбранного диапазона. При этом средняя частота определяется выбранной полосой Δf .

Вторая причина приводит к заметному увеличению размера световоупровода вдоль направления распространения света и уменьшению акустооптической добротности M_2 за счет увеличения фазовой скорости звука и уменьшения эффективной фотоупругой постоянной при отклонении \mathbf{k}_z от оси [110]. Так, например, при средней частоте АОД 375 МГц угол $\alpha = 23^\circ$. При этом угол между $\mathbf{v}_{\text{гр}}$ и [110] составит $\sim 78^\circ$ [6], а фазовая скорость возрастет до $1,0 \cdot 10^3$ м/с (против $v_{\text{ф}} \approx 0,62 \cdot 10^3$ м/с при $\alpha = 0$). По нашим оценкам, это приводит к снижению акустооптической добротности до $M_2 \approx 177 \cdot 10^{-18}$ с³/г. Тем не менее эти изменения нельзя считать принципиальными, так как угол между \mathbf{k}_z и $\mathbf{v}_{\text{гр}}$ быстро увеличивается лишь при $\alpha \leq 10^\circ$, а затем возрастает сравнительно медленно. Действительно, при $\alpha = 6^\circ$ угол между \mathbf{k}_z и $\mathbf{v}_{\text{гр}}$ составляет уже $\sim 45^\circ$. При $\alpha = 23^\circ$ он возрастает примерно до 55° , т. е. всего на 10° . Снижение M_2 с увеличением угла α оказывается весьма заметным. Тем не менее M_2 остается еще достаточно большим, чтобы не накладывать ограничений на возможности использования этого материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов С. В., Большева Т. А. Расчет основных параметров акустооптического дефлектора на TeO_2 // Автометрия.— 1985.— № 5.
2. Богданов С. В. Условия возникновения повторной дифракции и ее влияние на рабочую полосу акустооптического дефлектора // Автометрия.— 1985.— № 5.
3. Тищенко Ю. Н., Трубецкой А. В. Некоторые вопросы создания и исследования акустооптического дефлектора на монокристалле TeO_2 // Автометрия.— 1979.— № 1.
4. Yano T., Kawabuchi M., Fukumoto A., Watanabe A. TeO_2 anisotropic Bragg light deflector without midband degeneracy // Appl. Phys. Lett.— 1975.— V. 26, N 12.— P. 689—691.
5. Антонов С. Н., Кузнецов Е. Ф., Миргородский В. И., Проклов В. В. Акустооптические исследования распространения медленной акустической волны в TeO_2 // Акуст. журн.— 1982.— Т. 28, № 4.
6. Ohmachi Y., Uchida N., Niizeki N. Acoustic wave propagation in TeO_2 single crystal // JOSA.— 1972.— V. 51, N 1.— P. 164—168.

Поступила в редакцию 14 апреля 1986 г.

УДК 681.51 : 007.5

М. Я. ЖИТОМИРСКИЙ, В. М. ЛИСКИН, А. А. МАЙСТРЕНКО,
В. П. МАШТАЛИР, Е. П. ПУТЯТИН

(Харьков)

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛОВ, СОГЛАСОВАННЫХ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1. Одно из интенсивно развиваемых направлений обработки и интерпретации визуальной информации — анализ и распознавание изображений в условиях мешающих воздействий, и в частности геометрических преобразований. Подобные трансформации видеок кадров обусловлены изменением взаимного положения и (или) ориентации датчика зрительной информации и наблюдаемого объекта, дисторсией объектива, несо-