



Российская Академия Наук

Отделение физических наук

**А.С. Гук, Ю.В. Гуляев, В.Л. Евстигнеев, М.А. Казарян,
Ю.М. Мокрушин, М.А. Талалаев, О.В. Шакин**

**Температурные эффекты
в акустооптических дефлекторах
на парателлурите**

Москва 2017

УДК 535.33
ББК 31.3
Т32

ISBN 978–5–906906–41–0

© Российская академия наук, 2017
© А.С. Гук, Ю.В. Гуляев, В.Л. Евстигнеев,
М.А. Казарян, Ю.М. Мокрушин,
М.А. Талалаев, О.В. Шакин, 2017

Температурные эффекты в акустооптических дефлекторах на парателлурите

А.С. Гук¹, Ю.В. Гуляев², В.Л. Евстигнеев³, М.А. Казарян⁴,
Ю.М. Мокрушин⁵, М.А. Талалаев¹, О.В. Шакин⁶

¹ОАО «766 УПТК», ул. Институтская 1, 143432, Нахабино,
Красногорский р-н, Московская обл., Россия

²Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН,
125009, ул. Моховая 11 к. 7, г. Москва, Россия,
gulyaev@cplire.ru, gulyaev@gphf.spbstu.ru

³ФГУП «НПО Астрофизика», Волоколамское ш. 95, 125424,
г. Москва, Россия

⁴Физический институт РАН, Ленинский просп. 53, 119991,
г. Москва, Россия,
kazar@sci.lebedev.ru

⁵АО «НИИЭФА», дорога на Металлострой 3, 196641,
пос. Металлострой, г. Санкт-Петербург, Россия,
yrmok@yandex.ru

⁶ФТИ им. А.Ф.Иоффе, ул. Политехническая 26, 194021,
г. Санкт-Петербург, Россия,
oshakin@mail.ru

Аннотация. Экспериментально исследованы температурные переходные процессы в акустооптических дефлекторах. Изучена спектральная зависимость углов сканирования дефлектора в зависимости от частоты управляющего сигнала при изменении температуры устройства. Показано, что происходит изменение угла дифракции при повышении рабочей температуры дефлектора.

Ключевые слова: акустооптический дефлектор, парателлурит, волновые вектора оптического излучения, волновой вектор звука.

Введение

Исследовано влияние тепловых эффектов на угловую стабильность и эффективность дифракции в анизотропных акустоопти-

ческих дефлекторах изготовленных на основе кристалла парателлурита [1-5]. Тепловые эффекты обусловлены как изменениями температуры внешней окружающей, так и вследствие тепловыделения в дефлекторе в процессе его работы. Вариации температуры приводят к изменениям показателей преломления кристалла и величины скорости звуковой волны. Как показали проведенные расчеты, температурная зависимость вращения плоскости поляризации слабо влияет на рассматриваемые параметры и в расчетах не учитывалась.

Теоретические расчеты влияния тепловых эффектов проводились для длин волн излучения 0,478мкм, 0,532мкм, 0,633мкм и 1,06мкм при условии однородного распределения температуры в объеме дефлекторов после завершения переходных тепловых процессов. Экспериментально измерен характер и продолжительность переходного процесса установления стационарного режима дефлектора для длины волны излучения 0,633мкм.

Цель исследования

Задачей исследования являлась необходимость изучить влияния температурных воздействий на анизотропные акустооптические дефлекторы выполненные на кристалле парателлурита.

В рассматриваемых далее дефлекторах углы падающего и дифрагированного излучения с осью [001] выбраны достаточно большими, и световые волны считаются линейно поляризованными [1,5].

Для увеличения диапазона сканирования угол падения излучения Ω корректируется таким образом, чтобы при $T=20^{\circ}\text{C}$ на акустических частотах f_1 и f_2 условие синхронизма выполнялось точно, а в районе средней частоты рабочего диапазона частот при $T=20^{\circ}\text{C}$ и по краям частотного диапазона уровень эффективности дифракции был равен 0,9.

Угол падения излучения на входную грань и угол наклона грани рассчитываются таким образом, чтобы в среднем положении зоны сканирования при $T=20^{\circ}\text{C}$ угол падения дифрагированного излучения на выходную грань составлял 90° и на входе из кристалла луч был параллелен падающему. Для демонстрации температурных эффектов акустооптических дефлекторов ниже приведены данные для ближнего инфракрасного диапазона.

Влияние температуры на параметры акустооптического дефлектора для длины волны 1,064мкм

В анизотропных дефлекторах ближнего ИК спектрального диапазона направление волнового вектора падающего излучения составляет больший угол с осью Z, чем дифрагированный. На рисунке 1 изображена связь между волновыми векторами падающего и дифрагированного излучения: $\mathbf{k}_0(T)$, $\mathbf{K}(f,T)$, – и волновым вектором $\mathbf{q}(f,T)$ звуковой волны при двух значениях температуры: $T_2 > T_1$. Сплошными линиями показаны волновые вектора при температуре T_1 , пунктирными – при температуре T_2 .

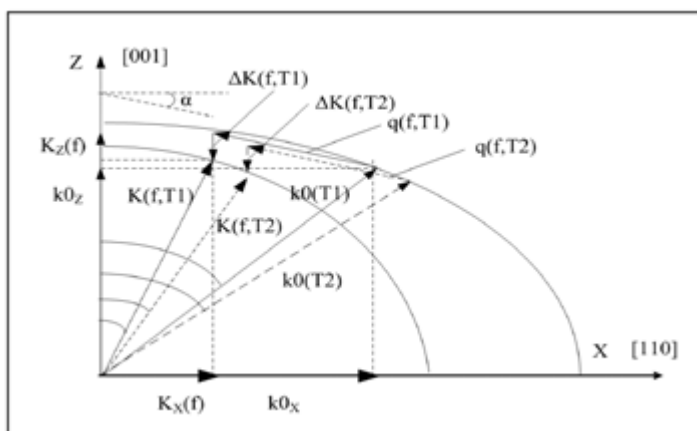


Рис. 1. Векторная диаграмма волновых векторов акустооптического взаимодействия дефлектора для излучения ближнего ИК диапазона при произвольной частоте звуковой волны для значений температуры $T_2 > T_1$.

С учетом направления волновых векторов выражение для модуля виртуального вектора «рассогласования условия синхронизма» $\Delta K(f,T)$ имеет вид

$$\Delta K(f,T) = K_z(f,T) + q_z(f,T) - k_{0z}(T). \quad (1)$$

На рисунке 2 приведены графики зависимости от частоты f эффективности дифракции $\eta(f, L=1,2\text{мм}, T)$ излучения $\lambda=1,064\text{мкм}$ для значений температуры 20°C , $+50^\circ\text{C}$ и -50°C . Характер изме-

Температурных эффекты в акустооптических дефлекторах на парателлурите

нения эффективности дифракции от температуры в целом повторяет данные для видимого спектрального диапазона.

Граничные частоты: $f_{\min} \approx 72,01$ МГц и $f_{\max} \approx 116,25$, - соответствуют условию, что при $T=20^\circ\text{C}$ эффективность дифракции в этом частотном диапазоне удовлетворяла условию $\eta(f,L,T=20^\circ\text{C}) \geq 0,9$.

Наибольшие изменения наблюдаются в области центральной и верхней частот. По сравнению с эффективностью дифракции при $T=20^\circ\text{C}$ на частоте f_0 значения увеличиваются на $\sim 1,7\%$ ($T=-50^\circ\text{C}$) и уменьшаются на $\sim 0,8\%$ ($T=50^\circ\text{C}$). На частоте f_{\max} : уменьшаются на $\sim 6,2\%$ ($T=-50^\circ\text{C}$) и увеличиваются $2,4\%$ при ($T=50^\circ\text{C}$).

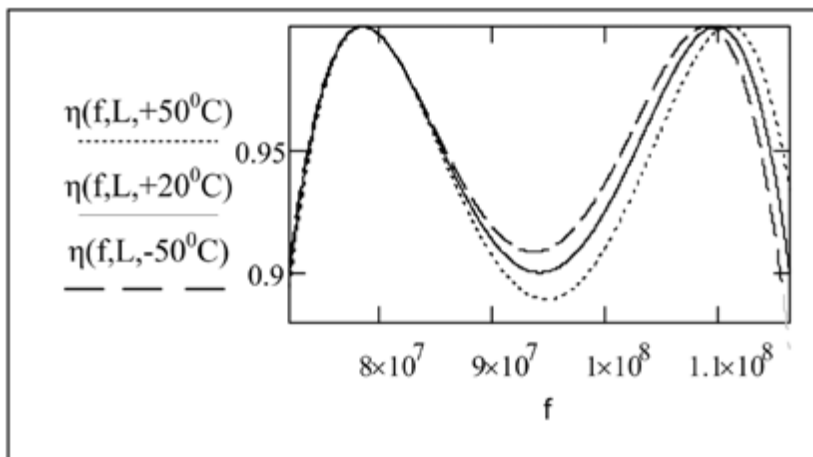


Рис. 2. Зависимость эффективности от частоты звуковой волны для дефлектора $\lambda=1,064\text{мкм}$ при значениях температуры 0°C (сплошная линия), 50°C (линия в виде точек), -50°C (пунктирная линия).

Выражение для угла сканирования изменяет знак

$$\beta(\lambda, f, T) = \left(\arccos \frac{K_z(\lambda, f, T)}{K(\lambda, T)} - \arccos \frac{K_z(\lambda, f_0, T)}{K(\lambda, T)} \right) \cdot n_0(\lambda) (1 - \delta(\lambda, T)) \quad (1)$$

$$\Delta\beta(\lambda, f, T) = \beta(\lambda, f_{\max}, T) - \beta(\lambda, f_{\min}, T) \quad (2)$$

В отличие от дефлекторов конструкции для видимого спектрального диапазона с ростом температуры угол сканирования $\Delta\beta(\lambda=1,064\text{мкм}, f, T)$ увеличивается, и луч поворачивается по часовой стрелке (рис. 3а).

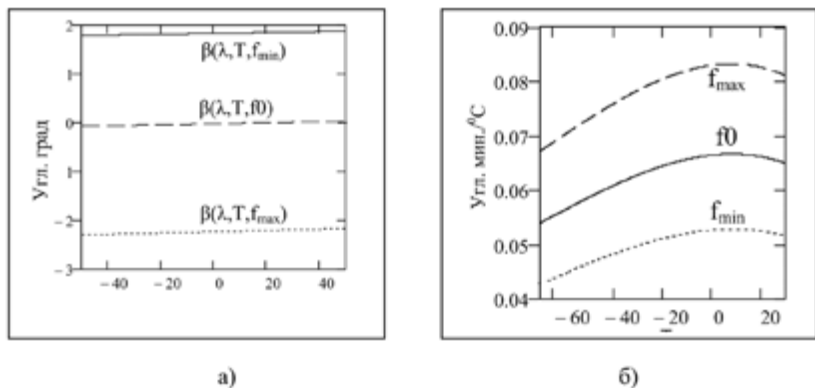


Рис. 3. Температурная зависимость углового положения луча $\Delta\beta(\lambda, f, T)$ ($\lambda=1,064\text{мкм}$) на выходе из дефлектора и производной $\frac{\partial\beta(\lambda, f, T)}{\partial T}$ при дифракции на звуковых волнах частоты f_{\min} , f_0 и f_{\max} .

Также изменяется знак производных по температуре углового дрейфа $\frac{\partial\beta(\lambda, f, T)}{\partial T}$ (рис. 3б).

На следующем рисунке 4 показано, как изменяется с частотой разность между угловыми положениями луча на выходе из кристалла при изменении температуры от $+50^\circ\text{C}$ до -50°C :

$$\delta(\lambda, f, T) = [\beta(\lambda=1,064, f, 50^\circ\text{C}) - \beta(\lambda=1,064, f, -50^\circ\text{C})] \times 60 \text{ угл. мин}$$

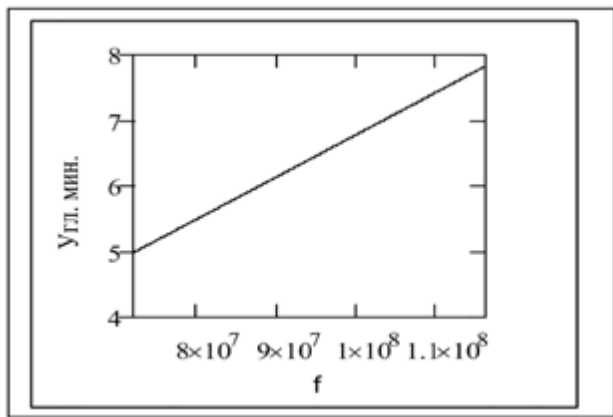


Рис. 4. Зависимость от частоты звуковой волны разности между угловыми положениями излучения 1,064мкм при изменении температуры от -50°C до $+50^\circ\text{C}$.

Экспериментальные результаты

Проведены измерения переходного температурного процесса в дефлекторе для излучения $\lambda=0,633\text{мкм}$ во время нестационарного процесса изменения температуры дефлектора вследствие тепловыделения в пьезоэлектрическом преобразователе, акустическом поглотителе и поглощения звуковой мощности в кристалле. Дефлектор был установлен в оправу с теплоотводами от пьезоэлектрического преобразователя и акустического поглотителя и работал в непрерывном режиме. Теплоотвод от оправы осуществлялся за счет естественной конвекции. Для получения максимальной эффективности дифракции 95% потребовалась мощность 1Вт. Результаты измерения нестационарного углового температурного дрейфа луча на центральной частоте звука в течение переходного процесса приведены в таблице.

Табл.

t, мин.							0	3	5	2	7	8	3	5
β , угл. сек		0	2	9	6	7	8	2	3	2	2	6	0	2

За первые 2 минуты после включения происходит сдвиг луча на угол ~ 10 угл. сек. На этом этапе происходит нагрев элементов дефлектора и нестационарный процесс выравнивания температуры дефлектора и оправы. Скорость дрейфа луча составляет ~ 5 угл. сек./мин. За следующие ~ 4 минуты скорость сдвига уменьшается до ~ 4 угл. сек./мин. Через 10 минут после включения средняя скорость дрейфа составляет $\sim 0,4$ угл. сек./мин. Общий угловой сдвиг луча за 1 час составляет ~ 51 угл. сек. ($\sim 2,55 \sim 10^{-4}$ рад.).

Заключение

В работе рассмотрено влияние температуры на параметры акустооптических дефлекторов. Рассчитано влияние температуры на параметры дефлекторов для оптического излучения видимой и ближней инфракрасной областей. Проведены измерения переходного температурного процесса в дефлекторе для излучения $\lambda=0,633\text{мкм}$. Практически показано возможность коррекции углов сканирования дефлектора путем программного управления уровнем электрической мощности, и частоты генератора.

Литература

1. *Yano T., Watanabe A.* Journal of Applied Physics, 45, №3, 1243 (1974).
2. *Uchida N.* Physical Review, 4, №10, 3736 (1971).
3. *Balakshy V., Voloshinov V., Karasev V., Molchanov V., Semenov V.* in Proceedings of SPIE, 2713, 164 (1996).
4. *Silvestrova I.M., Pisarevskii Y.V., Senyushenkov P.A., Krupny A.I., Voszka R., Foldvari I., Jansky J.* Phys. Stat. Sol. (a), 101, 437(1987).
5. *Клудзин В.В., Кулаков С.В., Пресленев Л.Н., Семенов В.П., Шакин О.В.* Успехи современной радиоэлектроники, 2, 135(2013).

Отделение физических наук

А.С. Гук, Ю.В. Гуляев, В.Л. Евстигнеев, М.А. Казарян,
Ю.М. Мокрушин, М.А. Талалаев, О.В. Шакин

**Температурные эффекты
в акустооптических дефлекторах
на парателлурите**

Формат 60 x 84/16

Гарнитура Таймс

Усл. печ. л. 0,6. Усл. изд. л. 0,22

Тираж 20 экз.

Издатель – Российская академия наук

Подготовлено к печати

Управлением научно-издательской деятельности РАН

Отпечатано на оборудовании Управления делами РАН

Издано в авторской редакции

Издается в соответствии с распоряжением
президиума Российской академии наук
от 24 октября 2017 г. №10106-765,
распространяется бесплатно.