

СПЕКТРАЛЬНАЯ АКУСТООПТИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЙ В БЛИЖНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ

В.Б. Волошинов, О.В. Мионов

Оптоэлектронные устройства, создаваемые на базе перестраиваемых акустооптических фильтров (АОФ), находят применение как в системах управления параметрами когерентных оптических пучков, так и в приборах спектрального анализа некогерентного излучения. Перестраиваемые АОФ для работы с некогерентным излучением обладают хорошими техническими характеристиками: узкой полосой пропускания $\Delta\lambda$, высоким значением коэффициента пропускания T , они универсальны и надежны в эксплуатации, обладают широкими функциональными возможностями [1]. С появлением фильтров, обеспечивающих фильтрацию световых пучков с широкими угловыми апертурами $\Delta\theta$, стала возможной спектральная фильтрация и оптоэлектронная обработка оптических изображений [2]. В настоящее время на базе видеофильтров удается реализовать быстродействующие спектрально-адаптивные системы дистанционного зондирования и контроля, допускающие электронную перестройку своих параметров [3]. Большой практический интерес представляет расширение спектрального диапазона перестраиваемых АОФ в ближнюю инфракрасную область спектра [4]. Цель настоящей работы – экспериментальное доказательство возможности спектральной фильтрации оптических изображений и исследование закономерностей работы акустооптического фильтра в диапазоне оптических длин волн $\lambda=0.6-1.2$ мкм.

При экспериментальном исследовании был использован АОФ на кристалле TeO_2 с широкоапертурной геометрией анизотропного акустооптического воздействия (АОВ) [1]. Плоскостью АОВ в фильтре была плоскость $(1\bar{1}0)$ кристалла парателлурита, волновой вектор ультразвука был ориентирован под углом $\alpha=10^\circ$ к направлению $[110]$. Сдвиговые акустические волны в полосе частот ультразвука $f=55-90$ МГц (по уровню 3 дБ) возбуждались с помощью пьезоэлектрического преобразователя из ниобата лития X-среза размером 3.5×3.5 мм². Линейная апертура фильтра a , т. е. размер акустического столба вдоль направления $[110]$, составляла $a=0.5$ см.

Полоса частот преобразователя обеспечивала эффективную фильтрацию оптического излучения с длинами волн от $\lambda=0.8$ мкм до $\lambda=1.2$ мкм. Однако в эксперименте дифракция света с эффективностью в несколько десятков процентов наблюдалась и на частотах звука свыше $f > 100$ МГц, соответствующих видимому световому диапазону. Расширение диапазона перестройки в область видимого света объясняется обратной зависимостью коэффициента пропускания фильтра $T=(I/I_0)$ 100 % от квадрата длины волны света λ , где I_0 и I – интенсивности падающего и дифрагированного света, соответственно.

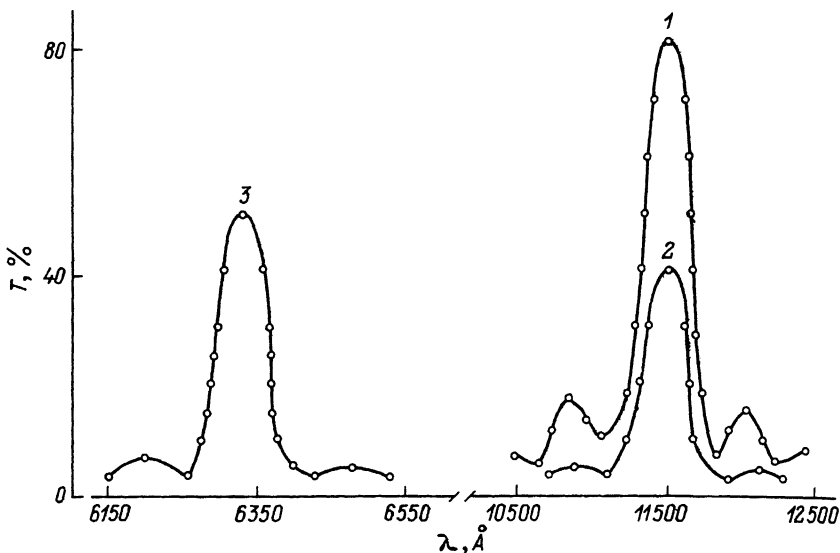


Рис. 1. Функции пропускания фильтра для различных значений управляющей мощности.

Несмотря на то что АОФ предназначался для работы с некогерентным излучением, основные характеристики фильтра на отдельных оптических частотах удобно оценивать с помощью когерентных оптических пучков. При проведении экспериментов в качестве источника некогерентного света использовалась лампа накаливания, когерентное излучение генерировал оптический квантовый генератор с длиной волны $\lambda=0.63$ мкм и $\lambda=1.15$ мкм. Максимальная эффективность дифракции на длине волны $\lambda=1.15$ мкм составляла $T=80\%$ при управляющей электрической мощности $P=2$ Вт. На длине волны $\lambda=0.63$ мкм при том же значении управляющей мощности эффективность дифракции достигала величины $T=50\%$.

Спектральную полосу пропускания фильтра $\Delta\lambda$ и вид функции пропускания $T(\lambda)$ можно оценить с помощью когерентного оптического излучения из зависимости коэффициента пропускания T от частоты ультразвука f . Затем функцию $T(f)$ можно пересчитать в интенсивную зависимость $T(\lambda)$. На рис. 1 представлены экспериментально определенные функции пропускания фильтра. Кривая 1 соответствует мощности управляющего сигнала, обеспечивающей на длине волны $\lambda=1.15$ мкм максимальную эффективность дифракции $T=80\%$. Кривая 2 получена для того же значения λ , но при меньшем управляющем электрическом сигнале. Кривая 3 относится к дифракции на длине волны $\lambda=0.63$ мкм. Полоса пропускания фильтра оценивается по уровню 3 дБ с помощью данных на рис. 1. Для трех приведенных кривых получены следующие значения полос про-

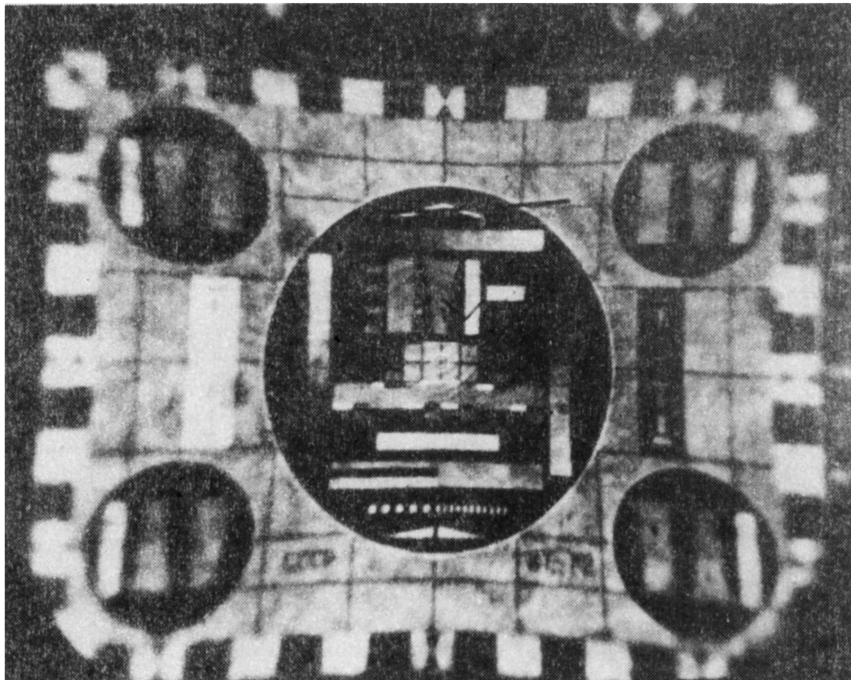


Рис. 2. Отфильтрованное изображение на экране электроннооптического преобразователя.

пускания: $\Delta\lambda_1 = 330 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda_2 = 365 \text{ \AA}$ и $\Delta\lambda_3 = 80 \text{ \AA}$. Ошибка измерений $\Delta\lambda$ не превышала 5 %.

Из рис. 1 видно (кривые 1 и 2), что увеличение управляющей мощности P сопровождается ростом эффективности дифракции. Теоретическое рассмотрение дифракции света на акустических волнах в брэгговском режиме дифракции показывает, что наряду с зависимостью $T(P)$ имеет место зависимость селективности АОВ от интенсивности ультразвука. Это приводит к тому, что полоса пропускания фильтра $\Delta\lambda$ зависит от величины управляющей мощности. Расчеты с использованием теории АОВ, представленной в [1], показали, что полосы пропускания устройства фильтрации в линейном режиме работы при $T \lesssim 50\%$ и в режиме насыщения $T \gtrsim 80\%$ отличаются на 10 %. Экспериментально зарегистрированное различие в спектральном разрешении фильтра, как следует из рис. 1, составило 11 %.

Эксперимент подтвердил теоретические выводы о возрастании полосы пропускания $\Delta\lambda$ при увеличении длины волны света λ . Известно [1], что с ростом λ спектральная полоса $\Delta\lambda$ растет как λ^2 . Отсюда следует, что отношение $\Delta\lambda_2/\Delta\lambda_3$ должно быть равно $(1.15 \text{ мкм} / 0.63 \text{ мкм})^2 = 3.3$. Экспериментально измеренное значение отношения полос пропускания равняется

$\Delta\lambda_2/\Delta\lambda_3=4.5$, что говорит о согласии теории и эксперимента. Следует отметить, что увеличение управляющей электрической мощности не только приводит к уменьшению полосы пропускания $\Delta\lambda$, но и к изменению формы спектральной функции пропускания фильтра $T(\lambda)$. Это выражается в росте боковых максимумов характеристики $T(\lambda)$, что иллюстрирует рис. 1 (кривые 1 и 2).

Методика проведения эксперимента по фильтрации изображений в ИК диапазоне аналогична предложенной в работе [2]. Отличие заключается в том, что отфильтрованное невидимое изображение анализируется с помощью электроннооптического (ЭОП) преобразователя или матрицы ПЗС приемников. При проведении экспериментов в качестве транспаранта использовалась фотопленка с записанной на ней испытательной телевизионной таблицей, приемником служил ЭОП или фотоэлектронный умножитель.

На рис. 2 представлена фотография испытательной таблицы, полученная с экрана ЭОП при фильтрации оптического излучения на длине волны $\lambda=1.15$ мкм ($f=60$ МГц). Качество отфильтрованного изображения определяется линейной и угловой апертурами фильтра $N=\alpha \cdot \Delta\theta/\lambda$, где N — максимальное число пространственно разрешимых элементов изображения. На длине волны $\lambda=1.15$ мкм при угловой апертуре $\Delta\theta=+4.3^\circ$ $N=320$ элементов. Для сравнения на длине волны $\lambda=0.63$ мкм при апертуре $\Delta\theta=+5.7^\circ$ $N=780$ элементов. Таким образом, переход в ИК диапазон сопровождается закономерным уменьшением числа разрешимых элементов N отфильтрованного изображения. Очевидно, что качество изображения на рис. 2 определяется не только акустооптическим фильтром, но и характеристиками электроннооптического преобразователя, а также качеством используемой оптики.

Л и т е р а т у р а

- [1] Балакшиев В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. — Физические основы акустооптики. М., 1985. 280 с.
- [2] Беликов И.Б., Буймистрюк Г.Я., Волошинов В.Б. и др. — Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, в. 20, с. 1225–1229.
- [3] Буймистрюк Г.Я., Аваев В.А., Волошинов В.Б. и др. — Исследование Земли из космоса, 1985, № 5, с. 67–75.
- [4] Voith R.C., Findlay D. — Optical and Quantum Electronics, 1982, v. 14, p. 413–417.

Московский государственный
университет
им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
18 мая 1988 г.