

06.2; 06.3; 07

© 1992

## МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЙ ПОЛОСОВОЙ ИК ФИЛЬТР

Н.Н. Лошкарева, Ю.П. Сухоруков,  
 А.А. Самохвалов, В.А. Шувалов,  
 Е.В. Карташев, Н.М. Чеботаев,  
 С.В. Наумов, Т.Г. Аминов

В ряде оптоэлектронных устройств необходимо применение управляемых ИК фильтров. Среди управляемых внешним воздействием фильтров имеются электрически управляемые оптические фильтры на основе жидких кристаллов и электрооптических материалов, селективно пропускающие падающее на них излучение [1, 2]. Их рабочий диапазон ограничен видимой частью спектра. В магнитооптических фильтрах на основе прозрачных магнетиков — эпитаксиальных пленок  $\beta\text{i}$ -содержащих гранатов с цветовым контрастом между доменами разного знака [3] изменение окраски происходит под действием внешнего магнитного поля. Эти фильтры обладают преимуществом перед электрически управляемыми, так как используют бесконтактный способ управления. Они работают в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра в области основного поглощения, где коэффициент поглощения  $K \sim 10^5 \text{ см}^{-1}$ , вследствие чего оптические потери велики и пропускание фильтра мало  $\sim 1\%$ . Необходимым условием работы магнитооптических фильтров является сильная дисперсия фарадеевского вращения ( $F$ ) и большая величина магнитооптической добротности. Наличие сильной дисперсии поглощения, кроме этого, приводит к возможности узкополосной фильтрации падающего излучения. В инфракрасном диапазоне спектра узкополосная фильтрация может быть реализована при использовании магнитных полупроводниковых шпинелей (МП)  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  и  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$ , обладающих указанными свойствами.

Магнитооптический ИК фильтр представляет собой систему скрещенных поляризатора и анализатора и помещенного между ними магнитного полупроводника, к которому прикладывается управляющее магнитное поле. Спектральная зависимость интенсивности прошедшего через фильтр света  $I(\lambda)$  имеет вид.

$$I(\lambda) = I_0 \cdot A \cdot \tau^2(\lambda) \exp[-K(\lambda)d] \sin F(\lambda)d, \quad (1)$$

где  $I_0$  — интенсивность падающего на фильтр света,  $A$  — коэффициент, учитывающий потери на отражение,  $\tau^2$  — пропускание поляризаторов,  $d$  — толщина магнитного полупроводника, которая определяется из условия максимального пропускания МП элемента:

$$d = [\arctg(2F/K)]/F, \quad (2)$$

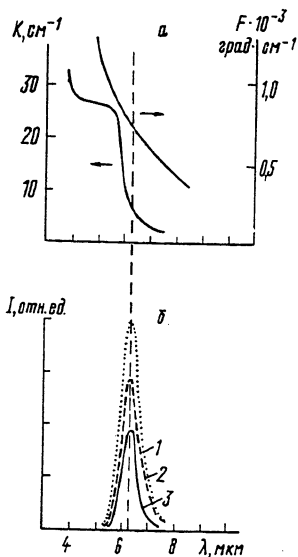


Рис. 1. Спектры поглощения и фарадеевского вращения (а) и интенсивность света на выходе фильтра (б) для магнитооптического элемента фильтра из  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  толщиной 1.24 мм при  $T=80 \text{ K}$  и различных токах в управляющей катушке: 1 - ток в катушке 0.2 А, 2 - 0.28 А, 3 - 0.35 А,

где  $F$  и  $K$  взяты при длине волны максимума полосы пропускания фильтра. Вследствие сильной дисперсии коэффициента поглощения и фарадеевского вращения толщина магнитооптических элементов будет различной для разных интервалов ИК излучения.

Рис. 1 иллюстрирует формирование узкой полосы пропускания фильтра на основе  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ . Сильная дисперсия  $F$  обеспечивает спад длинноволнового крыла полосы фильтрации. Спад в коротковолновой области обусловлен резким ростом  $K(\lambda)$ . В ИК области спектра резкий рост коэффициента поглощения происходит вблизи примесных полос и края фундаментального поглощения. Интенсивность полос поглощения и их положение можно регулировать путем отжига кристаллов в соответствующих атмосферах. При нанесении просветляющего покрытия максимальное пропускание фильтра может достигать 15%. Используя кристаллы  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  и  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ , подвергнутые термообработке, удалось создать управляемые фильтры, работающие в спектральном диапазоне 2-7 мкм с пропусканием соответственно 7.7 и 6%.

Узкая полоса пропускания фильтров на основе магнитных полупроводников устойчиво сохраняет свое положение при изменении магнитного поля. Зависимость угла фарадеевского вращения от магнитного поля практически линейна до полей насыщения. Как видно из рис. 1, интенсивность в максимуме полосы фильтра плавно меняется

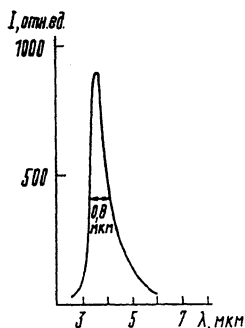


Рис. 2. Интенсивность света на выходе фильтра из  $CdCr_2Se_4$  толщиной 2.89 мм, при  $T=80$  К и токе в управляющей катушке 0.048А.

при изменении внешнего магнитного поля. Максимум полосы не сдвигается, что обусловлено сильным влиянием  $K(\lambda)$  на формирование коротковолнового крыла полосы фильтра (1). Полоса пропускания фильтра не меняется при изменении температуры источника излучения в пределах 800–1350 °С. Таким образом, кроме основной функции, фильтр может быть управляемым ослабителем излучения.

Управляющее магнитное поле создается ферритовым броневым сердечником, внутри которого размещена управляющая катушка, а в зазоре между полюсами помещен магнитный полупроводник. Использование броневое сердечника с замкнутым магнитным потоком позволяет значительно уменьшить величину управляющего поля и практически до нуля снизить поле рассеяния.

Однородность магнитного поля значительно влияет на полуширину полосы пропускания. Она тем больше, чем больше толщина магнитооптического элемента. При малой толщине МП, определяемой из формулы (2), размеры магнитооптического элемента могут быть увеличены за счет выполнения его составным: из МП и прозрачного магнетика, обладающего меньшим  $F$ , чем магнитный полупроводник (например, ЖИГ). Для составного элемента сигнал на фотоприемник выше, чем для одного кристалла, что связано с дополнительным подмагничиванием со стороны ЖИГ. При этом наблюдалось уменьшение полуширины полосы пропускания с 0.8 мкм для одного кристалла до 0.7 мкм для составного элемента. Наименьшая полоса фильтра была получена на  $CdCr_2Se_4$  – 0.6 мкм, наибольшая на  $HgCr_2Se_4$  – 1.2 мкм.

Магнитооптические ИК фильтры работают в области ферромагнитного упорядочения МП, температуры Кюри которых составляют 130 К для  $CdCr_2Se_4$  и 106 К для  $HgCr_2Se_4$ . При этих температурах фильтры хорошо стыкуются с охлаждаемыми полупроводниковыми фотоприемниками и болометром на основе ВТСП.

На рис. 2 представлен сигнал на фотоприемнике для фильтра на основе монокристалла  $CdCr_2Se_4$  (толщиной 2.89 мм). Ток управ-

ляющей катушки составил  $(0.048 \pm 0.002)$  А. Рассеиваемая в катушке мощность  $(0.0020 \pm 0.002)$  Вт. Габариты ИК фильтра: диаметр 11 мм, высота 7 мм. При использовании промышленной низкочастотной регистрационной аппаратуры сигнал передавался без искажений до частот 50 кГц. Быстродействие предлагаемого фильтра определяется динамикой доменов. Известно, что процессы перемагничивания в магнитных шпинелях ограничены частотой 1 МГц. Можно предположить, что именно эта частота будет определять верхнюю границу работы фильтра.

Таким образом, созданный нами управляемый магнитным полем полосовой ИК фильтр на основе магнитных полупроводников  $CdCr_2Se_4$  и  $HgCr_2Se_4$  обладает малыми оптическими потерями, большей помехозащищенностью и отсутствием электроконтактов на магнитооптическом элементе.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Патент 3712730 ФРГ,  $\text{G} 02 F$  1/199. Оптический фильтр. 1988.
- [2] Патент 62-8814 Япония,  $\text{G} 02 F$  1-23, 1988.
- [3] Р а н д о ш к и н В.В., Ч е р в о н е н к и с А.Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоиздат, 1990.

Институт физики металлов РАН,  
Екатеринбург

Поступило в Редакцию  
10 ноября 1992 г.