

УДК 681.7.064.43

## ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Г. В. Козлов, А. Н. Липатов, А. И. Ритус

*В работе предложена концепция построения перестраиваемых фильтров на базе многоступенчатых поляризационных интерферометров. Такие фильтры могут использоваться для подавления или выделения отдельных частот или полосы частот. Разность хода в каждом из интерферометров может изменяться независимо, что позволяет кардинальным образом менять спектр пропускания системы без переделки всей схемы.*

Развитие техники субмиллиметрового диапазона привело к созданию фильтров излучения, основанных на различных физических принципах и явлениях [1 - 5]. Одним из них является двухлучевая интерференция. В простейшем случае для двухлучевого интерферометра коэффициент пропускания изменяется с частотой по синусоидальному закону. Для нескольких интерферометров, соединенных последовательно, коэффициент пропускания определяется произведением коэффициентов пропускания отдельных интерферометров. В зависимости от количества используемых интерферометров и настройки каждого из них можно получать различные спектры пропускания.

В настоящей работе предложено использовать в качестве фильтров каскад из поляризационных интерферометров со сдвоенными плечами [6]. Схема такого интерферометра показана на рис. 1. Его основной частью является преобразователь пучка (1), представляющий собой пару сетка - зеркало, расстояние между которыми можно плавно менять. Предположим для определенности, что первоначально излучение линейно поляризовано. Проволоки сетки ориентированы под углом  $45^\circ$  к вектору  $\mathbf{E}$  исходного пучка. Таким образом сетка является делителем пучка. Излучение с вектором  $\mathbf{E}$ , параллельным сетке, отражается от нее, а излучение с перпендикулярным вектором проходит и отражается от зеркала. После прохождения преобразователя излучение представляет

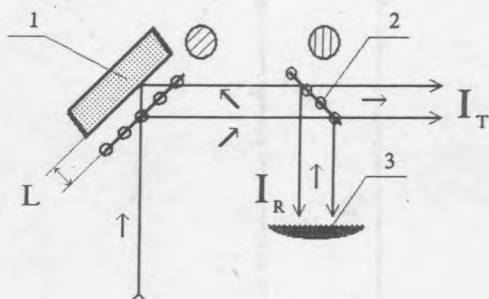


Рис. 1. Схема поляризационного интерферометра со двойными плечами. 1 – преобразователь пучка, 2 – анализатор, 3 – ловушка.

собой два пучка, поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях и с разностью хода равной  $\sqrt{2}L$ , где  $L$  – расстояние между зеркалом и сеткой. Для обеспечения интерференции этих двух пучков используется сетка – анализатор (2) с проволоками, ориентированными под углом  $45^\circ$  к вектору  $\mathbf{E}$  каждого из пучков. В результате пучки расщепляются и пары пучков с коллинеарными векторами интерферируют, причем конструктивной интерференции в первой паре пучков соответствует деструктивная интерференция во второй паре, и наоборот.

Спектр пропускания для первой пары определяется формулой:

$$T = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) \cdot \cos^2 \frac{2\pi\sqrt{2}L}{\lambda}, \quad (1)$$

а для второй пары пучков – формулой:

$$T = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) \cdot \sin^2 \frac{2\pi\sqrt{2}L}{\lambda}. \quad (2)$$

Контраст интерференции и, следовательно, качество фильтра определяются главным образом параметрами сетки [7]. Для реального интерферометра значение  $T_{max}$  составляет  $\sim 0,98$ , а  $T_{min} \sim 10^{-3}$ . На рис. 2 показана экспериментально измеренная зависимость пропускания одноступенчатого интерферометра от смещения зеркала. В эксперименте использовались сетки с диаметром проволоки 15 мкм и периодом 140 мкм.

В зависимости от ориентации анализатора пучок либо проходит через него, либо отражается и поглощается в ловушке (3 на рис. 1). Выбор ориентации зависит от целей,

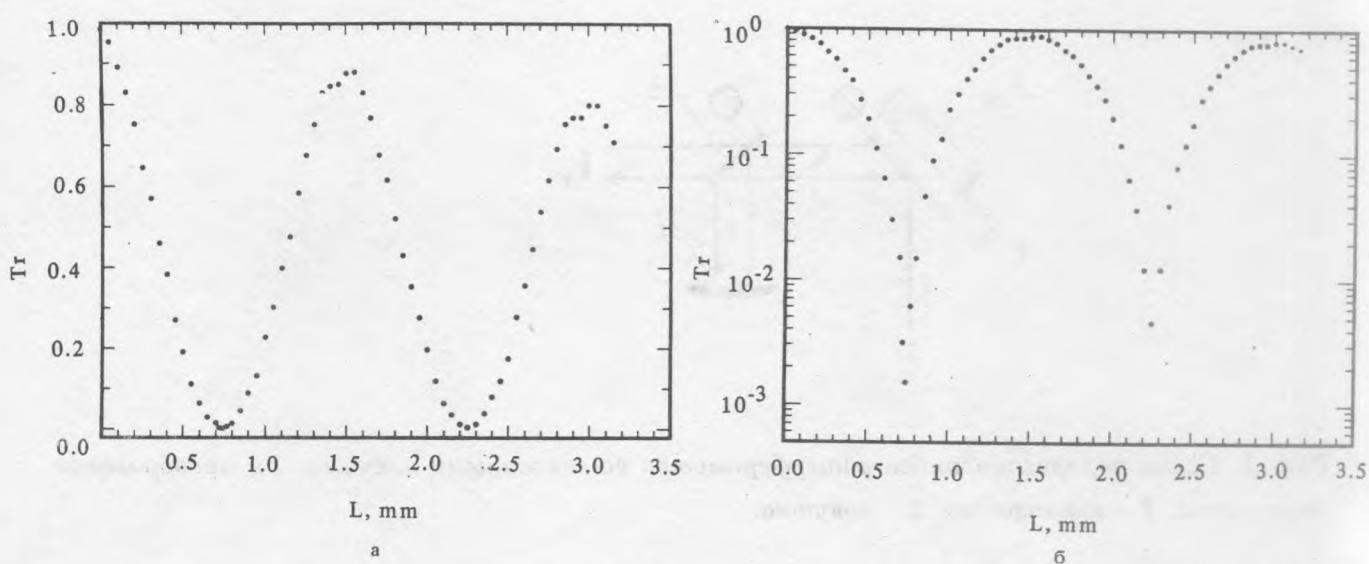


Рис. 2. Зависимость пропускания одноступенчатого фильтра от смещения зеркала  $L$ .

для которых предназначен фильтр. Комбинирование нескольких фильтров с одинаковой ориентацией анализатора позволяет увеличить подавление в минимумах пропускания без существенного снижения пропускания в максимумах, а комбинирование фильтров с разной ориентацией позволяет получать изолированные полосы пропускания. На рис. 3 показаны различные комбинации интерферометров для получения 2-х, 3-х и 4-х ступенчатых фильтров.

Характерной особенностью коэффициента пропускания в случае интерференции пучков второго типа является то, что второй максимум имеет в три раза большую частоту, чем первый максимум (для сравнения: у интерферометра Фабри-Перо это отношение не 3:1, а 2:1). Используя комбинацию интерферометров, настроенных на пропускание пучков разных типов, можно подавить и этот второй максимум. Тогда следующий максимум будет иметь в пять раз большую частоту, чем первый. Таким образом получается уединенная полоса пропускания. Ширина этой полосы определяется количеством интерферометров в фильтре. Чем больше их число, тем уже полоса (при этом, конечно, пропускание в максимуме уменьшается).

Описанная схема может использоваться не только как полосовой фильтр, но и как эффективное устройство для подавления гармоник. На рис. 4 приведен расчет спектра пропускания фильтра, состоящего из трех интерферометров – двух, настроенных на пропускание пучков первого типа, и одного в режиме пропускания пучков второго

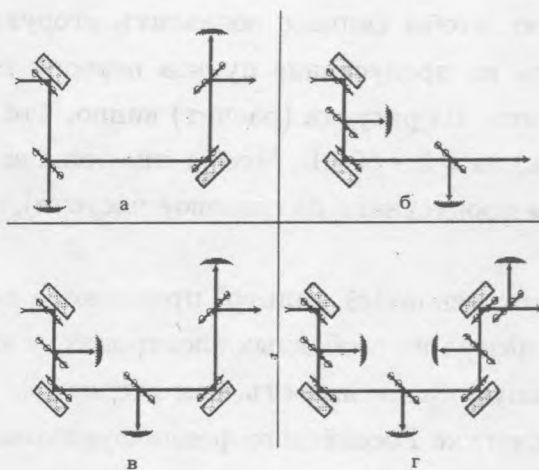


Рис. 3. Схемы 2-х, 3-х и 4-х ступенчатых фильтров на базе поляризационного интерферометра со двойными плечами: а) 2-х ступенчатый; б) 2-х ступенчатый; в) 3-х ступенчатый и г) 4-х ступенчатый фильтр.

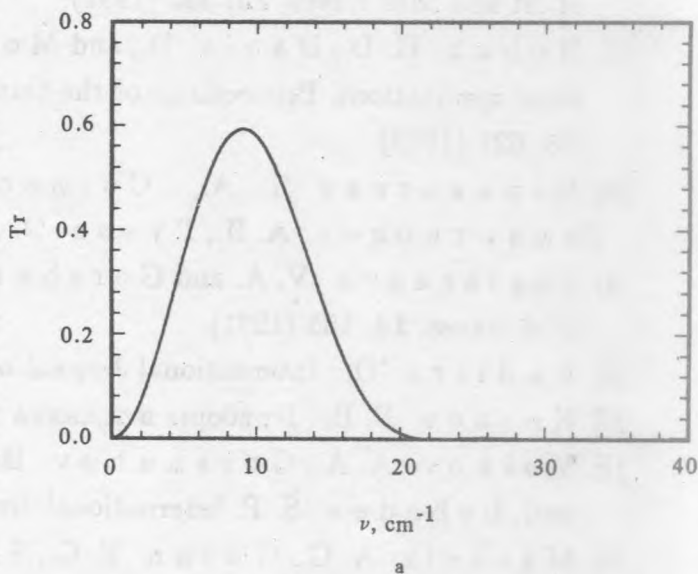
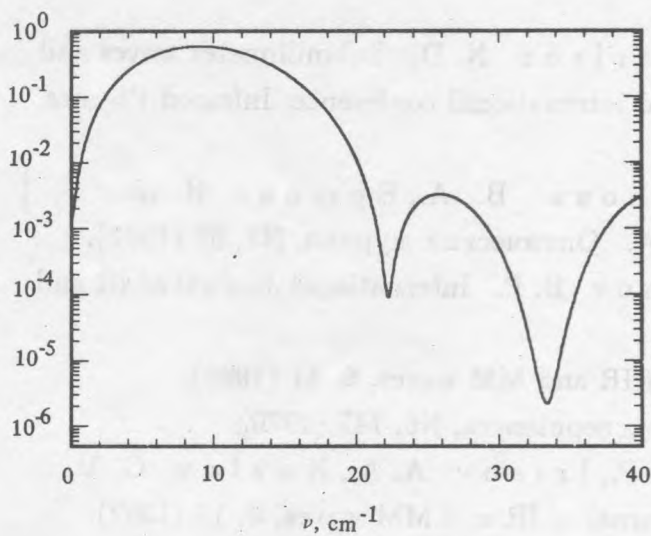


Рис. 4. Рассчитанный коэффициент пропускания для 3-х ступенчатого фильтра для подавления гармоник.

типа. Причем последний настраивается так, чтобы его первый максимум пропускания соответствовал основной частоте  $f$ , а два других фильтра настраиваются так, чтобы их первый минимум соответствовал частоте  $3f$ . Тогда частоты  $2f$  и  $4f$  подавляются первым

фильтром, а частота  $3f$  подавляется двумя другими. Такой фильтр сильнее подавляет третью гармонику, чем вторую; чтобы сильнее подавлять вторую гармонику, нужно два интерферометра настроить на пропускание пучков первого типа, а третий – на пропускание пучков второго типа. Из рисунка (расчет) видно, что подавление для 2-й гармоники составляет 40 дБ, а для 3-й – 60 дБ. Чтобы еще больше увеличить подавление (правда, ценой уменьшения пропускания на основной частоте), можно использовать пятиступенчатый фильтр.

Рассмотренная схема (трехступенчатый фильтр) предложена нами для подавления гармоник субмиллиметрового лазера на свободных электронах, у которого третья гармоника имеет на порядок большую интенсивность, чем вторая [8].

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (93-02-15-910).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rader M., Saffer D., Porter V., and Alexeff I. International Journal of IR and MM waves, **12**, 355 (1991).
- [2] Hohah G. D., Davis D., and Morrison N. D. Submillimeter waves and their applications. Proceedings of the third international conference. Infrared Physics, **18**, 621 (1978).
- [3] Чернявская Н. А., Согласнова В. А., Ершова Н. В., Галактионов А. И., Гузов Э. А. Оптический журнал, N1, 63 (1992).
- [4] Согласнова V. A. and Gorshunov B. P. International Journal of IR and MM waves, **14**, 155 (1991).
- [5] Tudisco O. International Journal of IR and MM waves, **9**, 41 (1988).
- [6] Козлов Г. В. Приборы и техника эксперимента, N6, 147 (1970).
- [7] Volkov A. A., Gorshunov B. P., Irisov A. A., Kozlov G. V., and Lebedev S. P. International Journal of IR and MM waves, **3**, 19 (1982).
- [8] Markelz A. G., Gwinn E. G., Sherwin M.; Nguyen C., Кроемер Н.; Hopkins P. F., Gossard A. C. Far-infrared harmonic generation from semiconductor heterostructures. To be published.

Поступила в редакцию 12 июля 1993 г.