

## Исследование оптических резонаторов и полосно-пропускающих фильтров на структурах из чередующихся слоев кварца и серебра\*

Б. А. Беляев<sup>1,2,3</sup>, В. В. Тюрнев<sup>3</sup>, Д. А. Шабанов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева,  
г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Институт физики им. Л. В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН,  
г. Красноярск, Россия

Исследованы характеристики планарного оптического резонатора из кварцевого стекла, окруженного серебряными зеркалами, при изменении их толщины. Измерены амплитудно-частотные характеристики полосно-пропускающих фильтров на планарных структурах, полученных вакуумным напылением на подложки из кварцевого стекла ( $\text{SiO}_2$ ) трех слоев также из кварца, являющихся полуволновыми резонаторами, разделенными друг от друга, от подложки и от свободного пространства четырьмя слоями из серебра (Ag). Толщины слоев Ag и  $\text{SiO}_2$  определялись по заданным параметрам полосы пропускания фильтров синтезом одномерных моделей с использованием электродинамического анализа. При этом учитывались экспериментальные частотные зависимости действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости серебра. Измеренные амплитудно-частотные характеристики изготовленных опытных образцов фильтров красного, зеленого и фиолетового цветов хорошо согласуются с характеристиками, полученными при синтезе. Проведены систематические исследования фильтров с центральной частотой полосы пропускания 300 ТГц (длина волны 1 мкм) и относительной ее шириной 2–20%, содержащих от 3 до 6 резонаторов. Высокие характеристики разработанных фильтров показывают перспективность их использования в оптических устройствах.

**Ключевые слова:** слоистая металлодиэлектрическая структура, полосно-пропускающий фильтр, комплексная относительная диэлектрическая проницаемость.

### Введение

Оптические фильтры конструируют, как правило, на слоистых диэлектрических структурах, в которых полуволновые резонаторы разделены многослойными зеркалами из чередующихся четвертьволновых слоев с высоким и низким показателем преломления [1–5]. Зеркала создают оптимальную связь резонаторов друг с другом под заданную ширину полосы пропускания фильтра, а зеркала крайних резонаторов создают оптимальную связь еще и с портами фильтра на его входе и выходе, например, со свободным пространством [6–9], обеспечивая тем самым требуемый уровень неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в полосе пропускания. Отражательная способность зеркал растет как с увеличением контраста показателей преломления смежных слоев, так и с увеличением их числа [10–12]. Известно, что при определенных ширинах полосы пропускания фильтра в его зеркалах на четвертьволновых слоях бывает невозможно использовать необходимые величины показателей преломления из-за отсутствия таковых у реальных материалов. Эта проблема решается, если слои в зеркалах сделать немного отличными от четверти длины волны. В этом случае максимальное затухание в высокочастотной полосе заграждения немного увеличивается, а в низкочастотной – уменьшается. Методики синтеза таких конструкций, состоящих всего лишь из трех и даже из двух материалов, позволяющих создавать фильтры с равномерными характеристиками в полосе пропускания, описаны в [13] и [14] соответственно.

Отметим, что в [15] показана возможность создания полосно-пропускающих фильтров (ППФ) на слоистых структурах из композитных материалов, в которых наночастицы серебра находятся в диэлектрической матрице из полистирола. Установлено, что с ростом объемной концентрации частиц в композите до ~33% действительная компонента его относительной диэлектрической проницаемости плавно увеличивается с 2.6 до ~10<sup>3</sup>. При этом вплоть до частоты 1 ТГц тангенс угла диэлектрических потерь не превышает 10<sup>-2</sup>, что дает возможность создавать устройства с малыми потерями в полосе пропускания. Настройка таких фильтров осуществляется подбором кон-

\* Работа выполнена в рамках научной тематики Госзадания Института физики им. Л. В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН.