

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОД ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ В МИКРОСФЕРИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ С ТОНКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКОЙ\*

✉ В. А. Симонов, В. С. Терентьев

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия*

✉ simonovva@iae.sbras.ru

Сферические микрорезонаторы являются интерференционными многолучевыми устройствами, которые имеют достаточно высокие характеристики по степени фильтрации и нелинейного преобразования излучения, поэтому исследование и применение сферических резонаторов активно развивается в последнее время. Одним из существенных недостатков такого типа микрорезонаторов является наличие очень большого количества возбуждаемых, определяемых тремя индексами состояний  $lmq$  ( $l$  — полярный индекс,  $m$  — азимутальный индекс и  $q$  — радиальный индекс) и еще два поляризационных состояния. Для кварцевой сферы радиусом 160 мкм общее число может достигать  $> 10^7$  [1].

В работе предложен и исследован с помощью численного моделирования новый метод селекции радиальных мод сферического резонатора по добротности, основанный на эффекте поглощения в тонкой металлической пленке, нанесенной на сферу вместе с диэлектрическим слоем. Суть метода состоит в размещении металлической пленки в узле стоячей электромагнитной волны, где потери будут минимальны. При этом толщина пленки должна быть много меньше длины волны ( $< \lambda / 20$ ). Для других мод, узел которых пространственно не совпадает с положением пленки, она будет приводить к существенным потерям. Так как радиальные моды сферических резонаторов имеют минимумы в радиальном направлении, это оказывается удобным для селекции по добротности. Демонстрация метода проведена на примере селекции второй и третьей радиальных мод  $TE_{l,l,q}$ ,  $l = 455$ ,  $q = 2, 3$  в кварцевой микросфере радиусом 160 мкм с никелевой пленкой толщиной 5 нм. Ранее данный метод применялся для селекции мод в резонаторах типа Фабри — Перо [2].

На рис. 1 показана расчетная геометрия модели: в двумерном осесимметричном режиме ось симметрии  $r = 0$ , в плоскости  $z = 0$  добавлено граничное условие идеального электрического проводника (*Perfect Electric Conductor*) для выделения только  $TE_{l,l,q}$ -поляризованных мод и уменьшения расчетной области. Радиус сферы из плавленого кварца  $a = 80$  мкм. За пределами сферы находится воздух  $n_{air} = 1$ . В направлениях  $+z$  и  $-z$  помещены идеально согласованные слои (*Perfectly Matched Layer, PML*) для подавления отражения от границ. Для примера толщина пленки никеля взята 5 нм с точки зрения доступности технологического изготовления методом вакуумного напыления и внесения небольших потерь для селектируемой моды.

Как видно на рис. 2, добротности значительно падают для индексов, отличных от селектируемой моды во всех трех случаях. Селектируемая мода может иметь сравнительно высокую добротность ( $Q \sim 10^7$ ), а остальные радиальные моды существенно подавляются ( $Q \sim 10^3$ ).

\* Работа выполнена в рамках темы госзадания Института автоматики и электрометрии СО РАН «Физические основы лазерных и сенсорных систем с использованием структурированных волоконных световодов и микрорезонаторов» (№ гос. рег. 121030500067-5). Использован вычислительный комплекс с лицензированным ПО COMSOL ЦКП «Спектроскопия и оптика» (ИАиЭ СО РАН).

© В. А. Симонов, В. С. Терентьев, 2023

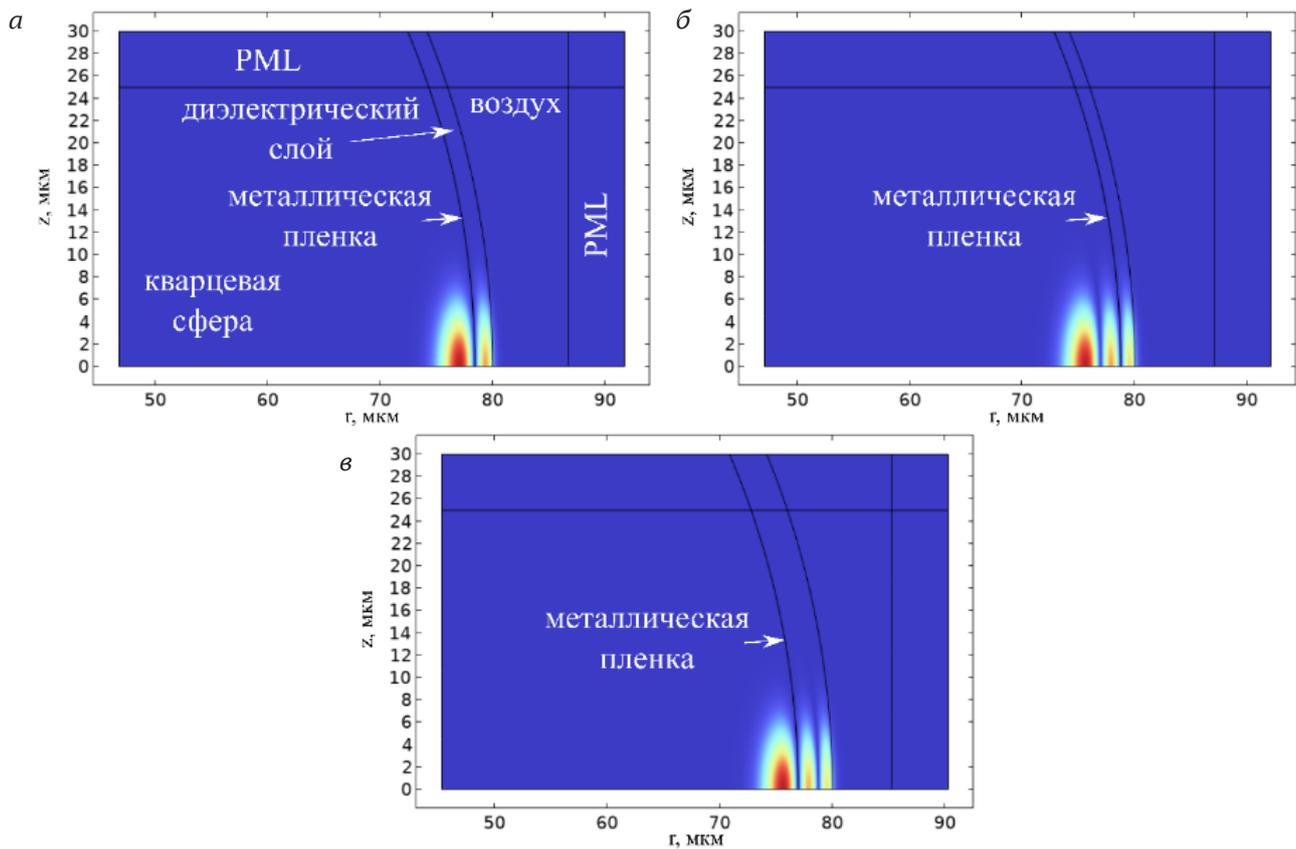


Рис. 1. Расчетная геометрия и распределение поля моды с  $q=2$  (а); распределение поля моды с  $q=3$  для случая размещения пленки в первом нуле (б) и во втором нуле (в)

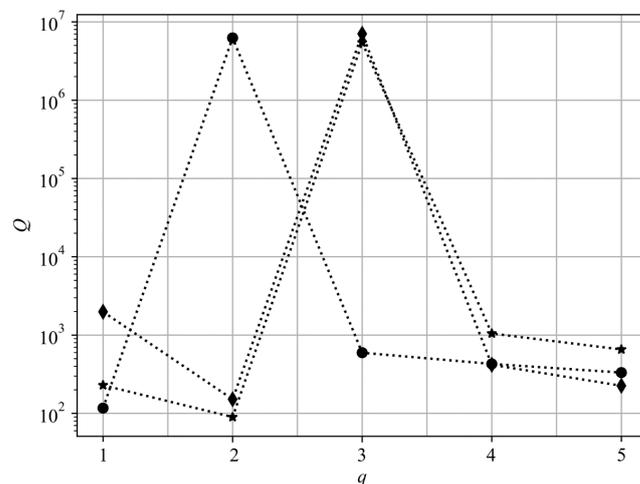


Рис. 2. Зависимость добротности мод с разными  $q$  для случая размещения пленки в нуле второй моды (круги), в первом нуле третьей моды (звезды) и во втором нуле третьей моды (ромбы)

Проведенное моделирование показывает возможность селекции по добротности радиальных мод в кварцевой микросфере за счет эффекта поглощения в тонкой металлической пленке, что позволит снизить число возбуждаемых в резонаторе мод. Данный метод потенциально можно применить для селекции мод и в других типах резонаторов с аксиальной симметрией, например цилиндрических.

## Список литературы

1. Городецкий М. Л. Оптические микрорезонаторы с гигантской добротностью. М.: Физматлит, 2011.
2. Terentyev V. S., Simonov V. A., Babin S. A. Fiber-based multiple-beam reflection interferometer for single-longitudinal-mode generation in fiber laser based on semiconductor optical amplifier // Laser Phys. Lett. 2017. Vol. 14. P. 25103.