

Изменение спектрального состава оптических мод шепчущей галереи в квазицилиндрическом микрорезонаторе под действием акустического импульса давления

В.А.Богатырев*, В.И.Вовченко*, И.К.Красюк*, В.А.Обоев**,
А.Ю.Семенов*, В.А.Сычугов*, В.П.Торчигин**

Впервые экспериментально обнаружено и измерено предсказанное ранее изменение спектрального состава оптических мод шепчущей галереи в квазицилиндрическом микрорезонаторе под действием акустического импульса давления, создаваемого импульсом лазерного излучения

Ключевые слова: микрорезонатор, моды шепчущей галереи, добротность резонатора, спектральный состав.

Оптические стеклянные микрорезонаторы привлекают к себе внимание простотой изготовления и чрезвычайно высокой добротностью, превышающей 10^9 [1–3]. В цилиндрическом микрорезонаторе возможна реализация высокодобротных мод, если микрорезонатор имеет бочкообразный участок, характеризующийся небольшим изменением диаметра d ($\Delta d/d \approx 0.05\%$). Оптические моды шепчущей галереи [4], возбуждаемые в таких резонаторах, обладают многими интересными свойствами. Так, акустический импульс давления достаточной амплитуды может «сдвинуть» запасенное в резонаторе излучение в его сужающуюся часть [5, 6]. При этом длина волны излучения уменьшается пропорционально Δd .

В настоящей работе приведены результаты экспериментов по наблюдению изменения спектра оптического излучения из веретенообразного резонатора при воздействии на него акустического импульса давления.

Схема опытов показана на рис.1. Оптический резонатор *1* был изготовлен из плавленого кварца. Диаметр резонатора в области утолщения составлял 1.87 мм, угол при вершине конусной части резонатора $2\gamma = 0.8 \times 10^{-2}$. Моды шепчущей галереи в резонаторе возбуждались импульсом второй гармоники *6* излучения лазера на иттрий-алюминиевом гранате с $\lambda = 1.064$ мкм, вводимым через призму *3*. Лазер работал в одномодовом режиме. Размеры зоны ввода излучения *12* зависели от того, насколько сильно призма ввода излучения была прижата к боковой поверхности резонатора. В условиях экспериментов продольный размер зоны ввода излучения составлял 100 мкм. Призма *4* для вывода излучения из резонатора размещалась на его конической части. При этом ее передний край находился на расстоянии 150 мкм от центра зоны ввода.

Осциллограммы возбуждающего лазерного импульса и выходящего из резонатора импульса излучения, полученные с помощью фотоприемника ЛФД 2А *13* и

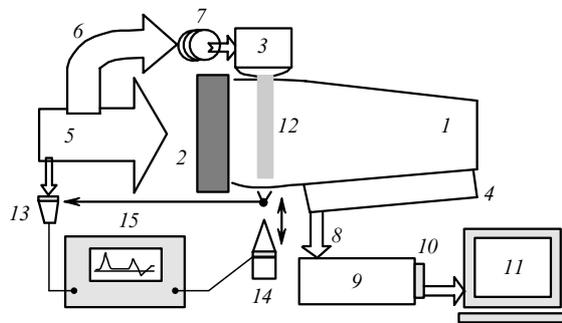


Рис.1. Схема опытов:

1 – веретенообразный оптический резонатор; *2* – алюминиевая фольга; *3* – призма для ввода излучения; *4* – призма для вывода излучения; *5* – импульс излучения с $\lambda = 1.064$ мкм; *6* – импульс второй гармоники; *7* – оптическая линия задержки; *8* – волоконный световод; *9* – спектрограф; *10* – CCD-камера; *11* – персональный компьютер; *12* – зона ввода излучения второй гармоники; *13* – фотоприемник ЛФД 2А; *14* – датчик давления; *15* – осциллограф Tektronix TDS-740.

осциллографа Tektronix TDS-740 *15*, показаны на рис.2,а. Из сравнения осциллограмм видно, что излучение внутри резонатора существует значительно дольше, чем длится возбуждающий лазерный импульс. Начиная с момента времени $t = 40$ нс, спад интенсивности излучения в резонаторе носит экспоненциальный характер ($I = I_0 \times \exp(-t/\tau)$) с постоянной времени $\tau = 110$ нс. В этом случае добротность резонатора $Q = \omega\tau = 4 \times 10^8$.

Акустический импульс давления создавался при взаимодействии импульса лазерного излучения *5* с длительностью по полувысоте 12 нс с алюминиевой фольгой *2* толщиной 250 мкм, размещаемой на переднем торце резонатора. Энергия импульса лазерного излучения могла достигать 250 мДж, диаметр пятна фокусировки составлял 2 мм, а интенсивность излучения на мишени не превышала 10^{10} Вт/см².

Пространственные распределения импульса давления относительно центра зоны ввода в различные моменты времени показаны на рис.3. Для регистрации акустического импульса давления к боковой поверхности резонатора в зоне ввода возбуждающего излучения подвигалась призма из стекла, играющая роль звукопровода, с закрепленным на ней датчиком давления *14*. Зона контакта имела ширину 10 мкм, что обеспечивало точ-

*Институт общей физики РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38

**Институт проблем информатики РАН, Россия, 117872 Москва, Нахимовский просп., 36/1

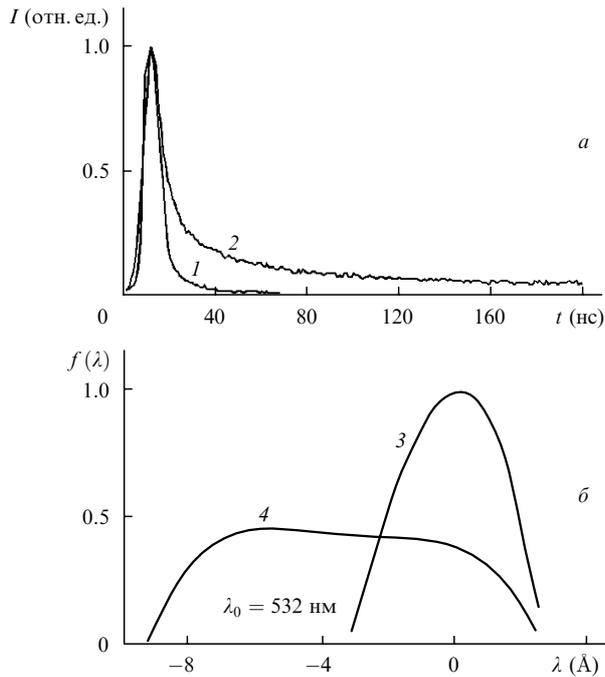


Рис.2. Осциллограммы лазерного импульса, возбуждающего резонатор (1), и излучения, выходящего из резонатора (2) (а), а также спектры излучения, выходящего из резонатора, в отсутствие акустического импульса давления (3) и при его воздействии на резонатор (4) (б).

ность измерений 1.5 нс. Время распространения звукового импульса по призме составляло 118 нс. На дистанции 75 мкм скачок давления $\Delta p = 3$ кбар. Соответствующее изменение показателя преломления [7] $\Delta n = 0.94 \times 10^{-3} \Delta p = 2.8 \times 10^{-3}$, а относительное — $\Delta n/n = 2 \times 10^{-3}$.

С помощью оптической линии задержки 7, изготовленной из волоконного световода с диаметром сердцевины 50 мкм, возбуждение резонатора осуществлялось в момент времени, когда положительная часть импульса давления располагалась симметрично зоне ввода 12. В момент времени $t = 110$ нс, когда минимум импульса давления достигал зоны вывода, энергия излучения в резонаторе уменьшалась до 20 % от начальной.

Спектральный состав излучения, выводимого из резонатора, регистрировался с помощью спектрографа 9 с отражающей дифракционной решеткой с обратной дисперсией 5 нм/мм в выходной плоскости. Спектр записывался в память персонального компьютера 11 с помощью CCD-камеры 10 с разрешением 499×582 пикселей, что определяло предельное спектральное разрешение ~ 0.1 нм. Оптическое излучение, выходящее из резонатора, передавалось на входную щель спектрографа по волоконному световоду 8, диаметр которого (100 мкм) определял размер зоны сбора излучения, выходящего из резонатора. Ширина входной щели, равная 24 мкм, оп-

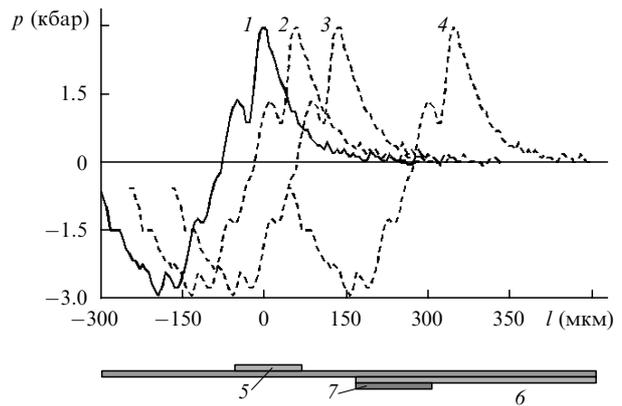


Рис.3. Пространственное положение акустического импульса давления в моменты времени $t = 0$ (1), 12 (2), 21 (3) и 110 нс (4). Внизу приведена диаграмма, показывающая положение зоны ввода оптического излучения в резонатор (5), зоны прилегания выводной призмы к конической части резонатора (6) и зоны сбора излучения, выходящего из резонатора (7).

ределяла ширину спектральной аппаратной функции (кривая 3 на рис.2,б). Дальнейшее уменьшение ширины щели приводило к уменьшению сигнала до уровня ниже регистрируемого.

Результат действия акустического импульса давления на оптический микрорезонатор, когда в нем возбуждены моды шепчущей галереи, показан на рис.2,б. Видно, что в условиях эксперимента происходит уширение спектра в сторону меньших длин волн на $\Delta\lambda \approx 0.6$ нм. При этом относительное уширение спектра $\Delta\lambda/\lambda$ достигает $\sim 10^{-3}$, что согласуется с теоретическими оценками работы [6]: $\Delta\lambda/\lambda = \Delta d/d = 2\gamma\Delta l/d \approx 10^{-3}$, где $\Delta d = 2\gamma\Delta l$; $2\gamma = 0.8 \times 10^{-2}$; $\Delta l = 250$ мкм — максимальная длина, на которой происходит преобразование света внутри резонатора.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты показывают возможность эффективного воздействия на спектральные характеристики оптических мод шепчущей галереи в квазицилиндрическом микрорезонаторе с помощью акустического импульса давления.

Авторы выражают благодарность Международному научно-техническому центру за финансовую поддержку (грант № 1043).

1. Gorodetsky M.I., Savchenkov A.A., Ilchenko V.S. *Opt. Lett.*, **21**, 453 (1996).
2. Cai M., Painter O., Vahala K.J. *Phys. Rev. Lett.*, **85**, 74 (2000).
3. Karakantzas G., Dimmick T.E., Birks T.A., Le Roux R., Russell P.St.-J. *Opt. Lett.*, **26**, 1137 (2001).
4. Richtmayer R.D. *J. Appl. Phys.*, **10**, 391 (1939); Снайдер А., Лав Дж. *Теория оптических волноводов* (М.: Радио и связь, 1987, с. 157).
5. Torchigin V.P., Torchigin A.V. *Pure and Appl. Opt.*, **7**, 763 (1998).
6. Torchigin V.P., Sychugov V.A., Magdich L.N., Torchigin S.V. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **4453**, 69 (2001).
7. Мазурин О.В., Стрельцина М.В., Швайко-Швайковская Т.П. *Свойства стекол и стеклообразующих расплавов (справочник)* (Л.: Наука, 1973, т.1. с.77).