

Наведенная тепловая дисперсия аксиальных МШГ в цилиндрическом микрорезонаторе при интенсивной накачке

**Х.А. Ризк^{1,2,*}, А.Ю. Колесникова², А.Д. Новиков²,
Д.В. Кудашкин², В.А. Симонов¹, И.Д. Ватник²**

¹Институт автоматики и электрометрии СО РАН

²Новосибирский государственный университет

*E-mail: k.rizk@g.nsu.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.176-177

Оптические микрорезонаторы мод шепчущей галереей (МШГ) обладают рядом преимуществ, среди которых высокая добротность, низкая стоимость изготовления, высокая плотность запасенной энергии и низкие пороги для генерации нелинейных эффектов[1]. Благодаря этим свойствам такие резонаторы широко используются в различных областях фотоники: в качестве датчиков[2] и нелинейных оптических генераторов[3]. Наша работа посвящена МШГ на цилиндрических микрорезонаторах с переменным радиусом (surface nanoscale axial photonic или SNAP резонаторах) с различными аксиальными квантовыми числами (q), но одинаковыми азимутальными (m) и радиальными (p) числами. SNAP-резонаторы могут быть реализованы на поверхности стандартных телекоммуникационных волокон. Малая область свободной дисперсии в таких микрорезонаторах позволяет искать их применений для получения оптических частотных гребенок с низкой частотой повторения, при этом управление дисперсией мод, которая должна быть аномальной, может осуществляться за счет создания вариаций радиуса нанометрового масштаба, например, изгибом волокна [4]. При этом, в отличие от других микрорезонаторов, накачка SNAP-микрорезонатора высокомоушным излучением и сопутствующий его нагрев может существенным образом изменять дисперсию мод из-за пространственной неоднородности температур, и повлиять на развитие нелинейной генерации.

В работе экспериментально и численно исследовались эффект нагрева в SNAP микрорезонаторах при накачке интенсивным излучением, определена степень влияния нагрева на структуру аксиальных мод.

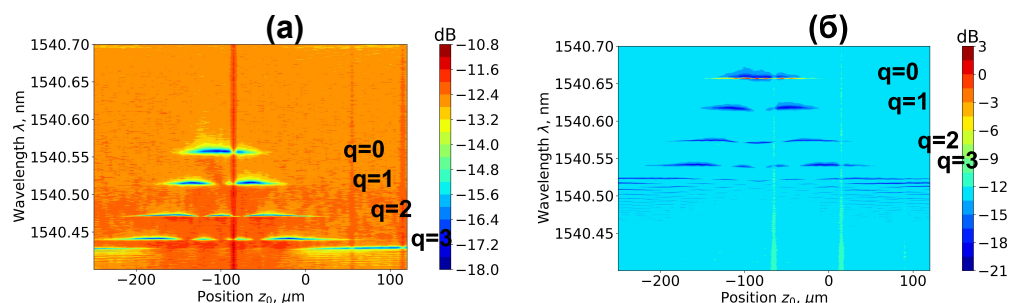


Рисунок 1. (а,б) - экспериментально спектрограмма спектра пропускания: (б) – исходное состояние микрорезонатора, (б) – состояние микрорезонатора во время режима возбуждающее мощное лазерное излучение.

Во-первых, были измерены резонансные длины волн в исходном состоянии холодного (ненакачанного) резонатора в различных точках вдоль оси микрорезонатора с помощью анализатора оптического спектра и тейпера (Рисунок 1(а)). При сканировании длины волны излучения накачки мощностью 18 дБм

через резонансную длину волны микрорезонатора наблюдался сдвиг спектра пропускания в длинноволновую область (Рисунок 1(б)). Средний сдвиг резонансных длин волн микрорезонатора составляет около 100 пм, при этом спектральная отстройка между соседними аксиальными модами изменялась на единицы пм.

Для описания процесса нагрева и сдвига частот резонансов в программном пакете COMSOL Multiphysics 6.1 с использованием модулей «Волновая оптика» и «Теплопередача» была реализована модель исследуемого микрорезонатора с 5 аксиальными модами. При согласовании внутрирезонаторной энергии модель дает результаты, согласующиеся с экспериментальными. Экспериментальные и расчетные данные для случая накачки в моду с $q=0$ показаны на Рисунке 2(а, б).

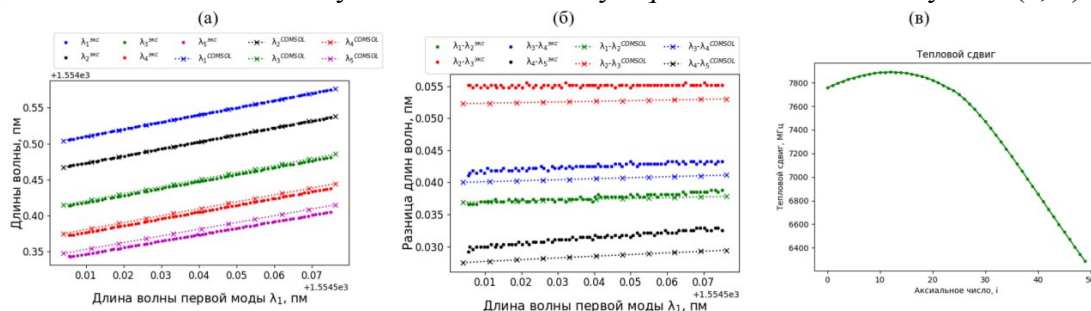


Рисунок 2. Длины волн экспериментальные (точки) и расчетные (крестики) резонансов для разных аксиальных чисел от длины волны накачки (а) и межмодовое расстояние экспериментальное (точки) и расчетное (крестики) для соседних аксиальных мод от длины волны накачки (б) при накачке в моду с $q=0$. Наведенный тепловой сдвиг резонансов при пороговом уровне накачке в моду с $q=24$ для микрорезонатора с 50 аксиальными модами (в).

Верифицированная таким образом модель была использована для анализа влияния нагрева на структуру мод в микрорезонаторе, подходящем для генерации керровской оптической гребенки. А именно, была рассмотрена модель SNAP-микрорезонатора с параболической вариацией радиуса, которая обеспечивает существование 50 аксиальных мод с эквидистантным распределением мод (ОСД=200 МГц). На основе численной модели была исследована дисперсия мод в таком резонаторе при накачке в моду с $q=24$. Результирующий сдвиг положений резонансов показан на Рисунке 2(в). Рассчитанная для этого случая дисперсия оказалась положительной, таким образом можно сделать вывод, что наведенное тепловое поле не препятствует нелинейной генерации в таком SNAP-резонаторе.

Таким образом, экспериментально исследована зависимость спектра мод для резонатора с вариацией радиуса, поддерживающего пять аксиальных мод, от мощности накачки. По полученным данным построена и верифицирована численная модель, которая использована для расчета мод цилиндрического микрорезонатора при накачке, необходимой для достижения нелинейной генерации.

Работа Х. А. Ризк и В. А. Симонова выполнена в рамках госзадания Института автоматики и электрометрии СО РАН (124041700065-2). Использован вычислительный комплекс с лицензированным ПО COMSOL ЦКП "Спектроскопия и оптика" (ИАиЭ СО РАН). Работа А. Ю. Колесниковой, А. Д. Новикова, Д. В. Кудашкина и И. Д. Ватника поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (FSUS-2020-0034).

Литература

- [1] T. J. Kippenberg, S. M. Spillane, K. J. Vahala. *PhysRevLett*, 93, 8, (2004)
- [2] X. Jiang, A. Qavi, et al *Matter*.3, 2, 371-392 (2020)
- [3] D. Strekalov, C. Marquardt, et al. *J. Opt.*, 18, 12, 43 (2016)
- [4] D. Bochek, N. Toropov, et. al, *Opt. Lett.* 44, 3218-3221 (2019)