

Модель расчета добротности микрокольцевых резонаторов. Сравнение с экспериментом

Д.Е. Артемов^{1,2*}, В.Н. Трещиков¹, А.И. Федосеев²,
А.А. Ершов³, А.А. Никитин³, А.Б. Устинов³

¹ ООО «Т8», г. Москва

² МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

³ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова, г. Санкт – Петербург

*E-mail: artemov.de14@physics.msu.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.174-175

Микрокольцевые резонаторы (МКР) используются в составе фотонных интегральных схем для фильтрации длин волн, стабилизации лазерного излучения и в приложениях нелинейной оптики (генерация оптических гребенок). Для задач уменьшения фазовых шумов лазерных источников, в которых МКР выступает в качестве дополнительного резонансного отражателя [1], ключевыми характеристиками является добротность и коэффициент отражения резонансов МКР.

При разработке лазерных источников с дополнительными резонансными отражателями в интегральном исполнении необходимо адекватно, но в то же время упрощенно (быстро) оценивать ключевые характеристики МКР.

В данной работе приводится модель оценки добротности резонансов МКР в режиме слабой связи на основе многолучевой интерференции и теории связанных мод. Для упрощения расчетной модели используется формализм теории связанных мод для одинаковых одномодовых параллельных волноводов [2,3].

В рамках многолучевой интерференции показано, что интенсивность поля внутри МКР (Рис. 1) может быть описана формулой Эйри, справедливой для интерферометра Фабри-Перо

$$E_p^n = E_p^0 \cdot \left[e^{-\alpha L_{MRR}/2} \cdot e^{-i\theta} \cdot t \right]^n, \quad (1)$$

$$I_{MRR}(\theta) = \frac{I_{res}(\theta = 2\pi m)}{1 + 4F^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}}, \quad (2)$$

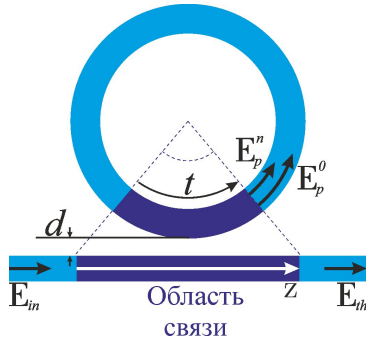


Рис. 1. Комплексные амплитуды парциальных волн в МКР.

где α - коэффициент затухания (по мощности); L_{MRR} - геометрическая длина МКР; t - амплитудный коэффициент пропускания участка связи; $I_{res}(\theta = 2\pi m) = |E_p^0|^2 / (1 - at)^2$ - интенсивность света в МКР в резонансе; $F \equiv \sqrt{at} / (1 - at)$ - резкость; $a \equiv \exp(-\alpha L_{MRR} / 2)$; θ - фазовый набег при однократном проходе МКР; E_p^n - комплексная амплитуда парциальной волны в МКР после n-го прохода МКР; $E_p^0 = ik E_{in}$ - начальная парциальная волна в МКР (в случае одинаковых одномодовых связанных волноводов без потерь $k = \sqrt{1 - t^2}$).

В рамках теории связанных мод проведена оценка коэффициента пропускания участка связи (по амплитуде).

Для 4-х образцов МКР и близлежащих волноводов, различающихся зазором d между МКР и волноводом, проведена оценка коэффициента l и добротности резонансов по формуле, справедливой для интерферометров Фабри-Перо

$$Q_{Airy} = \frac{\pi n_{gr}(\lambda_{res}) L_{MRR}}{2\lambda_{res}} \bigg/ \arcsin\left(\frac{1}{2F}\right). \quad (3)$$

Здесь $n_{gr}(\lambda_{res})$ - групповой показатель преломления на резонансной длине волны λ_{res} . Модельная оценка добротности сделана при известном коэффициенте затухания α , полученном от производителя фотонной интегральной схемы с образцами МКР.

Для проверки адекватности предложенной модели измерены и аппроксимированы спектры пропускания $T = |E_{th}/E_{in}|^2$ тех же образцов МКР. Модельные и экспериментальные оценки добротностей резонансов МКР представлены на Рис. 2.

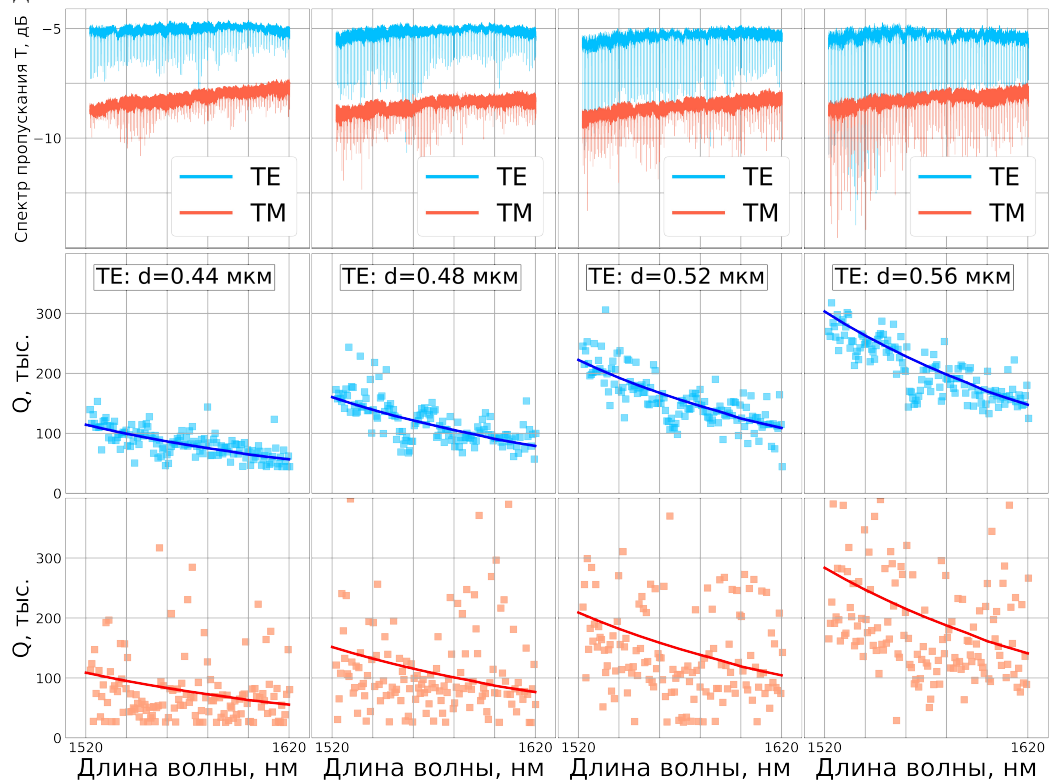


Рис. 2. Первый ряд – экспериментально измеренные спектры пропускания образцов МКР в двух ортогональных поляризациях; Второй и третий ряд – экспериментальные (квадраты) и модельные (линия) оценки добротности соответствующих резонансов МКР. Каждый столбец графиков соответствует одному образцу МКР.

Таким образом показано, что резонансы МКР могут быть аппроксимированы профилем Эйри, а для модельной оценки коэффициента связи и добротности резонансов в случае слабой связи (высокой добротности) можно использовать упрощенную, но адекватную модель на основе многолучевой интерференции и теории связанных мод.

Литература

- [1] Kondratiev N.M., Lobanov V.E. et al, *Frontiers of Physics* **18**(2), 21305 (2023)
- [2] Hardy A., Streifer W. *J. Lightwave Technology* **18**(5), 1135-1146 (1985)
- [3] Matsuhara M., Watanabe A. *JOSA* **65**(2), 163-168 (1975)