

Л.И. Краморева, А.И. Савицкий, И.Л. Бабков

**УО «Гомельский государственный медицинский университет»,
Гомель, Беларусь**

ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОКОЛЬЦЕВЫХ МОД

Для формирования многокольцевых мод бесселевого типа используют пассивные и активные оптические схемы. В первом случае для преобразования исходного пучка с гауссовым профилем интенсивности в многокольцевой пучок применяют разнообразные пространственные фильтры (кольцевую диафрагму, аксикон, голографические фильтры, пассивный резонатор Фабри-Перо, дифрактивные фазовые элементы [1, 2]). Во втором случае подобного рода пучки формируют с помощью модернизации активных лазерных резонаторов (например, с использованием зеркал с кольцевыми апертурами [3] или на основе аксиконной оптики [4–6, 7–10]). В обоих

случаях оптическая система для генерации многокольцевых мод (особенно на основе аксиконной оптики) требует точной юстировки оптических элементов, не позволяет формировать более одной многокольцевой моды на выходе системы и имеет ограниченные возможности управления пространственной структурой сформированного пучка.

Целью работы являлась разработка метода генерации многокольцевых пучков в схеме пассивного сферического резонатора Фабри-Перо с возможностью формирования более одного кольцевого пучка на выходе системы и управления его пространственной структурой в реальном времени.

Для формирования многокольцевых пучков использовался пассивный сферический резонатор Фабри-Перо, с заменой сферических зеркал на собирающие двояковыпуклые длиннофокусные линзы. Диаметр линз составлял 6 см, фокусное расстояние $f = 60$ см, показатель преломления $n = 1,5$, радиус кривизны поверхностей линз $R = 30$ см. Схема установки приведена на рисунке 1. Линейно поляризованный пучок 2 одномодового He-Ne лазера ЛГН-109 1 направлялся в резонатор, состоящий из двух идентичных двояковыпуклых собирающих линз 3 и 4 на расстоянии l друг от друга. В плоскости 5 регистрация проходящего поля осуществлялась CCD-камерой. Как частный случай, нами исследовано наклонное падение пучка на линзовый резонатор.

Наклонное падение лазерного излучения было реализовано поворотом линзы 3 в плоскости XOZ на угол $\alpha \approx 4^\circ$, при этом линза 4 также отклонялась в той же плоскости на угол $\alpha' \approx -2^\circ$ (на рисунке 2 представлена ориентация указанных линз относительно оптической оси и друг друга).

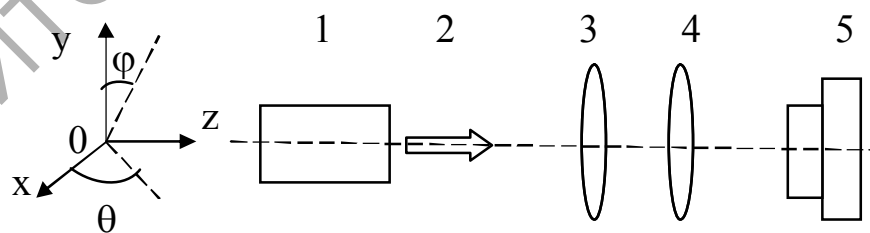


Рисунок 1 – Схема установки для формирования многокольцевых интерференционных полей: 1– лазер ЛГН-109, 2– исходный линейно-поляризованный пучок, 3 и 4 – линзы, 5 – CCD-камера

Расстояние между центрами линз $l = 20$ см. Метод, с помощью которого была реализована интерференция, заключался в разделении

падающей световой волны на два фронта при ее частичном отражении и преломлении на границе двух сред. Исходный пучок 2, попадая в линзовый резонатор, испытывал, в общем случае, преломление и многократные отражения от передней и задней сферических поверхностей каждой из линз. В отраженном (от линзы 3) и проходящем (после линзы 4) поле происходило формирование многокольцевых интерференционных полей (МИП).

В проходящем поле (после линзы 4) формировалось три пространственно разделенных пучка: высокоинтенсивный центральный пучок распространялся вдоль оптической оси системы. Два других интерференционных пучка имели одинаковую интенсивность, отличались от центрального пучка наличием системы колец с круглым максимумом в центре одного пучка и минимумом в центре другого (рисунок 3) и распространялись под разными углами к оптической оси ($\beta' \sim 3^\circ$, $\beta'' \sim 5^\circ$, рисунок 2). Интенсивность каждого интерференционного пучка в проходящем поле составляла около 15 % от интенсивности центрального проходящего пучка.

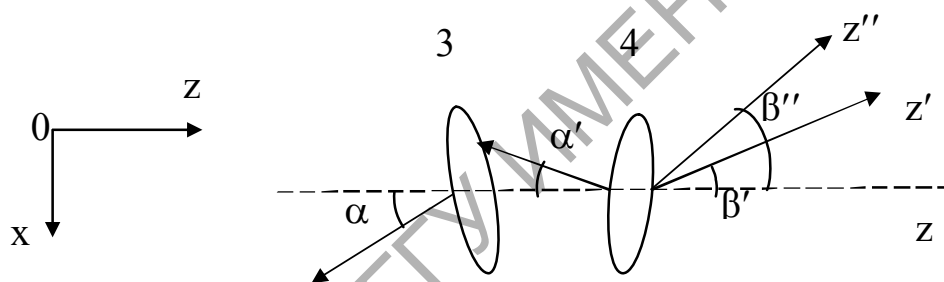


Рисунок 2 – Фрагмент рисунка 1 (вид сверху) с изображением ориентации линз 3 и 4 относительно оптической оси z схемы и друг друга (стрелками показано направление отраженного пучка от соответствующей линзы), z', z'' – направление распространения интерференционных многокольцевых пучков

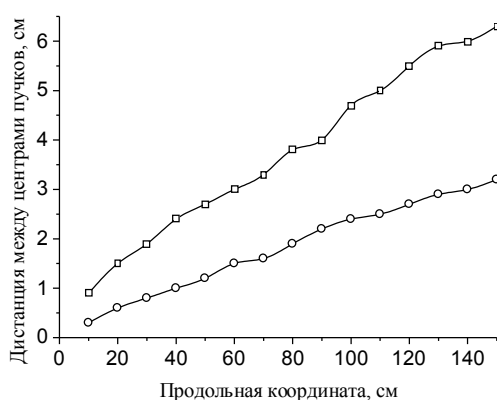


Рисунок 3 – Профиль интенсивностей интерференционных пучков в проходящем поле
Расстояние между центрами пучков линейно увеличивалось по мере

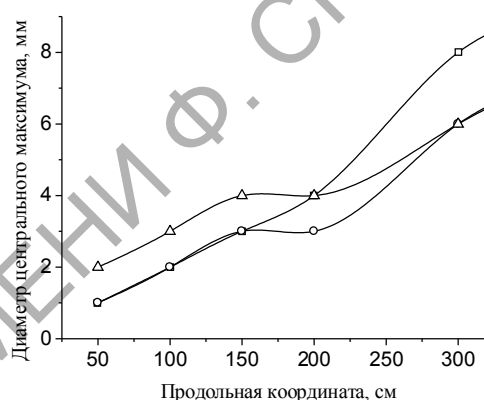
их распространения в пространстве (рисунок 4,а).

На рисунке 4,б представлена зависимость диаметра ядра всех трех пучков от продольной координаты в проходящем поле. Таким образом, на выходе оптической системы формировались z -зависимые моды бесселева типа.

Необходимо отметить, что расстояние между линзами l определяет величину диаметра интерференционных пучков. Так при $l = 7,5$ см в проходящем поле диаметры МИП становились примерно одинаковыми. При условии $l < 7,5$ см диаметр ближайшего МИП к центральному проходящему пучку уменьшается, одновременно диаметр дальнего МИП увеличивается.



(а)



(б)

Рисунок 4 – (а) Зависимость дистанции между центрами соседних интерференционных пучков (–○–), центральным пучком и ближайшим интерференционным (–□–);

(б) зависимость диаметра центрального пучка с гауссовым распределением интенсивности пучка (–○–), диаметра ядра МИП с максимумом в центре (–□–) и диаметра ядра МИП с минимумом в центре (–Δ–) от продольной координаты, при $l = 20$ см

Нами исследовалось влияние смещения и наклона линз на структуру проходящих многокольцевых пучков.

Смещение центров линз 3 или 4 в плоскости XOY в горизонтальном направлении схемы (рисунок 1) приводило к одновременному попутному перемещению обоих МИП в той же плоскости и в том же направлении с периодической заменой $\max \leftrightarrow \min$ в центре каждого пучка (рисунок 5). Аналогичные изменения пространственной структуры пучков имели место при отклонении линзы 3 или 4 от ее исходного положения в плоскости XOZ на некоторый угол θ .

Отклонение линзы 3 или 4 от исходного положения в плоскости YOZ на некоторый угол φ эквивалентно перемещению интерференционных пучков в вертикальном направлении перпендикулярно оптической оси с заменой $\max \leftrightarrow \min$ в центрах пучков.

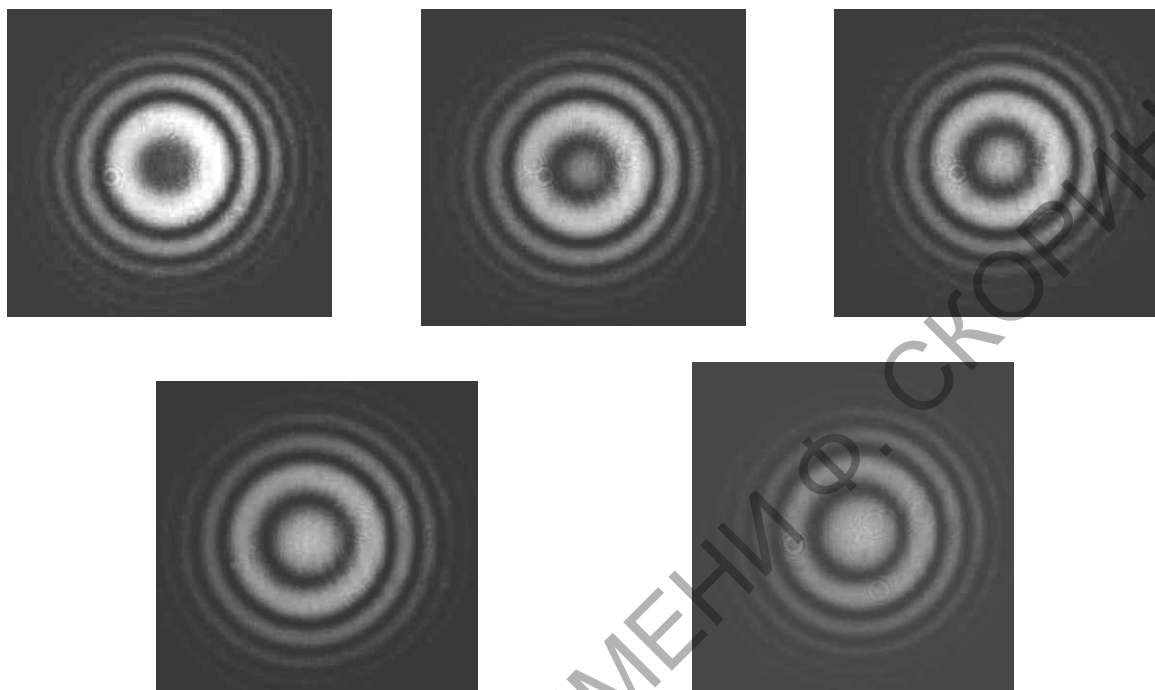


Рисунок 5 – Управляемое изменение пространственной структуры интерференционного пучка с минимумом в центре

Таким образом, использование простой схемы пассивного сферического резонатора Фабри-Перо с заменой сферических зеркал на сферические линзы позволяет значительно упростить способ формирования многокольцевых z -зависимых мод бесселевого типа, а именно; получить в отраженном и проходящем поле два интерференционных многокольцевых пучка с максимумом или минимумом в центре; осуществить управление пространственной структурой обоих пучков в реальном времени.

Литература

1. Kramoreva, L.I. Optical Coherence Tomography (Review) / L.I. Kramoreva, Yu.I. Rozhko // Journal of Applied Spectroscopy. – 2010. – Vol. 77. – № 4. – P. 485–506.
2. McGlain, D. Bessel beams: diffraction in a new light / D. McGlain, K.Dholakia // Cont. Phys. – 2005. – Vol. 46. – № 1. – P. 15–28.
3. Uehara, K. Generation of nearly diffraction-free laser beams / K. Uehara, H.Kikuchi // Appl. Phys. B. – 1989. – Vol. 48. – № 2. – P. 125–129.

4. Muys, P. Direct generation of Bessel beams / P. Muys, E. Vandamme // *Appl. Opt.* – 2002. – Vol. 41. – № 30. – P. 6375–6379.

5. Hernandez-Aranda, R. I. Theory of the unstable Bessel resonator / R.I.Hernandez-Aranda, S. Chavez-Cerda, J.C. Gutierrez-Vega // *J. Opt. Soc. Am. A.* – 2005. – Vol. 22. – № 9. – P. 1909–1917.

6. Wu, F. Nanosecond pulsed Bessel-Gauss beam generated directly from a Nd: YAG axicon-based resonator / F. Wu, Y. Chen, D. Guo // *Appl. Opt.* – 2007. – Vol.46. – № 22. – P. 4943–4947.

7. Rogel-Salazar, J. Bessel–Gauss beam optical resonator / J. Rogel-Salazar, G.H.C. New, S. Chavez-Cerda // *Opt. Commun.* – 2001. – Vol. 190. – P. 117–122.

8. Tsangaris, C.L. Unstable Bessel beam resonator / C.L. Tsangaris, G.H.C.New, J. Rogel-Salazar // *Opt. Commun.* – 2003. – Vol. 223. – P. 233–238.

9. Khilo, A.N. Axicon-based Bessel resonator: Analytical description and experiment / A.N. Khilo, E.G. Katranji, A.A. Ryzhevich // *J. Opt. Soc. Am. A.* – 2001. – Vol. 18. – № 8. – P. 1986–1992.

10. Gutierrez-Vega, J.C. Bessel-Gauss resonator with spherical output mirror: geometrical and wave-optics analysis / J.C. Gutierrez-Vega, R. Rodriguez-Masegosa, S. Chavez-Cerda // *J. Opt. Soc. Am. A.* – 2003. – Vol. 20. – № 11. – P. 2113–2122.