

Коэффициент интенсивности первого кольца бесселева светового пучка нулевого порядка

А. А. Рыжевич^{1, 2)}, И. В. Балыкин¹⁾, Т. А. Железнякова²⁾

¹⁾ Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: a.ryzhevich@dragon.bas-net.by

²⁾ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Вводится коэффициент интенсивности первого (приосевого) кольца бесселева светового пучка нулевого порядка (БСП), равный отношению максимальной интенсивности в первом кольце БСП к осевой интенсивности. Нормальное (идеальное) значение коэффициента равно 0,1622. Коэффициент показывает степень влияния первого кольцевого максимума в процессах лазерной обработки с помощью БСП, и его повышенное значение может привести к нежелательному увеличению площади воздействия БСП на обрабатываемый материал.

Ключевые слова: бesselев световой пучок; осевая интенсивность; приосевое кольцо; коэффициент интенсивности первого кольца.

Coefficient of the zero order Bessel light beam first ring intensity

A. A. Ryzhevich^{1, 2)}, I. V. Balykin¹⁾, T. A. Zheleznyakova²⁾

¹⁾ B. I. Stepanov Institute of Physics of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: a.ryzhevich@dragon.bas-net.by

²⁾ Belarusian State University, Minsk, Belarus

The intensity coefficient of the first (axial) ring of the zero-order Bessel light beam (BLB) is introduced. Epy coefficient is equal to the ratio of the maximum intensity in the first ring of the BLB to the axial intensity. The normal (ideal) value of the coefficient is 0.1622. The coefficient indicates the degree of influence of the first ring maximum in laser processing with BLB, and a higher value may lead to an undesirable increase in the BLB impact area on the processed material.

Keywords: Bessel light beam, axial intensity, near axis ring, coefficient of the first ring intensity.

Введение

Для оценки пригодности для практического применения бesselевых световых пучков (БСП) нулевого порядка, в особенности в приложениях, связанных с лазерной обработкой материалов, большое значение имеет максимальное значение интенсивности в первом, т.е. приосевом кольце пучка. Это объясняется следующими причинами: во-первых, слишком высокая интенсивность в приосевом кольце некачественного БСП может привести к нежелательным результатам обработки материала, поскольку в процессе может участвовать не только осевой максимум интенсивности, но и первое кольцо, если его интенсивность достаточно высока; во-вторых, максимальная интенсивность в кольцах, следующих после приосевого, в практически реализуемых пучках убывает достаточно быстро, поэтому их влияние менее значительно.

В связи с этим представляет интерес вопрос, как отношение максимальной интенсивности в приосевом кольце пучка к осевой интенсивности ведет себя при различных условиях его формирования, а также, как оно соотносится с другими параметрами качества пучка. В простейшем случае при формировании БСП аксионом из гауссова пучка такими изменяющимися условиями могут быть тип исходного источника лазерного излучения и расстояние от аксикона до плоскости регистрации пучка.

1. Определение коэффициента интенсивности первого кольца БСП

Ранее были введены параметры качества БСП [1], определяющие соответствие пучка идеальному по трем критериям – степени его осевой симметрии в чисто геометрическом смысле k_k , равномерности значения интенсивности в приосевом кольце вдоль различных направлений k_{Π} и общему соответствию пучка идеальному на основе среднего значения критерия $\langle R^2 \rangle$. В этом исследовании предлагается рассмотреть еще одну величину, характеризующую качество пучка – коэффициент интенсивности первого максимума k_1 , вводимый как отношение максимальной интенсивности в приосевом кольце пучка к осевой интенсивности как безразмерной величины либо в процентах:

$$k_1 = 100\% \cdot \frac{\max[I(r_1)]}{I(0)},$$

где $I(0)$ – интенсивность на оси пучка, $\max$ обозначает операцию определения максимума по выборке радиальных распределений интенсивности, $I(r_1)$ – интенсивность в первом приосевом кольце, определенная по процедуре, описанной в [1].

В идеальном случае, интенсивность в первом кольцевом максимуме достигает величины, равной 0,1622 от осевой интенсивности пучка. Эта величина определяется как значение квадрата функции Бесселя, задающей распределение интенсивности в первом нетривиальном нуле производной функции Бесселя, т. е. $J_0^2(\mu'_{0,1})$. Поэтому для идеального пучка $k_1 = 16,22\%$.

2. Сравнение коэффициентов интенсивности первого кольца БСП, сформированных из излучения гелий-неонового и полупроводникового лазеров

Для формирования БСП использовалась схема, изображенная на рис. 1. Система регистрации состояла из подвижной платформы 5, движимой с использованием шагового двигателя, на которой были закреплены объектив 3 с фокусным расстоянием 0,4 мм и CCD-камеры CoolSnap EZ 4 (разрешение 1392×1040 при квадратном пикселе размером 6,45 мкм). Нами были рассмотрены БСП, полученные авторами ранее из излучения от гелий-неонового лазера ЛГН-201 и полупроводникового лазерного модуля KLM-M650-40-5. Примеры полученных распределений интенсивности приведены на рис. 2. С использованием разработанной авторами компьютерной программы был произведен анализ пространственных распределений интенсивности в полученных БСП. Результатами анализа стали продольные распределения

(зависимости от координаты z) параметров качества, введенных в [1], а также введенного в этой работе коэффициента k_1 , изображенные на рис. 3.

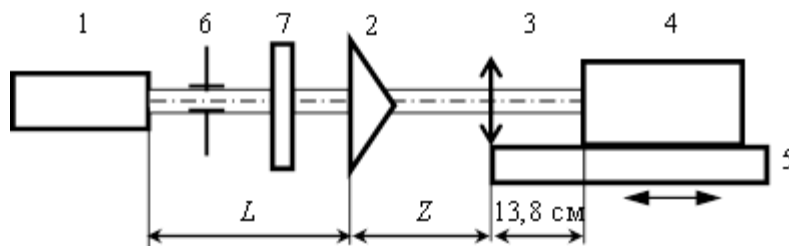


Рис. 1. Схема формирования БСПО: 1 – полупроводниковый лазерный модуль; 2 – аксикон, 3 – объектив, 4 – CCD-камера; 5 – моторизованная платформа; 6 – круглая диафрагма с апертурой 6 мм; 7 – аттенюатор на нейтральных светофильтрах 0,5/0,03/0,01

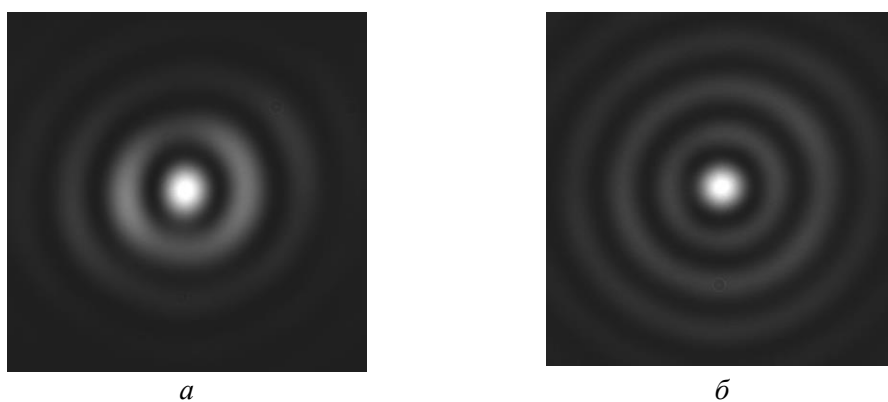


Рис. 2. Поперечные распределения интенсивности в формируемом аксиконном световом поле при $L=17$ см, $Z=9,25$ см:
а – от полупроводникового лазера; б – от гелий-неонового лазера

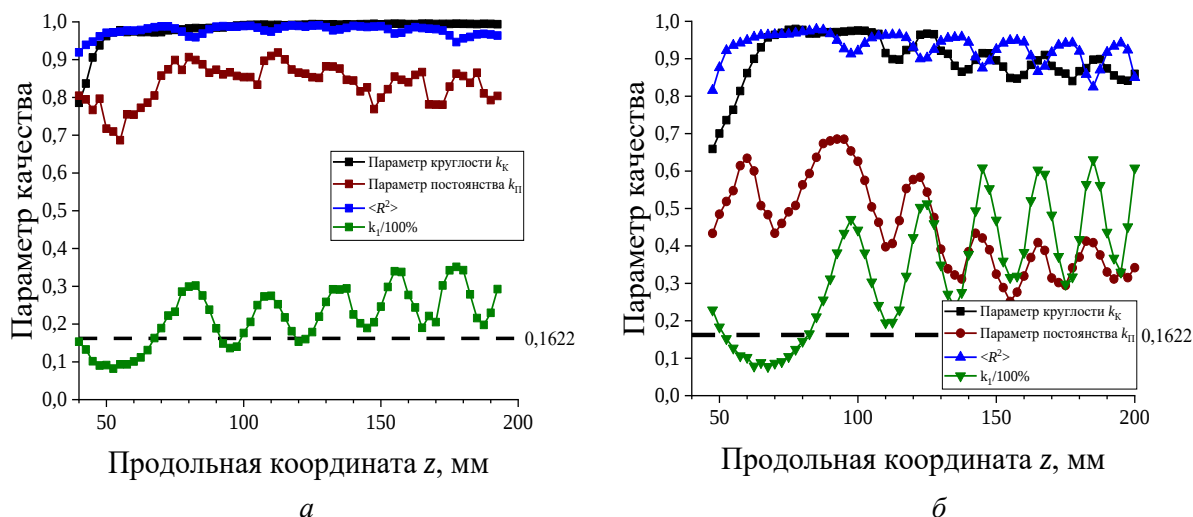


Рис. 3. Продольные распределения параметров качества и k_1 (пунктирной линией обозначено значение $k_1/100$ % для идеального БСП):
а – от гелий-неонового лазера; б – от полупроводникового лазера

На графиках для гелий-неонового лазера (рис. 3, а) видно, что в моменты приближения k_1 к значению, соответствующему идеальному БСП, $\langle R^2 \rangle$, характеризующий общую степень близости пучка к идеальному приближается к 1, что позволяет сделать вывод о пригодности использования k_1 для быстрой оценки близости пучка к идеальному, поскольку его вычисление значительно алгоритмически проще. Также видно, что в целом k_1 осциллирует подобным на $\langle R^2 \rangle$ образом, что свидетельствует о том, что эти параметры коррелируют и в некоторых ситуациях могут быть взаимозаменяемы.

На графиках для полупроводникового модуля (рис. 3, б), для которого в целом качество выходного пучка ниже, также наблюдается аналогичная закономерность, дополнительно следует отметить, что видны синхронные с k_1 (в периодическом смысле), изменения коэффициентов постоянства k_{Π} и круглости $k_{\text{К}}$. С другой стороны также видно, что в продольной зависимости k_1 не наблюдается снижения в среднем, как для k_{Π} и $k_{\text{К}}$, что свидетельствует о том, что k_1 , не содержит информации об общей неравномерности интенсивности пучка или изменении его формы, что соответствует сути его определения.

Другое важное обстоятельство состоит в том, что k_1 значительно изменяется с продольной координатой (от 10 % до 30 % для гелий-неонового лазера и от 10 % до 60 % для полупроводникового лазерного модуля). Это может иметь существенное значение в задачах лазерной обработки материалов, предварительное измерение k_1 , таким образом, может помочь определить диапазон продольной координаты, в которой должна находиться обрабатываемая деталь для достижения желательного эффекта.

Заключение

Вводимый параметр k_1 позволяет производить быструю оценку близости пучка к идеальному почти наравне с $\langle R^2 \rangle$ при условии, что распределение интенсивности в пучке достаточно близко к идеальному БСП. При этом его определение учитывает непосредственное отношение значения интенсивности в приосевом кольце к осевой интенсивности, что может быть важно для практических приложений при определении оптимального диапазона продольной координаты для размещения объекта воздействия, например, при обработке материалов.

Работа выполнена в рамках НИР «Разработка методов и устройств диагностики различных материалов и процессов с целью применения для оптической связи в свободном пространстве, адаптивной оптики, оптической микроскопии, терагерцовой и фото-акустической спектроскопии.» (№ гос. рег. 20210300) по заданию 1.1 ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций» (2021–2025 гг.).

Библиографические ссылки

1. Рыжевич, А. А. Параметры качества бесселевых световых пучков нулевого порядка / А. А. Рыжевич, И. В. Балыкин, Т. А. Железнякова // ЖПС. 2018. Т. 85, № 1. С. 144–153.