

3. Рыжевич, А. А. Новый метод формирования бесселевых световых пучков первого порядка и возможность их применения в нанотехнологиях / А. А. Рыжевич // Оптический журнал – 2001. – Т. 68, № 3. – С. 54–55.

И. В. Балыкин

(Институт Физики НАН Беларуси, Минск)

Науч. рук. А. А. Рыжевич, канд. физ.-мат. наук

СТРУКТУРА НЕБЕССЕЛЕВЫХ КОНИЧЕСКИХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В КРИСТАЛЛАХ

Небесселев конический световой пучок (НБКСП) формируется конической линзой из коллимированного светового пучка гауссова типа в области пространства, расположенной непосредственно после зоны существования бесселева светового пучка (БСП), имеющей форму ромбоида. Волновые вектора НБКСП образуют коническую поверхность, угол при вершине которой прямо пропорционален углу при основании конуса используемой конической линзы, однако, в отличие от обычного бесселева светового пучка, распределение интенсивности в НБКСП не описывается квадратом функции Бесселя.

Зона существования БСП - пространственная область, представляющая собой ромбоид длиной z_w , ограниченный поверхностями, формируемыми парциальными пучками, выходящими из вершины аксикона и из окружности радиусом w на поверхности аксикона, в которой падающий на аксикон гауссов световой пучок ослабевает по интенсивности в e^2 раз относительно максимума. Для исследования пространственного распределения интенсивности нами использовались две численные модели - основанная на преобразовании Ганкеля (метод 1) [1, с. 24] и аппроксимация интенсивности с помощью аналитической функции, полученной в параксиальном приближении (метод 2) [1, с. 23]. В качестве характерного поперечного размера использовалась полуширина пучка по уровню $1/e^2 - w$, а в качестве характерного продольного размера была использована длина зоны существования - z_w . Типичным значением величины w была зафиксирована $w_R=2500$ мкм (R – reference), обычная для гелий-неонового лазера. Предварительный анализ производился с использованием метода 1 при $w=w_R$, $\lambda=0,633$ мкм. По его результатам было получено простран-

ственное распределение интенсивности светового пучка. При рассмотрении осевого распределения интенсивности было выявлено, что при $z=z_w$, то есть на границе зоны существования БСП, максимальная интенсивность пучка составила $\approx 150I_0$, (I_0 – максимальная интенсивность входного гауссова пучка в плоскости аксикона). Таким образом, на границе зоны существования все еще сохраняется яркий осевой максимум, характерный для БСП. Поэтому при проектировании систем, использующих компоненты, не обладающие высокой лучевой прочностью (некоторые кристаллы или стекла, например) следует использовать другую оценку зоны существования, которая будет характеризовать начало «безопасной области».

В качестве такой оценки предлагаются две величины – z_E , z_K , z_E представляет собой значение продольной координаты, при которой интенсивность осевого максимума и максимальная интенсивность в главном (максимальном по интенсивности) кольце пучка становятся равны по величине. z_K – значение продольной координаты, при которой интенсивность осевого максимума становится равна максимальной интенсивности падающего на аксикон гауссова светового пучка в плоскости аксикона.

На рисунке 1 приведены зависимости интенсивности осевого максимума и максимальной интенсивности первого кольца в формируемом аксиконом световом пучке от продольной координаты в логарифмическом масштабе. На этой зависимости отмечены положения z_E , z_K . На графике явно виден излом, причина которого в том, что в этой точке кроме центрального максимума существует два других, равных по величине. Один принадлежит первому кольцу БСП, а второй – кольцу, формируемому разошедшимся по законам геометрической оптики пучками лучей от аксикона. В точке излома эти максимумы становятся равны, а дальше с увеличением z интенсивность центрального кольца падает, а внешнего – растет, поэтому внешнее кольцо становится главным. Таким образом, до точки излома график интенсивности на рисунке 1, соответствует первому кольцу БСП, а после – внешнему кольцу.

Полученное в результате моделирования значение $z_E=6002,5$ мкм= $2,4010 z_w$, $z_K=5480,0$ мкм = $2,1920 z_w$. Как видно, эти значения существенно превышают величину z_w , что также свидетельствует о непригодности использования z_w в качестве оценки начала безопасной зоны для НБКСП.

Также интерес представляют зависимости z_E , z_K от w при фиксированной мощности пучка. Этот случай довольно часто встречается на

практике, например, когда в оптической схеме используется источник лазерного излучения вместе с расширителем пучка в виде перестраиваемого телескопа. В таком случае, использование метода 1 может быть довольно затруднительным, по причине существенного увеличения требуемых вычислительных ресурсов (близкому к $O(n^2)$) при использовании имеющегося алгоритма. Поэтому использовался метод 2. Полученные зависимости приводятся на рисунке 2.

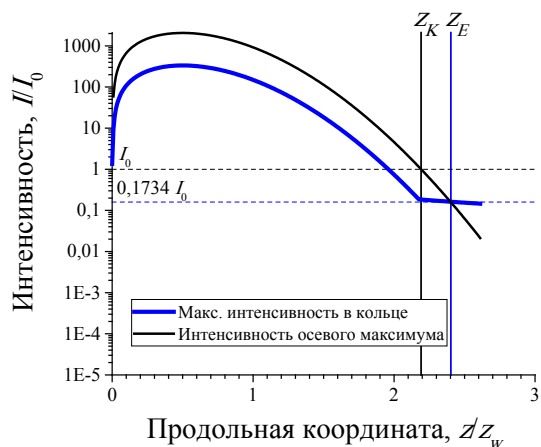


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности осевого максимума и максимальной интенсивности главного кольца в формируемом аксиконом световом пучке от продольной координаты в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабе для $w=2500$ мкм

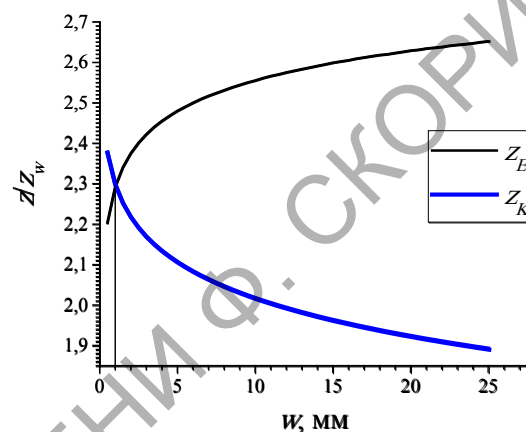


Рисунок 2 – Зависимость положения характерных точек z_E и z_K нормированных на длину зоны существования z_w от ширины входного пучка при фиксированной мощности пучка

Интересно, что при малых значениях w $z_K > z_E$, а при больших – $z_E > z_K$. Из рисунка 2 видно, что при наиболее часто используемых значениях полуширины падающего пучка ($w < 25$ мм) z_E и z_K близки по величине к $2,3 z_w$ и лежат в диапазоне от $1,9$ до $2,6 z_w$.

Расстояние z_K является оптимальным для размещения на нем кристалла с целью линейно- или нелинейно-частотного преобразования мощного лазерного конического пучка во избежание разрушения материала кристалла осевым максимумом интенсивности при условии, что уровень интенсивности I_0 заведомо безопасный. На расстоянии z_E следует размещать кристалл при необходимости пропускания через него лазерного излучения с максимально допустимой для данного кристалла плотностью мощности.

Литература

1. T. Cizmar, Optical traps generated by non-traditional beams, Ph.D. thesis, Masaryk University in Brno (2006). – Режим доступа: <https://is.muni.cz/th/r5vi5/disertace.pdf>. – Дата доступа: 30.09.2020

А. Л. Барахоев
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **С. В. Бордусов**, д-р техн. наук, профессор

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОТОКА ОЗОНА-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ПРОФИЛЬ НАГРЕВА ОБРАБАТЫВАЕМОГО ОБЪЕКТА

Для проведения и анализа результатов экспериментов по удалению в условиях атмосферного давления с поверхности кремниевых пластин фоторезистивных маскирующих покрытий в потоке озон-воздушной смеси, а именно для оценки её влияния на температуру поверхности обрабатываемой нагреваемой кремниевой пластины, произведено моделирование процессов теплообмена внутри исследовательского стенда в программном пакете ANSYS Fluent.

Область моделирования разбита на три части: пластина, нагреватель и воздушный объём экспериментальной камеры. Материалом газового промежутка выбран воздух, пластины – монокристаллический кремний, нагревателя – керамика из оксида алюминия Al_2O_3 с чистотой 95%.

Свойства используемых материалов взяты из справочников [1, 2] и приведены в таблице 1. При моделировании натуральной конвекции значение плотности воздуха определялось с помощью уравнения несжимаемого идеального газа.

Таблица 1 – Свойства используемых материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К)	Теплопроводность, В/(м·К)
Оксид алюминия керамика 95%	3650	780	27
Кремний	2719	871	202,4
Воздух	1,2041	1006,43	0,0242

Выбор размеров и форм тел и поверхностей обуславливался необходимостью упрощения построения расчётной сетки для объёмов,