

Электрооптические конические линзы для формирования бесселевых световых пучков

В.Е. ЛЕПАРСКИЙ, А.Г. МАЩЕНКО

Институт физики НАН Беларуси, пр. Ф. Скорины 68,
220070, Минск, mag@dragon.bas-net.by

Предложенные в работах [1, 2] бесселевы световые пучки (БСП) в настоящее время находят широкое применение в линейной и нелинейной оптике (см., например, [3]). Такие пучки привлекают внимание в первую очередь благодаря своим квазибездифракционным свойствам и способности концентрировать световую энергию в области малого поперечного размера. Наиболее широко используемыми элементами для получения бесселевых световых пучков нулевого порядка являются конические линзы, так называемые аксиконы [4]. Угол преломления в данных устройствах является величиной постоянной, а, следовательно, угол, под которым сходятся волновые векторы светового пучка после аксикона, — угол конусности бесселевых световых пучков — также является постоянной величиной. Вместе с тем для многих приложений требуется изменять угол конусности бесселевых световых пучков в процессе работы, что влечет за собой необходимость применения нескольких конических линз с различными углами. Данная операция всегда требует некоторого времени и наличия набора линз с определенными углами при основании конусной поверхности. Ввиду этого возникает необходимость в разработке и создании относительно простых и надежных аксиконов, легко управляемых и быстро перестраиваемых в процессе работы. Для управления углом конусности БСП недавно был предложен метод [5], когда аксикон помещается между двумя сферическими линзами, образующими телескопическую систему. В данном методе коллимированный гауссов пучок проходит через первую линзу и трансформируется аксиконом в световое кольцо, расположенное в фокальной плоскости линз. Вторая линза преобразует кольцевое распределение поля в БСП. При перемещении аксикона вдоль оси оптической системы происходит изменение радиуса светового кольца в фокальной плоскости первой линзы, что вызывает изменение угла конусности результирующего БСП. Однако скорость перестройки устройств на основе этого метода мала. С точки зрения быстродействия наибольший интерес представляют устройства, в основу работы которых положено изменение показателя преломления под действием электрического поля. На этом принципе в настоящее время создан ряд устройств для управления направлением и поперечными размерами световых пучков — электрооптические дефлекторы и линзы [6, 7]. Непосредственное воздействие электрического поля на оптические свойства среды и, соответственно, на направление распространения световых лучей позволяет исключить фактор инерции, накладывающий ограничение на частотные характеристики других способов управления углом конусности бесселевых световых пучков. Перспективность использования этих устройств обусловлена также легкостью согласования их управления с другими скоростными процессами.

Настоящая работа посвящена решению проблемы создания быстродействующих электрооптических конических линз. Наложение поля на среду может вызвать в ней как линейный, так и квадратичный электрооптический эффект (соответственно, эффект Поккельса и Керра) изменения показателя преломления. Квадратичный электрооптический эффект в той или иной степени присущ всем веществам, однако он, вообще

говоря, в большинстве случаев дает малые изменения показателя преломления. Более перспективным для данных целей является линейный электрооптический эффект, который имеет место в нецентросимметричных кристаллах.

При разработке управляемых конических линз на основе линейного электрооптического эффекта следует учитывать, что электрическое поле с заданным распределением вызывает в кристалле точно такое же распределение показателя преломления. Поэтому для того, чтобы кристалл оказывал такое же преломляющее воздействие на световой пучок, как и аксикон, необходимо пропорциональное радиальной координате изменение электрического поля.

Наиболее простыми полями, пригодными для управления углом конусности световых пучков, являются неоднородные электрические поля, создаваемые с помощью системы плоских электродов. Один из способов реализации такого поля представлен на рис. 1. Управляемая коническая линза представляет собой плоскопараллельную кристаллическую пластину 1, на одну грань которой нанесена система прозрачных электродов в виде концентрических окружностей 2, а на противоположную — сплошной прозрачный электрод 4. Электроды, выполненные в виде концентрических окружностей, с помощью проводников 3 подключены к источнику питания через специальный делитель напряжения таким образом, чтобы потенциал электрода, находящегося на расстоянии r от центра конической линзы, был равен Ur/R где U — разность потенциалов между электродом, находящимся в центре и крайним электродом, расположенным на расстоянии R от центра. Центральный электрод при этом накоротко соединен со сплошным электродом 4, находящимся на противоположной стороне пластины.

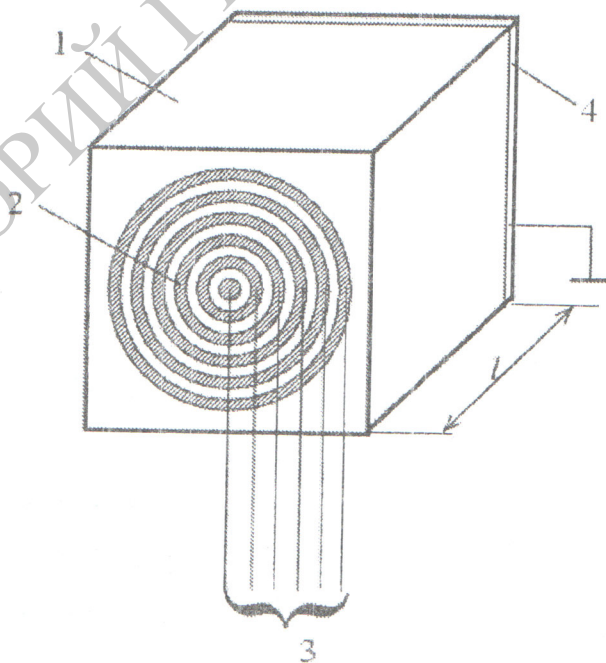


Рис. 1. Электрооптическая коническая линза: 1 — электрооптический кристалл, 2, 4 — электроды, 3 — подводящие проводники.

При подключении данной конической линзы к источнику напряжения в объеме кристалла между любым из кольцевых и сплошным электродами возникнет электрическое

поле следующей величины

$$E = \frac{Ur}{Rl},$$

где l — толщина кристалла в направлении распространения света. Данное поле благодаря линейному электрооптическому эффекту создает в кристалле спадающее (возрастающее) по линейному закону с координатой r изменение показателя преломления

$$n = n_o \pm \frac{1}{2} n_o^3 r_{ij} \frac{Ur}{Rl},$$

где n_o — показатель преломления кристалла в отсутствии поля, r_{ij} — электрооптический коэффициент. Наведенная неоднородность n приводит к отклонению в радиальном направлении световых лучей, прошедших через кристалл. Не сложно показать, что в рамках параксиального приближения с учетом преломления на выходной грани величина угла отклонения α при этом равна

$$\alpha = \frac{1}{2} n_o^3 r_{ij} \frac{U}{R}.$$

Из (3) следует, что угол α не зависит от радиальной координаты и устройство эквивалентно конической линзе с углом γ при основании, равным

$$\gamma = \frac{n_o^3 r_{ij} U}{2(n_o - 1)R}.$$

С помощью приложенного к электродам напряжения легко управлять его эффективностью. Область перестройки угла конусности изменяется от нуля при $U = 0$ В, когда устройство эквивалентно плоскопараллельной пластинке, до некоторого значения, определяемого пробойным напряжением межэлектродных промежутков либо кристалла. Например, при использовании кристалла ниобата лития, когда его оптическая ось совпадает с осью устройства, для пучка света диаметром 5 мм данное устройство при управляющем напряжении $U = 10$ кВ эквивалентно аксикону, изготовленному из стекла с углом при основании, равным 4.5° , причем при данной ориентации кристалла оно пригодно для управления неполяризованным светом.

Литература

- [1] J.Durnin, *Exact solutions for nondiffracting beams: I. The scalar theory*, J. Opt. Soc. Am. A, 4, (1987) 651–654.
- [2] J.Durnin, J.J.Miceli and J.H.Eberly, *Diffraction-free beams*, Phys. Rev. Lett. 58, (1987), 1499–1501.
- [3] V.N.Belyi, N.S.Kazak, N.A.Khilo, *Frequency conversion of Bessel light beams in nonlinear crystals*, Quantum Electronics 30(9), (2000), 753–766.
- [4] J.H.McLeod, *The axicon: a new type of optical element*, J. Opt. Soc. Am. 44, (1954), 592–597.
- [5] S.Klewitz, F.Brinkmann, S.Herminghaus and P.Leiderer, *Bessel-beam-pumped tunable distributed-feedback laser*, Appl. Opt. 34, No 33, (1995), 7670–7673.

- [6] Ю.К.Ребрин, *Управление оптическим лучом в пространстве*. М., Сов. радио, (1977) 336 с.
- [7] Н.А.Гусак, А.Г.Мащенко, *Оптимальные электрооптические фокусирующие устройства*, ЖПС, 39, в.2, (1983), 287–291.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф.Скорины