

Формирование зондирующего излучения для исследования х-среза одноосного кристалла с помощью аperiodического дифракционного аксикона

В.Д. Паранин^а, С.В. Карпеев^{а,б}

^а Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, 443086, Московское шоссе, 34, Самара, Россия

^б Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, 443001, ул. Молодогвардейская, 151, Самара, Россия

Аннотация

Экспериментально исследовано преобразование лазерного пучка, формируемого аperiodическим дифракционным аксиконом, в х-срезе ниобата лития. Показано, что пучок испытывает астигматическое ромбовидное преобразование, обусловленное двулучепреломлением кристалла. Измерено распределение интенсивности выходного пучка на различных расстояниях от кристалла. Исследованные эффекты позволяют расширить диапазон измерения толщины или двулучепреломления твердых, жидких и газовых сред с одноосной анизотропией оптических свойств.

Ключевые слова: фраксикон; одноосный кристалл; двулучепреломление

1. Введение

Лазерные пучки Бесселя являются эффективным инструментом для исследования оптической анизотропии и двулучепреломления. В работах [1-5] показано, что распространение пучков Бесселя в двулучепреломляющих кристаллах различных срезов сопровождается преобразованием порядка или вида пучка. В публикациях [6-8] исследовано влияние положения и параметров отдельных элементов оптической схемы (длина волны лазера, кривизна волнового фронта освещающего пучка, температура кристалла) на характеристики пучка Бесселя на выходе кристалла. В статьях [9,10] реализовано измерение толщины z- и х-срезов одноосных кристаллов оптическим методом с использованием указанных эффектов. Аналогичных результатов можно ожидать для сред с различным распределением показателя преломления: линейным, параболическим и т.д. Это делает пучки Бесселя перспективным средством для дистанционного контроля анизотропных пленок, метаматериалов, двулучепреломляющих кристаллов и керамик.

Разработанные теоретические модели и полученные экспериментальные результаты не ограничивают применение пучков Бесселя только твердыми телами. На их основе возможно измерение распределения оптических параметров жидких и газовых анизотропных сред. Например, исследование состояния возмущенной атмосферы, свойств газо-плазменных потоков, распределения концентрации ионных растворов. Достоинства специальных пучков, в том числе сингулярных и векторных, для целей атмосферной передачи данных приведены в обзоре [11]. Следует также отметить возможность создания управляемых дифракционных элементов на основе электрооптического эффекта для скоростной передачи данных и пространственной адресации лазерного пучка [12-14].

При этом пучки Бесселя легко формируются с помощью круговых дифракционных решеток - дифракционных аксиконов. Диаметр аксикона (лазерного пучка) может составлять до 200-300 мм, а его числовая апертура – принимать заданные значения в широких пределах в длинноволновой части видимого диапазона и ближней инфракрасной области. Это делает возможным использование пучков Бесселя как для исследования пленок субмикронной толщины, так и многокилометровых воздушных трасс.

Одной из проблем измерения толщин двулучепреломляющих кристаллов z-среза является относительно небольшой диапазон измерения, обусловленный периодическим преобразованием порядка пучка в кристалле [4,10]. Для кристаллов х- и у-среза астигматическое преобразование пучка вызывает его разбиение на отдельные точечные максимумы интенсивности [2,3]. Угловой размер этих максимумов уменьшается с ростом толщины и двулучепреломления кристалла. Для кристаллов значительной толщины это обуславливает проблему недостаточного пространственного разрешения видеокамеры.

Решением обеих проблем является применение мультizonального аксикона или аксикона с переменным периодом (фраксикон, линзакон и пр.). Подобный элемент позволяет выбрать участок дифракционного микро рельефа, пространственный период которого соответствует оптическим и размерным параметрам исследуемого образца.

Целью настоящей работы было исследование преобразования лазерного пучка, формируемого дифракционным фраксиконом, в х-срезе одноосного кристалла.

2. Экспериментальное исследование

Для исследования астигматического преобразования пучка была собрана оптическая установка, содержащая источник излучения – гелий-неоновый лазер, пространственный фильтр – расширитель пучка, поляризатор, дифракционный фраксикон, х-срез кристалла ниобата лития, ПЗС-матрицу. Пространственный фильтр включал микрообъектив 20х, точечную диафрагму диаметром 15 мкм, линзу коллиматора с фокусным расстоянием 200 мм.

Установка позволяла формировать и исследовать достаточно протяженный пучок фраксикона, наблюдаемый на расстоянии до 600 мм.

В качестве преобразователя пучка использовался полированный одноосный кристалл ниобата лития x-среза толщиной 842 ± 2 мкм. Оптическая ось кристалла ориентировалась параллельно одной из сторон, а ее направление было отмечено фасками. В экспериментах оси поляризатора и кристалла были параллельны. Для формирования пучка был изготовлен фазовый дифракционный аксикон с переменным периодом (фраксикон). Период микрорельефа уменьшался от центральной части к краю фраксикона. Расстояние между кристаллом и фраксиконом составляло 75 мм. Изображение выходного пучка получалось ПЗС-матрицей без использования изображающей оптики. Изображения пучков, наблюдаемых на различных расстояниях L между ПЗС-матрицей и кристаллом, приведены на рис. 1.

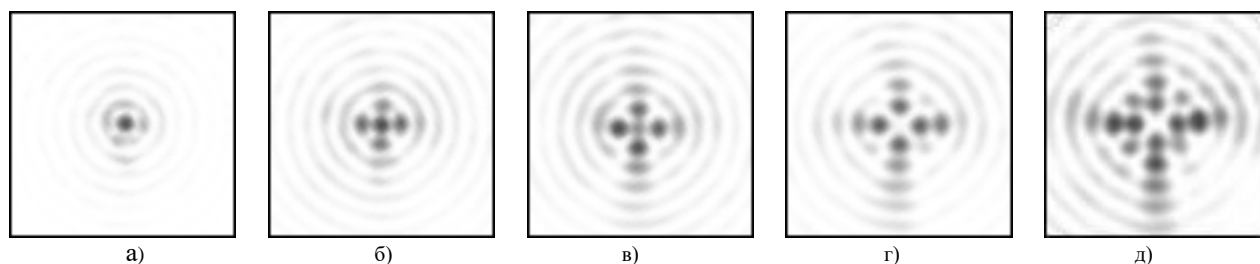


Рис. 1. Изображения выходных пучков на различных расстояниях L «кристалл – ПЗС-матрица»:

а) L=250 мм, б) L=300 мм, в) L=350 мм, г) L=400 мм, д) L=450 мм.

Увеличение расстояния между кристаллом и видеокамерой приводит к усложнению астигматического преобразования пучка. Это обусловлено включением краевых зон фраксикона с повышенной угловой апертурой.

3. Заключение

Полученные результаты подтверждают обоснованность использования дифракционного фраксикона с заданным радиальным распределением периода. На основе этого элемента возможен подбор кольцевой зоны микрорельефа, соответствующей параметрам исследуемого образца и характеристикам оптической измерительной системы. Измерение с использованием нескольких кольцевых зон позволяет повысить точность определения толщины или двулучепреломления кристалла.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации, Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 16-07-00825, 16-29-11698-офи-м).

Литература

- [1] Khonina, S.N. Implementation of ordinary and extraordinary beams interference by application of diffractive optical elements / S.N. Khonina, S.V. Karpeev, A.A. Morozov, V.D. Pararin // *Journal of Modern Optics*. – 2016. – Vol. 63(13). – P. 1239-1247.
- [2] Khonina, S.N. Astigmatic transformation of Bessel beams in a uniaxial crystal / S.N. Khonina, V.D. Pararin, A.V. Ustiniv, A.P. Krasnov // *Optica Applicata*. - 2016. - Vol. 46(1). - P. 5-18.
- [3] Khonina, S. Transformation of Bessel beams passing through uniaxial y-cut crystal / S. Khonina, V. Pararin, S. Degtyarev, D. Savelyev // *Materials of 17th International Conference on Transparent Optical Networks ICTON-2015*. – 2015. - We.P.18. - P.1-4.
- [4] Khonina, S.N. Study of polarization transformations and interaction of ordinary and extraordinary beams in nonparaxial regime / S.N. Khonina, V.D. Pararin, S.V. Karpeev, A.A. Morozov // *Computer Optics*. – 2014. – Vol. 38(4). – P. 598-605.
- [5] Pararin, V.D. A converter of circularly polarized laser beams into cylindrical vector beams based on anisotropic crystals / V.D. Pararin, S.V. Karpeev, A.P. Krasnov // *Computer Optics*. – 2015. – Vol. 39(5). – P. 644-653.
- [6] Pararin, V.D. Control of the formation of vortex Bessel beams in uniaxial crystals by varying the beam divergence / V.D. Pararin, S.V. Karpeev, S.N. Khonina // *Quantum Electronics*. – 2016. – Vol. 46(2). - P. 163-168.
- [7] Pararin, V.D. Control of the Optical Properties of a CaCO₃ Crystal in Problems of Generating Bessel Vortex Beams by Heating / V.D. Pararin, S.N. Khonina, S.V. Karpeev // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. - 2016. - Vol. 52(2). - P. 174-179.
- [8] Pararin, V.D. Transformation of Bessel beams in c-cuts of uniaxial crystals by varying the emission source wavelength / V.D. Pararin, S.V. Karpeev, S.N. Khonina // *Journal of Russian Laser Research*. - 2016. - Vol. 37(3). - P. 250-253.
- [9] Pararin, V.D. Method of measurement and thermal control of uniaxial crystal thickness / V.D. Pararin, S.V. Karpeev // *Computer Optics*. – 2016. – Vol. 40(1). – P. 36-44.
- [10] Pararin, V.D. Measuring the thickness of z-cut uniaxial crystals based on Bessel laser beams / V.D. Pararin // *Computer Optics*. – 2016. – Vol. 40(4). – P. 594-599.
- [11] Soifer, V.A. Vortex beams in turbulent media: review / V.A. Soifer, O. Korotkova, S.N. Khonina, E.A. Shchepakina // *Computer Optics*. – 2016. – Vol. 40(5). – P. 605-624.
- [12] Pararin, V.D. Methods to control parameters of a diffraction grating on the surface of lithium niobate electro-optical crystal / V.D. Pararin // *Technical Physics*. - 2014. - Vol. 59(11) - P. 1723-1727.
- [13] Pararin, V.D. Formation of needle-shaped domains in a surface layer of x-cut lithium niobate / V.D. Pararin // *Technical Physics*. - 2014. - Vol. 59(12). - P. 1869-1873.
- [14] Pararin, V.D. Tunable diffraction grating with transparent indium-tin oxide electrodes on a lithium niobate X-cut crystal / V.D. Pararin, S.V. Karpeev, K.N. Tukmakov, B.O. Volodkin // *Computer Optics*. - 2016. - Vol. 40(5). - P. 685-688.