

ДИФРАКЦИОННАЯ ОПТИКА, ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

СУБВОЛНОВАЯ ФОКУСИРОВКА
С ПОМОЩЬЮ БИНАРНОГО МИКРОАКСИКОНА С ПЕРИОДОМ 800 НМКотляр В.В.^{1,2}, Стафеев С.С.², Шанина М.И.¹, Морозов А.А.², Сойфер В.А.^{1,2}, О'Фаолейн Л.³¹ Учреждение Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН,² Самарский государственный аэрокосмический университет

имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет),

³ Школа физики и астрономии Университета Сент-Эндрюса, Шотландия

Аннотация

С помощью сканирующего микроскопа ближнего поля NT-MDT с кантиливером с отверстием 100 нм на расстоянии 100 нм от поверхности микроаксикона с диаметром 13,6 мкм периодом 800 нм и глубиной 465 нм, изготовленного совместно ИСОИ РАН и Университетом Сэнт-Эндрюса (Шотландия) по технологии электронной литографии на резисте ZEP520A, измерено фокусное пятно линейно-поляризованного лазерного света с длиной волны 532 нм, которое имело диаметр по полуспаду интенсивности равный 320 нм, что составляет 0,61 от длины волны. Глубина фокусировки по полуспаду интенсивности была равна 3 мкм, причём экспериментальные точки осевой интенсивности в фокусном отрезке с хорошей точностью (с.к.о. 13%) наложились на расчётную кривую осевой интенсивности, а приближённая оценка и строгое моделирование дают диаметр фокусного пятна по полуспаду интенсивности равный 0,54 от длины волны. Интенсивность в максимуме на оптической оси в 7 раз больше, чем интенсивность освещающего пучка.

Ключевые слова: бинарный микроаксикон, сканирующий оптический микроскоп ближнего поля, FDTD-метод, субволновая фокусировка лазерного света.

Введение

Известно, что с помощью аксикона можно сформировать на определённом участке оптической оси лазерный бездифракционный пучок Бесселя. Интерес к таким пучкам не ослабевает до сих пор. В [1] с помощью световода диаметром 30 мкм с кольцевым сечением из плавленого кварца (толщина кольца 3 мкм), на конце которого была помещена линза с радиусом кривизны 70 мкм, сформирован Бесселев пучок диаметром 20 мкм и протяжённостью 500 мкм (длина волны $\lambda = 1,55$ мкм). В [2] FDTD-методом моделировался 2D фотонный кристалл из прямоугольной сетки диэлектрических стержней в форме аксикона: основание $20a$, высота аксикона $10a$, показатель преломления стержней $n = 3,13$, радиус стержней $0,22a$, длина волны $\lambda = a/0,36$, a – период решётки стержней. Показано, что на расстоянии $z < 30a$ формируется расходящийся Бесселев пучок с диаметром по полуспаду интенсивности $\text{FWHM} = 1,5\lambda$. В [3] экспериментально с помощью радиально-поляризованного лазерного пучка ($\lambda = 532$ нм), конического аксикона и иммерсионной микролинзы с числовой апертурой $NA = 1,25$ в серебряной плёнке толщиной 50 нм (с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = -10,1786 - i0,8238$) сформирована поверхностная плазмонная волна в виде концентрических колец, описываемых функцией Бесселя первого порядка. Диаметр центрального осевого кольца 278 нм, толщина – 250 нм $\approx 0,5\lambda$. Картина поверхностного плазмона наблюдалась в микроскопе ближнего поля Veeco Augro 3 с разрешением 50–100 нм. Аналогично в [4] с помощью He-Ne лазера ($\lambda = 632,8$ нм), излучающего радиально-поляризованный свет, аксикона

и иммерсионной линзы с $NA = 1,4$ в плёнке золота толщиной 44 нм ($\epsilon = 0,3 + i3,089$) формировался поверхностный плазмон с фокусной точкой в центре диаметром $\text{FWHM} = 0,22$ мкм $= 0,35\lambda$. Плазмон наблюдался с помощью латексного шара диаметром 175 нм.

В [5,6] исследовалась фокусировка лазерного света вблизи кольцевой структуры на металле. В [5] FDTD-методом проведено моделирование фокусировки зонной пластинки с радиусом колец $r_n^2 = 2nfl + n^2\lambda^2$, $f = 1$ мкм, $\lambda = 633$ нм, выполненной в тонких плёнках серебра (50 нм) и золота (50 нм), напылённых на кварце. Диаметр кольцевой структуры 13 мкм. Показано, что на расстоянии $z = 1,5$ мкм от пластины возникает фокальное пятно диаметром по полуспаду $\text{FWHM} = 0,3\lambda$ (полная ширина пятна – $0,7\lambda$). В [6] экспериментально организованы аналогичные кольцевые структуры (диаметр 8 мкм) в плёнке золота (100 нм). В микроскоп ближнего поля NTEGRA (NT-MDT) с разрешением 100 нм на расстоянии $z = 1,6$ мкм наблюдалось фокальное пятно диаметром по полуспаду интенсивности $\text{FWHM} = 1,7\lambda$ (полный диаметр 5λ), $\lambda = 633$ нм, хотя теория предсказывает размер фокального пятна $\text{FWHM} = 0,5\lambda$. В [7] с помощью 8 отверстий диаметром 200 нм, выполненных симметрично по кругу (диаметр круга 1 мкм) в РММА резисте на стекле, в некогерентном свете с длиной волны $\lambda = 650$ нм на расстоянии 500 нм от поверхности зарегистрировано фокальное пятно диаметром $\text{FWHM} = 0,4\lambda$ (полный диаметр $1,2\lambda$). В [8] на плёнке аморфного кремния толщиной 120 нм реализована линза Френеля с фокусным расстоянием $f = 5$ мкм и диаметром 50 мкм

для длины волны $\lambda = 575$ нм (26% пропускания). В иммерсии линза имела числовую апертуру $NA = 1,55$ и фокусировала свет в фокальное пятно диаметром $FWHM = 0,9\lambda$. Интересно, что измерено это пятно было с помощью флуоресцентной сферы с диаметром 0,5 мкм. В [9] были изготовлены различные растрсы микролинз с диаметром 10 мкм на резисте с плотной упаковкой и с числовыми апертурами от 0,27 до максимальной 0,46. Минимальное фокусное пятно в эксперименте было равно 1,5 мкм ($\lambda = 0,633$ мкм). В [10] предложены плазмонные структуры для субволновой фокусировки света в ближнем поле $kr < 4$ (при этом пятно фокусировки будет меньше $\lambda/2$). Известны также работы, в которых теоретически [11] и экспериментально [12] исследовалась фокусировка света в ближнем поле с помощью бинарного дифракционного аксикона. В [11] была разработана приближённая теория, которая хорошо описывает дифракционный аксикон с периодом колец $T < 5\lambda$. В этом случае бинарный аксикон можно рассматривать как дифракционную решётку, если центральную часть аксикона закрыть непрозрачным диском. Показано, что для аксикона с периодом $T = 5\lambda$, радиусом 40λ , на расстоянии 40λ от поверхности аксикона диаметр фокального пятна будет равен $FWHM = 0,88\lambda$. В [12] экспериментально исследовался бинарный аксикон (диаметр 30 мм) с периодом $T = 33$ мкм (он соответствует коническому аксикону из стекла с углом при вершине 88°), выполненным на резисте ZEP520A (показатель преломления $n = 1,46$). Было показано, что диаметр лазерного пучка не зависит от длины волны, что на расстоянии от 0 до $z = 50$ мм радиус Бесселева пучка растёт от 1,2 мкм ($\lambda = 532$ нм) до 12,5 мкм, и далее от $z = 50$ мм до $z = 100$ мм сохраняет этот радиус.

Таким образом, экспериментально из перечисленных выше работ только в [4,7] получена субволновая фокусировка света: в иммерсии ($NA = 1,4$) плазмон на золотой плёнке ($FWHM = 0,35\lambda$) [4] и с помощью отверстий в резисте по окружности с радиусом 1 мкм ($FWHM = 0,4\lambda$) [7]. В данной работе экспериментально показано, что с помощью бинарного микроаксикона на резисте с периодом 800 нм также можно получить субволновую фокусировку лазерного света ($FWHM = 0,61\lambda$), но без иммерсии и плазмона, как в [4], и с большей энергетической эффективностью, чем в [7]: для аксикона в фокусе интенсивность была в 7 раз больше, чем интенсивность падающего света, а в [7] – только в 2,5 раза.

Изготовление

На стеклянную подложку был нанесён тонкий слой резиста ZEP520A, который затем грелся 10 минут при температуре 180°C , чтобы высушить растворитель. Высота резиста подбиралась так, чтобы она была достаточной для требуемой фазовой задержки аксикона. Картина концентрических колец «рисовалась» на резисте с помощью электронного луча на электронном микроскопе ZEISS GEMINI с литографической приставкой RAITH ELPHY PLUS при на-

пряжении 30 Кв. Размер пиксела был равен 10 нм, а энергия экспозиции – 45 мАс/см². После экспонирования образец подвергался травлению в ксилене при температуре 23°C и потом промывался в изопропанол для фиксации процесса проявления. Промывка также устраняла проэкспонированные области резиста, в которых исходные длинные молекулы полимера были разорваны при экспонировании электронным лучом. После этого оставшийся резист формировал аксикон с периодом 800 нм (показатель преломления резиста $n = 1,5$). На рис. 1 показано изображение исследуемого аксикона. Высота профиля такого аксикона была равна 465 нм.

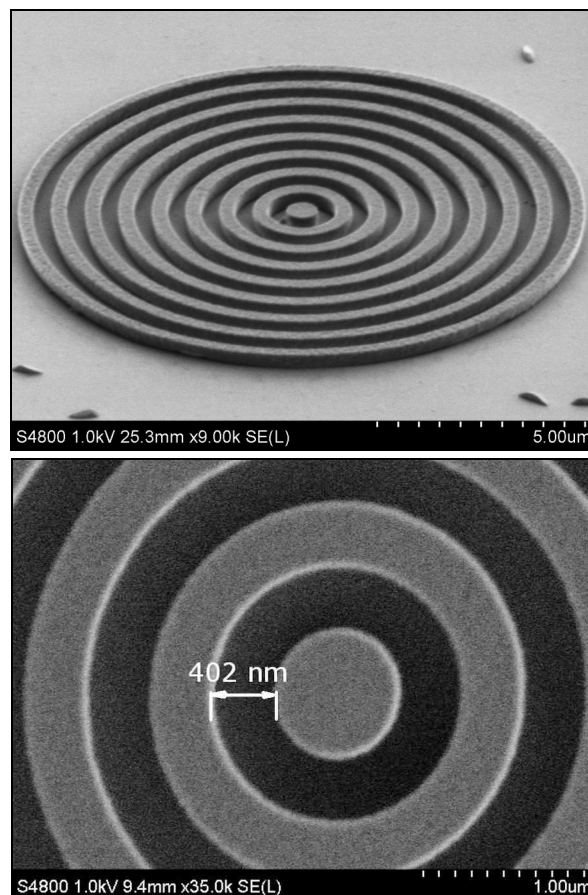


Рис. 1. Изображение исследуемого бинарного аксикона с периодом 800 нм, полученное на электронном микроскопе: вид под углом (а) и вид сверху, увеличенный (б)

Моделирование

При моделировании считалось, что аксикон освещается гауссовым пучком с длиной волны 532 нм с линейной поляризацией и радиусом 2,5 мкм (эта величина была выбрана, чтобы согласовать результаты моделирования с экспериментом). На рис. 2 показан результат моделирования, полученный с помощью метода R-FDTD, реализованного в среде Matlab [13].

На рис. 3 показано осевое распределение интенсивности вместе с распределением диаметра пятна (в трёх точках – двух локальных максимумах и в точке локального минимума между максимумами), полученными в ходе моделирования с помощью програм-

мы Fullwave (RSoft). На рис. 4 показано поперечное распределение интенсивности в первой точке, отмеченной на рис. 3.

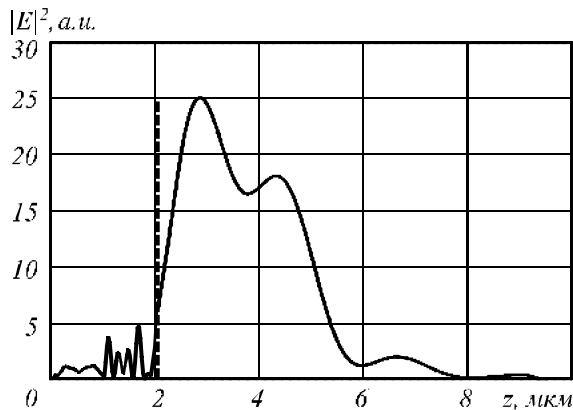


Рис. 2. Распределение интенсивности вдоль оптической оси аксикона, полученное методом R-FDTD при падении на аксикон Гауссова пучка с радиусом, равным 5λ . Вертикальная пунктирная линия показывает границу аксикона

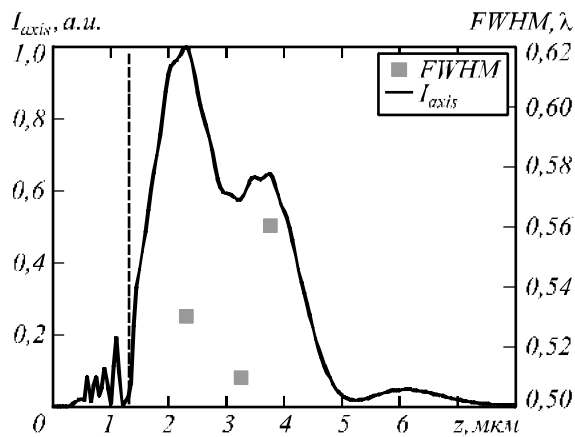


Рис. 3. Нормированное распределение интенсивности вдоль оптической оси (сплошная линия, ось слева), рассчитанное с помощью программы Fullwave, и три значения диаметра фокусного пятна по полуспаду интенсивности (три квадрата, ось справа)

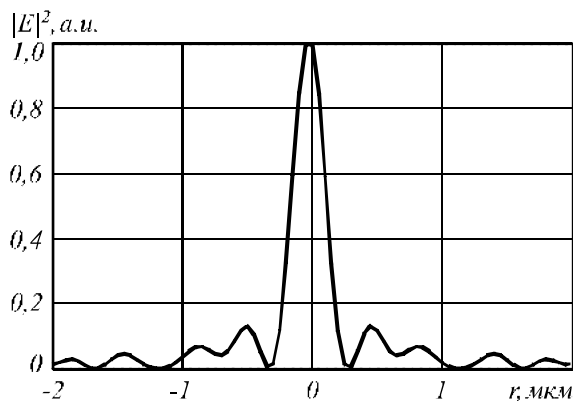


Рис. 4. Нормированное поперечное распределение интенсивности в первом локальном максимуме на расстоянии 1 мкм от аксикона

Из сравнения рис. 2 и рис. 3 видно, что обе программы дают примерно одинаковый результат: пер-

вый локальный максимум осевой интенсивности возникает на расстоянии 1 мкм от поверхности аксикона, второй — на расстоянии 2,5 мкм. Осевая длина фокусного пятна (глубина фокуса) по полуспаду интенсивности равна 3 мкм. Диаметр фокусного пятна на протяжении всего фокусного отрезка лежит в диапазоне $FWHM = (0,51-0,56)\lambda$.

Эксперимент

Далее с помощью микроскопа ближнего поля NT-MDT исследовалось прохождение линейно-поляризованного Гауссова пучка с длиной волны 0,532 мкм через бинарный аксикон с периодом 800 нм. На рис. 5 показано увеличенное изображение кантиливера с отверстием 100 нм, который использовался для измерений.

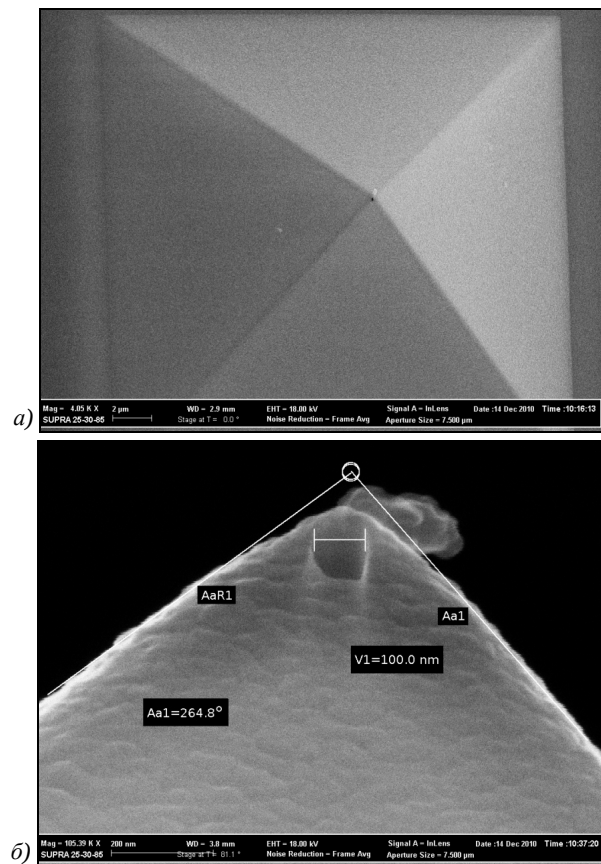


Рис. 5. Вид четырехгранного кантиливера с отверстием 100 нм, используемого в микроскопе ближнего поля NT-MDT: вид сверху в электронном микроскопе (а) и увеличенный вид сбоку (б). Отверстие показано горизонтальным отрезком

Измерения распределения интенсивности света в ближней зоне аксикона проводились следующим образом (см. рис. 6). Линейно-поляризованный свет от твердотельного лазера L с длиной волны 532 нм фокусировался линзой $L1$ на поверхность стеклянной подложки, на которой был расположен микроаксикон $A1$. Свет проходил подложку и дифрагировал на аксиконе. Сразу за аксиконном был расположен кантиливер с отверстием $C1$, с помощью которого осуществлялось сканирование параллельно по-

верхности аксикона на разных расстояниях. Свет, который проходил сквозь отверстие кантиливера, далее собирался линзой $L2$, проходил через спектрометр S (для фильтрации постороннего излучения) и регистрировался CCD-камерой.

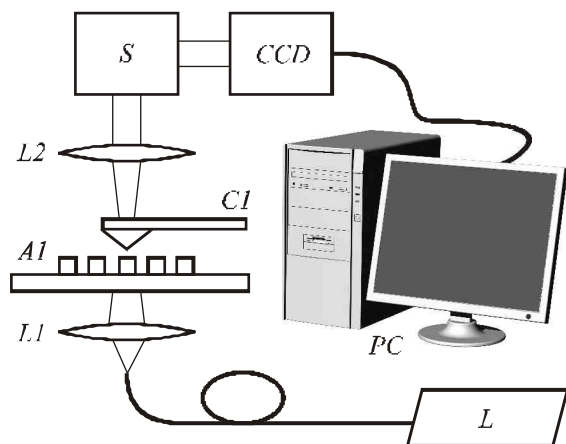


Рис. 6. Оптическая схема измерения параметров фокусировки света аксикон в ближнем поле. L – лазер, $L1, L2$ – линзы, $A1$ – исследуемый аксикон на подложке, $C1$ – кантиливер с отверстием, S – спектрометр, CCD – ПЗС-камера, PC – компьютер

На рис. 7 показаны экспериментальные точки измерения осевой интенсивности лазерного излучения, прошедшего аксикон, которые наложены для сравнения на график рассчитанной осевой интенсивности (рис. 2). Видно хорошее согласие теории и эксперимента.

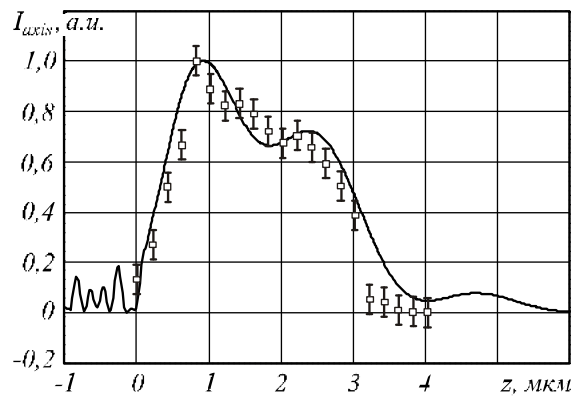


Рис. 7. Распределение интенсивности (нормированной) вдоль оптической оси за аксикон, полученное при моделировании в Matlab (сплошная линия) и экспериментально (отдельные квадратики с вертикальными отрезками, которые показывают диапазон ошибки измерения)

На рис. 8а показано распределение интенсивности, измеренное на расстоянии 100 нм от аксикона с диаметром по полуспаду интенсивности равном $\text{FWHM} = 0,61\lambda$ (в горизонтальном сечении). На рис. 8б, в показаны горизонтальное и вертикальное сечения двумерной картины интенсивности (рис. 8а). Из сравнения сечений на рис. 8 видно, что фокусное пятно из-за линейной поляризации (плоскость поляризации вертикальная) имеет эллиптическое сечение.

На рис. 8 боковые лепестки слева и справа от центрального максимума не являются обычными боковыми лепестками картины дифракции (как на рис. 4), которые появляются на расстоянии около 1 мкм от поверхности аксикона. Эти боковые лепестки (или светлое кольцо на рис. 8а) являются фокусировкой света вдоль первого кольца аксикона.

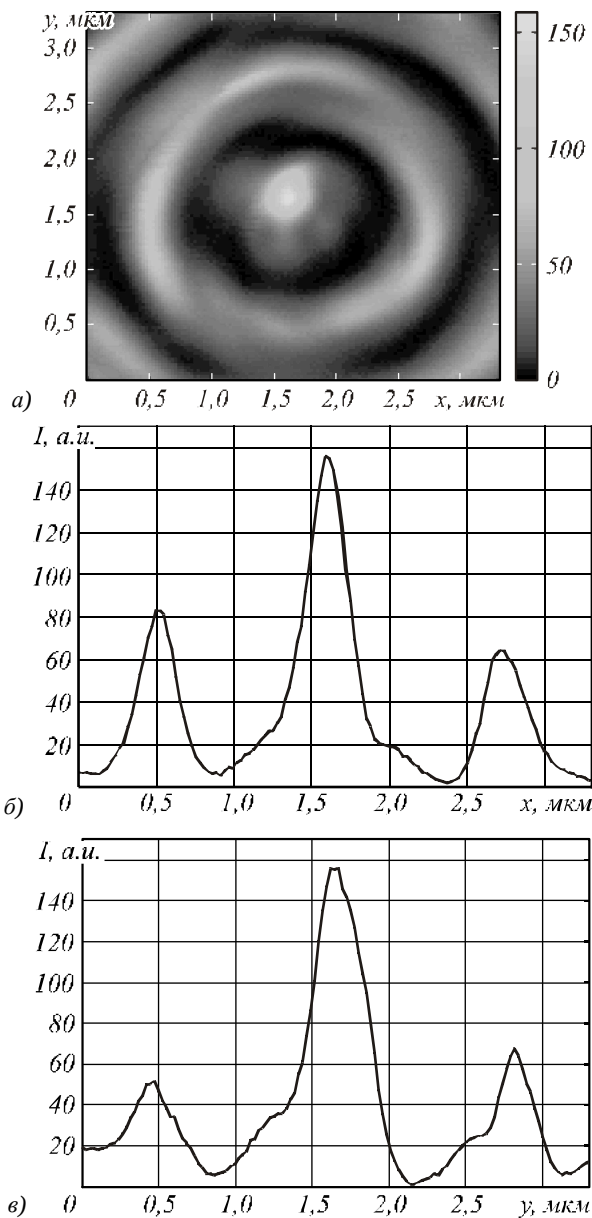


Рис. 8. Зарегистрированная картина интенсивности с фокусным пятном на расстоянии 100 нм от аксикона (рис. 1): 2D изображение (а) и сечения вдоль оси x (б) и вдоль оси y (в)

Заключение

В [12] на основе скалярной параксиальной теории показано, что так как аксикон формирует пучок Бесселя, то диаметр пучка Бесселя можно оценить из выражения:

$$J_0^2(k \sin \theta \cdot r) = 0. \quad (1)$$

Тогда получим

$$2r = \frac{2,4\lambda}{\pi \sin \theta}, \quad (2)$$

где θ – половина угла при вершине конической волны, которую формирует аксикон.

Для бинарного аксикона, рассматривая его как дифракционную решётку [11], можно считать, что угол θ конической волны в то же время является углом дифракционного порядка для решётки с периодом T :

$$\sin \theta_m = \frac{\lambda m}{T}, \quad (3)$$

где m – номер порядка дифракции. С учётом (2) и (3) получим окончательное выражение для оценки диаметра светового поля аксикона на оптической оси:

$$2r = \frac{2,4}{\pi} \frac{T}{m} \approx 0,774 \frac{T}{m}. \quad (4)$$

Из (4) видно, что для бинарного аксикона диаметр Бесселева пучка не зависит от длины волны [12], а определяется только периодом аксикона и номером дифракционного порядка. Из (4) следует, что в точку на оптической оси вблизи аксикона будут приходить от разных точек аксикона разные порядки дифракции. Поэтому вблизи аксикона при $z < z_0$, где $z_0 = RT/2\lambda$ – расстояние, после которого световое поле формирует только один порядок дифракции аксикона, R – радиус аксикона, будет формироваться световое поле, диаметр которого на оптической оси будет сложным образом меняться при $0 < z < z_0$. На основе (4) оценим диаметр фокусного пятна нашего бинарного микроаксикона с периодом 800 нм ($NA = \lambda/T = 0,665$ при $m = 1$):

$$FWHM = 0,36 \frac{\lambda}{NA} = 0,54\lambda, \quad (5)$$

что согласуется с точно рассчитанными значениями диаметров на рис. 3. В эксперименте мы получили значение диаметра $FWHM = 0,61\lambda$ (рис. 8), что на 13% больше, чем даёт моделирование (рис. 3) и оценка (5).

Таким образом, в работе получены следующие результаты:

- по технологии электронной литографии на резисте ZEP520A изготовлен бинарный микроаксикон с диаметром 13,6 мкм, периодом 800 нм и глубиной 465 нм;

- с помощью сканирующего микроскопа ближнего поля NT-MDT с кантиливером с отверстием 100 нм на расстоянии 100 нм от поверхности зарегистрировано фокусное пятно линейно-поляризованного лазерного света с длиной волны 532 нм диаметром по полуспаду интенсивности равным 320 нм, что составляет 0,61 от длины волны;

- измерена глубина фокусировки по полуспаду интенсивности, которая была равна 3 мкм, причём экспериментальные точки осевой интенсивности в фокусном отрезке с хорошей точностью (с.к.о. 13%) наложались на расчётную кривую осевой интенсивности;

- с помощью строгого моделирования 3D FDTD-методом и приближенной аналитической оценки рас-

считан диаметр фокусного пятна по полуспаду интенсивности, который оказался равным 0,54 от длины волны (это на 13% меньше измеренного диаметра);

- экспериментально показано, что интенсивность в максимуме на оптической оси в 7 раз больше, чем интенсивность освещающего пучка.

Благодарности

Авторы выражают благодарность В.В. Подлипову за получение изображений кантиливера на РЭМ.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 14.740.11.0016), грантов Президента РФ поддержки ведущих научных школ (НШ-7414.2010.9) и молодых учёных (МД-8026.2010.2).

Литература (References)

1. **Kim, J.K.** Compact all-fiber Bessel beam generator based on hollow optical fiber combined with a hybrid polymer fiber lens / J.K. Kim, J. Kim, Y. Jung, W. Ha, Y.S. Jeong, S. Lee, A. Tunnermann, K. Oh // Opt. Lett. – 2009. – Vol. 34(19). – P. 2973-2975.
2. **Kurt, H.** Limited-diffraction light propagation with axicon-shape photonic crystals / H. Kurt // J. Opt. Soc. Am. B. – 2009. – Vol. 26(5). – P. 981-986.
3. **Chen, W.** Realization of an evanescent Bessel beam via surface plasmon interference excited by a radially polarized beam / W. Chen, Q. Zhan // Opt. Lett. – 2009. – Vol. 34(6). – P. 722-724.
4. **Watanabe, K.** Localized surface plasmon microscope with an illumination system employing a radially polarized zeroth-order Bessel beam / K. Watanabe, G. Terakado, H. Kano // Opt. Lett. – 2009. – Vol. 34(8). – P. 1180-1182.
5. **Fu, Y.** Hybrid Au-Ag subwavelength metallic structures with variant periods for superfocusing / Y. Fu, W. Zhou // J. Nanophotonics. – 2009. – Vol. 3. – P. 033504.
6. **Fu, Y.** Experimental study of plasmonic structures with variant periods for sub-wavelength focusing: analyses of characterization errors / Y. Fu, R.G. Mote, Q. Wang, W. Zhou // J. Mod. Opt. – 2009. – Vol. 56(14). – P. 1550-1556.
7. **Wei, P.K.** Focusing subwavelength light by using nanoholes in a transparent thin film / P.K. Wei, W.L. Chang, K.L. Lee, E.H. Lin // Opt. Lett. – 2009. – Vol. 34(12). – P. 1867-1869.
8. **Schonbrun, E.** Scanning microscopy using a short-focal-length Fresnel zone plate / E. Schonbrun, W.N. Ye, K.B. Crozier // Opt. Lett. – 2009. – Vol. 34(14). – P. 2228-2230.
9. **Wu, D.** High numerical aperture microlens arrays of close packing / D. Wu, S.Z. Wu, L.G. Niu, Q.D. Chen, R. Wang, J.F. Song, H.H. Fang, H.B. Sun // Appl. Phys. Lett. – 2010. – Vol. 97. – P. 031109.
10. **Chen, K.R.** Focusing of light beyond the diffraction limit of half the wavelength / K.R. Chen // Opt. Lett. – 2010. – Vol. 35(22). – P. 3763-3765.
11. **Vahimaa, P.** Electromagnetic analysis of nonparaxial Bessel beams generated by diffractive axicon / P. Vahimaa, V. Kettunen, M. Kuittinen, J. Turunen, A.T. Friberg // J. Opt. Soc. Am. A. – 1997. – Vol. 14(8). – P. 1817-1824.
12. **Kizuka, Y.** Characteristics of a laser beam spot focused by a binary diffractive axicon / Y. Kizuka, M. Yamauchi, Y. Matsuoka // Opt. Eng. – 2008. – Vol. 47(5). – P. 053401.
13. **Kotlyar, V.V.** Sharply focusing a radially polarized laser beam using a gradient Mikaelian's microlens / V.V. Kotlyar, S.S. Staifev // Opt. Commun. – 2009. – Vol. 282 (4). – P. 459-464.

SUBWAVELENGTH FOCUSING USING A BINARY MICROAXICON WITH PERIOD 800 NM

V.V. Kotlyar¹, S.S. Stafeev², M.I. Shanina¹, A.A. Morozov², V.A. Soifer², L. O'Faolain³

¹ Image Processing Systems Institute of the RAS,

² S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University),

³ School of Physics and Astronomy, University of St. Andrews, Scotland

Abstract

Using a scanning near-field optical microscope NT-MDT and a cantilever with aperture size 100 nm positioned 100 nm above the surface of a microaxicon of diameter 13.6 μm , period 800 nm and depth 465 nm (manufactured jointly by the IPSI RAS and the University of the St. Andrews (Scotland) using the e-beam lithography on ZEP520A resist) we obtained a focal spot whose diameter at full-width half maximum (FWHM) is 0.61 of the incident wavelength. The depth of focus at FWHM equals 3 μm and the experimental values of the axial intensity on the focal line are in good agreement with the calculated values of the axial intensity (RMS equals 13%). The theoretical value of the focal spot size at FWHM equals 0.54λ . The peak intensity on the optical axis is 7 times higher than the illuminating beam intensity.

Key words: binary microaxicon, near-field scanning optical microscopy, FDTD-method, laser beam subwavelength focusing.

Сведения об авторах



Котляр Виктор Викторович, 1957 года рождения, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией лазерных измерений ИСОИ РАН и, по совместительству, профессор кафедры технической кибернетики Самарского государственного аэрокосмического университета (СГАУ). В 1979 году окончил физический факультет Куйбышевского государственного университета, в 1988 году защитил кандидатскую диссертацию в Саратовском государственном университете, а в 1992 году – докторскую диссертацию в Центральном конструкторском бюро Уникального приборостроения РАН (г. Москва). Область научных интересов: нанофотоника, дифракционная компьютерная оптика. Публикации: 300 научных трудов, 5 монографий, 7 авторских свидетельств. E-mail: kotlyar@smr.ru.

Victor Victorovich Kotlyar is a head of Laboratory at the Image Processing Systems Institute (Samara) of the Russian Academy of Sciences and professor of Computer Science Department at Samara State Aerospace University. He received his MS, PhD and DrSc degrees in physics and mathematics from Samara State University (1979), Saratov State University (1988) and Moscow Central Design Institute of Unique Instrumentation, the Russian Academy of Sciences (1992). He is SPIE and OSA member. He is co-author of 300 scientific papers, 5 books and 7 inventions. His current interests are diffractive optics, gradient optics, nanophotonics, optical vortices.



Стафеев Сергей Сергеевич, 1985 года рождения, в 2009 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва – СГАУ по специальности «Прикладные математика и физика». Аспирант кафедры технической кибернетики СГАУ, стажёр-исследователь лаборатории лазерных измерений Института Систем Обработки Изображений РАН (ИСОИ РАН). Область научных интересов: дифракционная оптика, разностное решение уравнений Максвелла, оптика ближнего поля. E-mail: sergey.stafeev@gmail.com.

Sergey Sergeevich Stafeev (b. 1985) received master's degree in applied mathematics and physics in Samara State Aerospace University (2009). He is a postgraduate student of the Samara State Aerospace University and researcher of Laser Measurements laboratory at the Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences (IPSI RAS). Scientific interests: diffractive optics,

FDTD - method, near-field optics.



Шанина (Котляр) Маргарита Иннокентьевна. В 1979 г. окончила физический факультет Куйбышевского государственного университета, где одновременно получила квалификацию переводчика в сфере профессиональной деятельности. 1981-1982 работала инженером на заводе «Экран». В 1981-1990 работала преподавателем физики, математики и информатики в медицинском училище. С 1990 года работает в ИСОИ РАН на должности инженера, затем ведущего переводчика. С 1993 г. по настоящее время по совместительству работает инженером в НИЛ-35 СГАУ. В июне 2009 и сентябре 2010 была с исследовательским визитом в группе микрофотоники в Школе физики и астрономии университета Сэнт-Эндрюс в Шотландии, где занималась изготовлением устройств нанофотоники. Имеет 6 научных публикаций.

E-mail: rita@smr.ru.

Margarita Innokentievna Shanina (Kotlyar). Graduated from Kuibyshev State University's Physics department in 1979, simultaneously completing an optional university course in profession-related translation. In 1981-1982 worked as an engineer at "Ekran" plant. In 1982-1990 taught physics and informatics in a medical college. In 1990 joined the Image Processing Systems Institute of the RAS as an engineer, later taking the position of the leading translator. Since 1993 has worked part-time as a laboratory assistant and then an engineer with Samara State Aerospace University. In June 2009 and September 2010 paid research visits to the Microphotonics Research group of the School of Physics and Astronomy of St. Andrews University (Scotland) aimed at fabricating nanophotonics devices. She is a co-author of six scientific publications.



Морозов Андрей Андреевич, 1987 года рождения, в 2008 получил степень бакалавра в СГАУ по специальности «Прикладная математика и физика». В 2010 получил степень магистра в СГАУ по специальности «Прикладная математика и физика». В списке научных работ А.А. Морозова 5 статей. Область научных интересов: дифракционная оптика.

E-mail: ragefalcon@mail.ru.

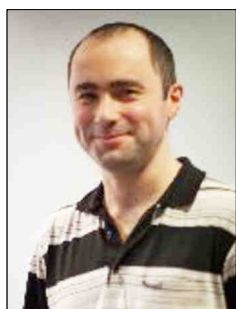
Andrey Andreevich Morozov (b. 1987) He received his bachelor of applied mathematics and physics (2008) in SSAU. He received his master of applied mathematics and physics (2010) in SSAU. He is co-author of 5 scientific papers. His research interests are currently diffractive optics.



Сойфер Виктор Александрович – член-корреспондент РАН, доктор технических наук, директор Института систем обработки изображений РАН. Лауреат государственной премии и премии правительства РФ в области науки и техники. Диплом инженера получил в Куйбышевском авиационном институте (ныне Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва) в 1968 году. Докторскую диссертацию защитил в 1979 году в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ». Автор и соавтор значительного числа научных публикаций с высоким индексом цитируемости, 10 книг и 50 авторских свидетельств и патентов.

E-mail: soifer@ssau.ru.

Victor Alexandrovich Soifer is a corresponding member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Engineering, Professor, and director of the Image Processing Systems Institute (IPSI) of the RAS. He is the recipient of the State Prize of the Russian Federation and the RF government prize in Science and Technology. He was awarded an Engineer qualification (1968) by Kuibyshev Aviation Institute (KuAI, presently, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov, SSAU). He received a Doctor in Engineering degree (1979) from Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI" (ETU). He is a SPIE and IAPR member. He is the author and coauthor of a substantial number of scientific publications with high citation index, 10 books, and 50 author's certificates and patents.



О'Фаолейн Лиам (Уильям Веллан-Куртин) из Ирландии. В 2000 году окончил физический факультет Университета города Корк. С 2001 года начал работать в группе микрофотоники Школы физики и астрономии Университета города Сэнт-Эндрюс (Шотландия) как аспирант по созданию полупроводниковых лазеров. В 2005 году защитил диссертацию и получил степень доктора философии (в области физики). Область научных интересов: электронная литография для создания фотонных кристаллов. В настоящее время является координатором европейской платформы по наноструктурированию ePIX-net. Соавтор 53 научных статей с высоким индексом цитирования.

E-mail: jww1@st-andrews.ac.uk.

Liam O'Faolain (William Whelan-Curtin) is from the Republic of Ireland and studied for a degree in Physics at the University College Cork. He joined the Microphonic Research Group of School of Physics and Astronomy of St. Andrews University (Scotland) in October 2001 to begin a PhD on Modelocked Semiconductor Lasers. He received the PhD degree in Physics in 2005. His other interests are Electron Beam Lithography for Photonic Crystals. He also keeps records of the groups Fabrication Processes. He is now working as a PostDoc coordinating the ePIXnet Nanostructuring Platform. He is the author and coauthor of 53 scientific papers with high citation index.

Поступила в редакцию 14 января 2011 г.