

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОКУСИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЗОННОЙ ПЛАСТИНКИ ДЛЯ ЖЁСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Котляр В.В.¹, Налимов А.Г.¹, Шанина М.И.¹, Соифер В.А.², О'Фаолайн Л.³,
Минеев Е.В.⁴, Якимчук И.В.⁴, Асадчиков В.Е.⁴

¹ 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,

⁴ Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН

Аннотация

Описываются изготовление и исследование бинарной зонной пластинки из серебра на мембране из нитрида кремния с диаметром 200 мкм, крайней зоной 287 нм, глубиной рельефа 460 нм, рассчитанной для длины волны 2,29 Å с расчётной эффективностью около 3%. Экспериментально с помощью матричного детектора с элементом разрешения 13×13 мкм было обнаружено, что в зоне Френеля возникает и устойчиво сохраняется на расстоянии 20–60 мм (фокусное расстояние – 250 мм) центральный максимум интенсивности, который на 6% выше окружающего фона интенсивности.

Ключевые слова: зонная пластинка, рентгеновское излучение, фокусировка.

Введение

В настоящее время в мире активно ведутся исследования по созданию и применению дифракционной оптики для мягкого [1] и жёсткого [2] рентгеновского излучения. В [3–6] с помощью различных технологий были созданы зонные пластинки (ЗП) с высоким разрешением (крайняя зона – от 12 до 25 нм). В [7–11] описываются лабораторные рентгеновские микроскопы, в которых используются ЗП в качестве конденсора и изображающей микрооптики. Экспериментально было получено рентгеновское изображение с разрешением деталей 25 нм.

В перечисленных работах не приводятся результаты прямого измерения фокусного пятна от изготовленных ЗП, что связано с невысоким разрешением CCD-камер для жёсткого рентгеновского излучения (пиксель CCD-камеры имеет размер 3–13 мкм). Приводятся только результаты измерения многократно увеличенного изображения (в 4000–10000 раз) тестовых металлических решётчатых структур, полученных с помощью высоко разрешающих (крайняя зона 12–24 нм), но малоэффективных (1–3%) ЗП на сложных рентгеновских микроскопах длиной в несколько метров, имеющих всего в нескольких лабораториях мира. Также лабораторные микроскопы на основе ЗП производит фирма Xradia [12]. Заметим также, что ни в одной из перечисленных выше работ ЗП не получали путём ионного травления металла (золота или серебра).

В данной работе на основе ранее описанной ЗП [13], которая была изготовлена путём ионного травления серебра на мембране из нитрида кремния с диаметром 200 мкм, крайней зоной 287 нм, глубиной рельефа 460 нм, были проведены эксперименты с помощью лабораторной рентгеновской трубки с анодом из хрома. Использовалась линия излучения $\text{CuK}\alpha_1$ (длина волны 2,29 Å, что соответствует энергии 5,4 КэВ). В распоряжении авторов имелся мат-

ричный детектор с чувствительными элементами (пикселями) 13×13 мкм. Экспериментально было обнаружено, что в ближней зоне возникает и устойчиво сохраняется на расстоянии 20–60 мм центральный максимум интенсивности, который на 6% выше окружающего фона интенсивности. Этот эффект можно назвать «фокусировкой с усреднением», поскольку вследствие названных выше размеров чувствительного элемента детектора в каждый пиксель попадали тысячи локальных максимумов интенсивности, сформированных в ближней зоне в результате дифракции на рельефе ЗП.

1. Зонная пластинка на мембране

Зонная пластинка [13] была изготовлена на кремниевой подложке толщиной 200 мкм, в которой было сделано отверстие размером 1,5×1,5 мм. На поверхности подложки и над отверстием имеется мембрана из нитрида кремния (Si_3N_4) толщиной 200 нм. На поверхность мембраны были напылены тонкая плёнка хрома толщиной 25 нм и толстый слой серебра толщиной 900 нм. На поверхность серебра с помощью центрифуги был нанесён слой негативного резиста SU-8. Картина концентрических колец зонной пластинки «рисовалась» на резисте с помощью электронного луча на электронном микроскопе ZEISS GEMINI с литографической приставкой RAIT ELPHY PLUS с шагом 50 нм. Непроэкспонированные участки резиста удалялись в процессе проявления. Затем плёнка серебра селективно утоньшалась путём ионного травления в среде аргона. Глубина рельефа в серебре была 460 нм. Полученная таким образом зонная пластинка имела диаметр 200 мкм, число зон (число колец) – 90, ширину крайней зоны – 287 нм. ЗП рассчитывалась для фокусировки рентгеновского излучения с длиной волны 2,29 Å на расстоянии 250 мм. На рис. 1 показан вид сверху на атомном силовом микроскопе центральной части ЗП размером 50×50 мкм.

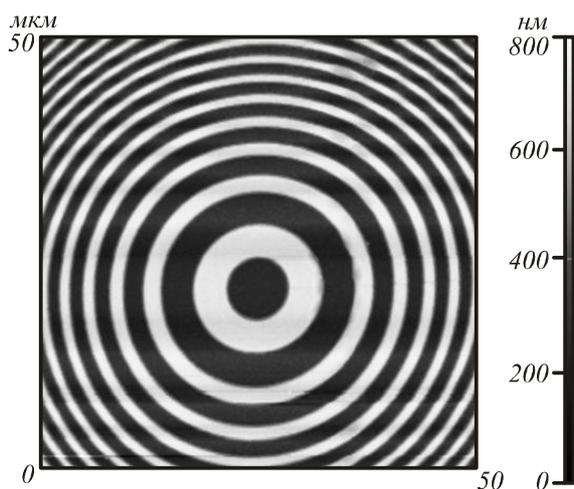


Рис. 1. Вид сверху на атомном силовом микроскопе центральной части ЗП размером 50×50 мкм: светлые кольца – возвышения, тёмные кольца – углубления в соответствии со шкалой высот, показанной справа

На рис. 2 показано радиальное сечение малого участка рельефа ЗП. Видно, что глубина рельефа составляет примерно 450–460 нм.

Высота, нм

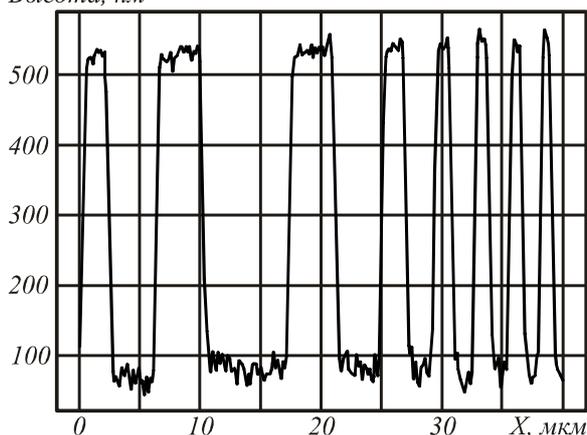


Рис. 2. Радиальное сечение рельефа центральной части ЗП (рис. 4) длиной 40 мкм, глубина рельефа – 450–460 нм

В окне мембраны было изготовлено одновременно 16 одинаковых ЗП. На рис. 3 показано изображение этих 16 ЗП, полученных на оптическом микроскопе в отражённом свете. На рис. 3 ясно видны максимумы отражённого света в центре каждой ЗП. Эти фокусные пятна указывают на работоспособность ЗП в видимом диапазоне, что косвенно подтверждает способность данной ЗП фокусировать и рентгеновское излучение. Заметим, что фокусное расстояние ЗП для видимого света во столько раз меньше фокусного расстояния ЗП для рентгеновского излучения, во сколько раз длина волны видимого света (500 нм) больше, чем длина волны рентгеновского излучения (2,29 Å). По этой причине фокусировка излучения видимой части спектра наблюдается на расстоянии 0,1 мм от ЗП. Разная интенсивность фокуса на рис. 3 связана с разным временем экспозиции резиста электронным пучком, что приводит к разной глубине рельефа ЗП.

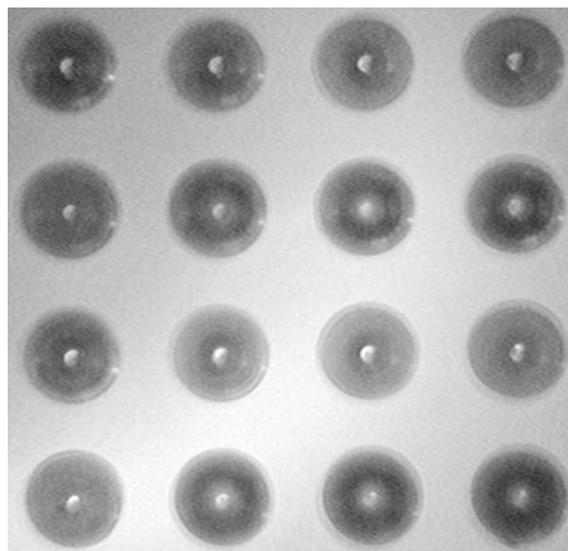


Рис. 3. Вид в оптическом микроскопе в отражённом свете 16 серебряных ЗП, расположенных в виде матрицы 4×4 на мембране из нитрида кремния размером около 1200×1200 мм

2. Эксперимент

На рис. 4 показана схема экспериментальной установки. Источником излучения является рентгеновская трубка (1) с анодом из хрома (линия излучения $\text{CrK}\alpha_1$ с длиной волны, соответствующей энергии 5,4 КэВ). Сразу за ней расположен монохроматор из монокристалла кремния (Si) (2), вырезанный вдоль плоскости (110), который выделяет характеристическую линию излучения во втором порядке отражения. Образец (зонная пластинка, ЗП) помещается на гониометр (3), имеющий несколько степеней свободы, позволяющих выставить объект в пучок. Стоит заметить, что гониометр вращается автоматически с помощью шагового двигателя, управляемого с персонального компьютера. Кроме того, с его помощью можно осуществлять ручную подстройку положения оси вращения, высоту объекта в пучке, а также перемещение образца относительно оси вращения в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Изображения получаются на двумерном детекторе (4). Размер чувствительной области составляет 1056×520 пикселей, величина пикселя – 13×13 мкм. Стоит также отметить, что для данной установки угловая расходимость рентгеновского пучка в одном направлении составляла порядка 30 угловых секунд.



Рис. 4. Схема экспериментальной установки

На рис. 5 показана схема эксперимента с щелевой диафрагмой, ограничивающей пучок рентгеновских лучей после монохроматора. Размеры щели, ограничивающей освещающий пучок, – 100 мкм на

1300 мкм. Расстояние от источника до ЗП было равным 53 см, щель находилась перед ЗП, детектор был расположен на расстоянии 6 см от ЗП. Время экспозиции – 100 с.

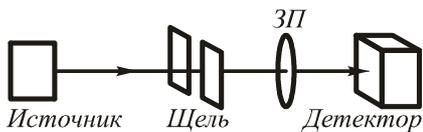


Рис. 5. Схема эксперимента со щелью

На рис. 6 показан результат эксперимента: двумерное распределение интенсивности рентгеновских лучей (длина волны 2,29 Å), прошедших ряд из 4 ЗП (рис. 3) и зарегистрированных CCD-камерой на расстоянии около 60 мм от ЗП (на расстоянии от 20 мм до 70 мм наблюдалась примерно такая же картина). Четыре ЗП из 16, показанных на рис. 3, использовались одновременно для увеличения достоверности полученных результатов. Из рис. 6 видно, что рентгеновское излучение после узкой прямоугольной диафрагмы, описанной выше, почти не расходится (угол расхождения – 30 с) проходит через расположенные в ряд четыре ЗП и, распространяясь далее, попадает на детектор. Поэтому на тёмной полоске на рис. 6 (изображён негатив), размер которой равен размеру щели, видны только четыре менее тёмных пятна, которые показывают частичное поглощение (около 10%) рентгеновского излучения в толще рельефа ЗП.

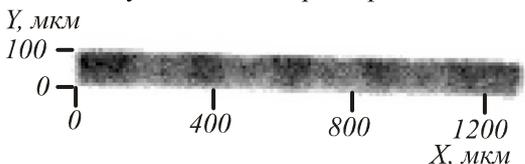


Рис. 6. 2D распределение интенсивности рентгеновских лучей (длина волны 2,29 Å, негатив), прошедших ряд из 4 ЗП (рис. 3) и зарегистрированных CCD-камерой на расстоянии около 60 мм от ЗП

Для более детального анализа распределения интенсивности на рис. 6 было получено его сечение вдоль линии, идущей через центры всех четырёх ЗП (менее тёмных пятен на рис. 6).

На рис. 7 показано такое сечение интенсивности. Видно, что в середине всех четырёх «провалов» интенсивности, которые возникают в местах расположения четырёх ЗП, имеют место максимумы интенсивности, которые примерно на 6% больше окружающей интенсивности. Этот эффект с учётом ранее указанных обстоятельств (ожидаемый размер фокусного пятна много меньше размера чувствительного элемента детектора) можно назвать «фокусировкой с усреднением». Измерения на расчётном фокусном расстоянии 250 мм и вблизи этого расстояния не выявили максимума интенсивности, связанного с фокусом ЗП. Так получается потому, что размер фокуса меньше 1 мкм, и при усреднении детектором с ячейкой 13 × 13 мкм в фокальной плоскости значение интенсивности в ячейке детектора, в которую попадает фокусное пятно, будет всего на несколько процентов больше, чем значение интенсивности в соседних ячейках.

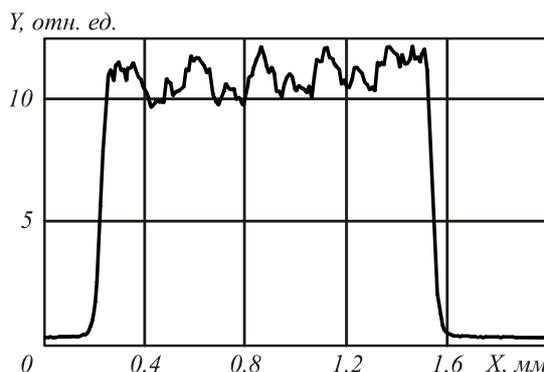


Рис. 7. Экспериментальное сечение интенсивности от четырёх расположенных на одной линии ЗП, полученное на основе рис. 6

Для проверки этого предположения были выполнены теоретические расчёты поля за ЗП путём численного решения параболического волнового уравнения в предположении, что на ЗП падает плоская монохроматическая волна [14]. На рис. 8 показаны рассчитанные этим методом сечения интенсивности рентгеновского излучения на расстоянии 60 мм (рис. 8а, пунктир) и 1 мм (рис. 8б) от ЗП.

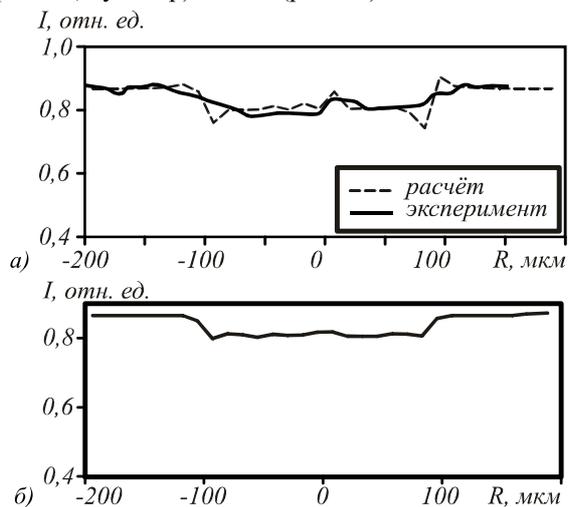


Рис. 8. Рассчитанная интенсивность рентгеновского излучения с длиной волны 2,29 Å на расстоянии 60 мм (а, пунктир) и 1 мм (б) от ЗП из серебра с диаметром 200 мкм (вся область расчёта – 400 мкм) и фокусным расстоянием 250 мм. При этом проведена операция усреднения отсчётов интенсивности по «окну» размером 13 мкм (размер ячейки CCD-камеры). Сплошной линией (а) показано экспериментальное распределение интенсивности, представленное на рис. 7

Из сравнения рис. 7, 8а видно их качественное соответствие: провал интенсивности в месте прохождения лучей через ЗП по сравнению с интенсивностью лучей, прошедших мимо пластинки только через мембрану, и локальный максимум интенсивности в центральной области ЗП. На рис. 7 соотношение интенсивности лучей рядом с максимумом к интенсивности в самом максимуме равно в условных единицах 7:7,5=0,93, а аналогичное соотношение для рис. 8а равно 8,5:8,9=0,95. Отношение ширины центрального максимума к диаметру ЗП для первой

слева ЗП на рис. 7 равно $2:13=0,15$, а для рис. 8а это отношение равно $1:8=0,13$. То, что центральный максимум возникает из-за фокусирующих свойств ЗП, подтверждается тем, что на рис. 8б у интенсивности вблизи ЗП (на расстоянии меньше 1 мм) центральный максимум не наблюдается.

На рис. 9а показано расчётное распределение интенсивности такое же, как на рис. 8а, но без усреднения по «окну» размером 13 мкм. На рис. 9б для сравнения показано расчётное распределение интенсивности, которое получено путём усреднения интенсивности на рис. 9а по «окну» 3 мкм.

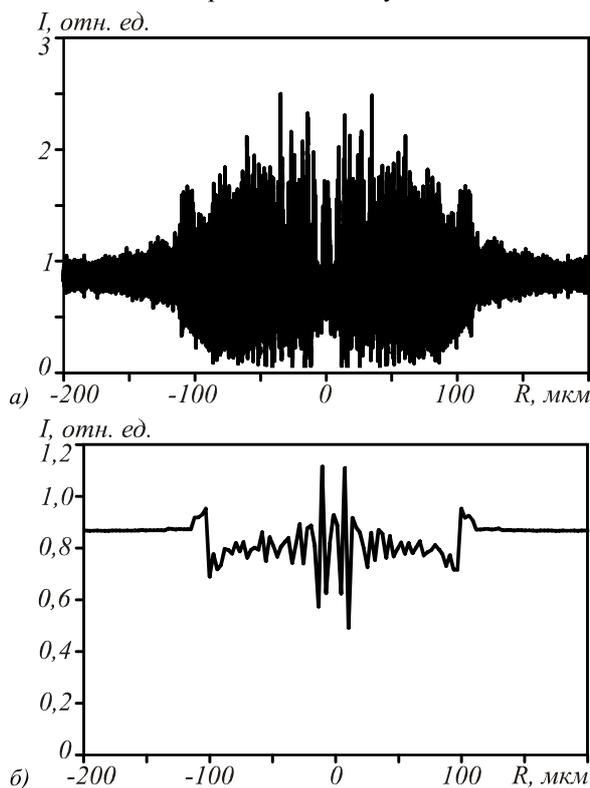


Рис. 9. Рассчитанная интенсивность рентгеновского излучения с длиной волны $2,29 \text{ \AA}$ на расстоянии 60 мм от зонной пластинки из серебра с диаметром 200 мкм (вся область расчёта – 400 мкм) и фокусным расстоянием 250 мм: без операции усреднения (а) и с усреднением по «окну» 3 мкм (б)

Если мысленно провести огибающую по нижнему краю «чёрного» на рис. 9а, то получится кривая, похожая на кривую рис. 8а. То, что центральный пик на рис. 8а расположен не совсем по центру, объясняется тем, что «окна усреднения» расставлялись слева направо. При этом не обязательно середина «окна» совпадала с центром ЗП.

Интересно отметить, что на рис. 6, из которого и получилось сечение на рис. 7, визуально нельзя выделить локальные максимумы в центре 4 зонных пластинок.

Суммируя, можно сказать, что картина дифракции рентгеновского излучения в фокальной плоскости (рис. 9а) имеет вид случайной функции и при усреднении получается неравномерное распределе-

ние интенсивности с максимумом в середине (рис. 8а). Это мы и наблюдаем на практике (рис. 7).

Заключение

В данной работе с помощью бинарной зонной пластинки, изготовленной по технологии электронной литографии и ионного травления слоя серебра на мембране из нитрида кремния толщиной 200 нм, диаметром 200 мкм, с крайней зоной 287 нм, с глубиной рельефа 460 нм и фокусным расстоянием 250 мм, проведено моделирование и эксперимент. Моделирование программой BeamProp RSoft (метод распространения пучка) показало, что эффективность в первом порядке дифракции для такой ЗП равна около 3%, а диаметр фокусного пятна по полуспаду интенсивности равен $\text{FWHM}=0,259 \text{ нм}$. Эксперимент по прохождению слабоборсходящегося рентгеновского пучка с длиной волны $2,29 \text{ \AA}$ (от рентгеновской трубки с анодом из хрома) через четыре ЗП показал, что при регистрации прошедшего через пластинки излучения с помощью матричного детектора с размером чувствительного элемента $13 \times 13 \text{ мкм}$ вблизи оси каждой из четырёх ЗП возникает локальный максимум интенсивности, на 6% превышающий окружающий фон.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 14.740.11.0016), гранта Президента РФ поддержки ведущих научных школ (НШ-4128.2012.9) и молодого кандидата наук (МК-3912.2012.2) и гранта РФФИ (12-07-00269).

Литература

1. **Guttman, P.** Nanoscale spectroscopy with polarized X-rays by NEXAFS-TXM / P. Guttman, C. Bittencourt, S. Rehbein, P. Umek, X. Ke, G. Van Tendeloo, C.P. Ewels, G. Schneider // Nature Photonics. – 2012. – V. 6, N 1. – P. 25-29.
2. **Barty, A.** Self-terminating diffraction gates femtosecond X-ray nanocrystallography measurements / A. Barty, C. Caleman, A. Aquila, N. Timneanu [et al] // Nature Photonics. – 2012. – V. 6, N 1. – P. 35-40.
3. **Feng, Y.** Nanofabrication of high aspect ratio 24 nm x-ray zone plates for x-ray imaging applications / Y. Feng, M. Feser, A. Lyon, S. Rishton [et al] // J. Vac. Sci. Technol. B. – 2007. – V. 25, N 6. – P. 2004-2007.
4. **Vila-Comamala, J.** Advanced X-ray diffractive optics / J. Vila-Comamala, K. Jefimov, T. Pilvi, M. Ritala [et al] // J. Physics: Conf. Ser. “9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy”. – 2009. – V. 186. – P. 012078.
5. **Tamura, S.** Quasi-kinoform type multilayer zone plate with high diffraction efficiency for high-energy x-rays / S. Tamura, M. Yasumoto, N. Kamijo, K. Uesugi [et al] // J. Physics: Conf. Ser. “9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy”. – 2009. – V. 186. – P. 012075.
6. **Holmberg, A.** Soft x-ray zone plate fabrication at KTH, Stockholm / A. Holmberg, M. Lindblom, J. Reinspach, M. Bertilsson, H.M. Hertz // J. Physics: Conf. Ser. “9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy”. – 2009. – V. 186. – P. 012065.
7. **Bertilson, M.** First application experiments with the Stockholm compact soft x-ray microscope / M. Bertilsson, O. von Hofsten, J. Thieme, M. Lindblom, A. Holmberg [et

- al] // J. Physics: Conf. Ser. "9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy". – 2009. – V. 186. – P. 012025.
8. **Watanabe, N.** X-ray phase micro-tomography using an interference microscope with zone plates / N. Watanabe, M. Hoshino, K. Yamamoto, S. Aoki, A. Takeuchi, Y. Suzuki // J. Physics: Conf. Ser. "9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy". – 2009. – V. 186. – P. 012021.
 9. **Chen, J.** Fresnel zone-plate based x-ray microscopy in Zernike phase contrast with sub-50 nm resolution at NSRL / J. Chen, W. Li, Y. Liu, Z. Yue, J. Tian [et al] // J. Physics: Conf. Ser. "9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy". – 2009. – V. 186. – P. 012005.
 10. **Hofsten, O.** Sub-25-nm laboratory x-ray microscopy using a compound Fresnel zone plate / O. von Hofsten, M. Bertilson, J. Reinspach, A. Holmberg [et al] // Opt. Lett. – 2009. – V. 34, N 17. – P. 2631-2633.
 11. **Xie, C.** Feasibility study of hard-x-ray nanofocusing above 20 KeV using compound photon sieves / C. Xie, X. Zhu, H. Li, L. Shi, Y. Wang // Opt. Lett. – 2010. – V. 35, N 23. – P. 4048-4050.
 12. <http://xradia.com/>
 13. **Котляр, В.В.** Зонная пластинка на мембране для жёсткого рентгеновского излучения / В.В. Котляр, А.Г. Налимов, М.И. Шанина, В.А. Сойфер, Л. О'Фаолан // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 1. – С. 36-41.
 14. **Kopylov, Yu.V.** Application of the parabolic wave equation to X-ray diffraction optics/ Yu.V. Kopylov, A.V. Popov, A.V. Vinogradov // Opt. Comm. – 1995. – Vol. 118. – P. 619-636.

References

1. **Guttman, P.** Nanoscale spectroscopy with polarized X-rays by NEXAFS-TXM / P. Guttman, C. Bittencourt, S. Rehbein, P. Umek, X. Ke, G. Van Tendeloo, C.P. Ewels, G. Schneider // Nature Photonics. – 2012. – V. 6, N 1. – P. 25-29.
2. **Barty, A.** Self-terminating diffraction gates femtosecond X-ray nanocrystallography measurements / A. Barty, C. Caleman, A. Aquila, N. Timneanu [et al] // Nature Photonics. – 2012. – V. 6, N 1. – P. 35-40.
3. **Feng, Y.** Nanofabrication of high aspect ratio 24 nm x-ray zone plates for x-ray imaging applications / Y. Feng, M. Feser, A. Lyon, S. Rishton [et al] // J. Vac. Sci. Technol. B. – 2007. – V. 25, N 6. – P. 2004-2007.
4. **Vila-Comamala, J.** Advanced X-ray diffractive optics / J. Vila-Comamala, K. Jefimov, T. Pilvi, M. Ritala [et al] // J. Physics: Conf. Ser. "9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy". – 2009. – V. 186. – P. 012078.
5. **Tamura, S.** Quasi-kinoform type multilayer zone plate with high diffraction efficiency for high-energy x-rays / S. Tamura, M. Yasumoto, N. Kamijo, K. Uesugi [et al] // J. Physics: Conf. Ser. "9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy". – 2009. – V. 186. – P. 012075.
6. **Holmberg, A.** Soft x-ray zone plate fabrication at KTH, Stockholm / A. Holmberg, M. Lindblom, J. Reinspach, M. Bertilsson, H.M. Hertz // J. Physics: Conf. Ser. "9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy". – 2009. – V. 186. – P. 012065.
7. **Bertilson, M.** First application experiments with the Stockholm compact soft x-ray microscope / M. Bertilson, O. von Hofsten, J. Thieme, M. Lindblom, A. Holmberg [et al] // J. Physics: Conf. Ser. "9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy". – 2009. – V. 186. – P. 012025.
8. **Watanabe, N.** X-ray phase micro-tomography using an interference microscope with zone plates / N. Watanabe, M. Hoshino, K. Yamamoto, S. Aoki, A. Takeuchi, Y. Suzuki // J. Physics: Conf. Ser. "9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy". – 2009. – V. 186. – P. 012021.
9. **Chen, J.** Fresnel zone-plate based x-ray microscopy in Zernike phase contrast with sub-50 nm resolution at NSRL / J. Chen, W. Li, Y. Liu, Z. Yue, J. Tian [et al] // J. Physics: Conf. Ser. "9th Int. Conf. on X-Ray Microscopy". – 2009. – V. 186. – P. 012005.
10. **Hofsten, O.** Sub-25-nm laboratory x-ray microscopy using a compound Fresnel zone plate / O. von Hofsten, M. Bertilson, J. Reinspach, A. Holmberg [et al] // Opt. Lett. – 2009. – V. 34, N 17. – P. 2631-2633.
11. **Xie, C.** Feasibility study of hard-x-ray nanofocusing above 20 KeV using compound photon sieves / C. Xie, X. Zhu, H. Li, L. Shi, Y. Wang // Opt. Lett. – 2010. – V. 35, N 23. – P. 4048-4050.
12. <http://xradia.com/>
13. **Kotlyar, V.V.** Zone plate on a baffle for hard X-ray / V.V. Kotlyar, A.G. Nalimov, M.I. Shanina, V.A. Soifer, L. O'Faolain // Computer optics. – 2011. – V. 35, N 1. – P. 36-41. – (In Russian).
14. **Kopylov, Yu.V.** Application of the parabolic wave equation to X-ray diffraction optics./ Yu.V. Kopylov, A.V. Popov, A.V. Vinogradov // Opt. Comm. – 1995. – Vol. 118. – P. 619-636.

FOCUSING PROPERTIES OF A ZONE PLATE INVESTIGATION FOR A HARD X-RAY

V.V. Kotlyar¹, A.G. Nalimov¹, M.I. Shanina¹, V.A. Soifer², L.O'Faolain³,

E.V. Mineev⁴, I.V. Yakimchuk⁴, V.E. Asadchikov⁴

¹ Image Processing Systems Institute of the RAS,

² S.P. Korolyov Samara State Aerospace University,

³ Physics and Astronomy School of the Sent-Endruse university, Scotland,

⁴ A.V. Shubnikov Institute of Crystallography

Abstract

Design and investigate of a Fresnel zone plate of silver on a silicon nitride baffle having diameter 200 μm , end zone width of 460 nm for 2,29 \AA and calculated efficiency of 3% is described. It was discovered experimentally by a detector with element resolution 13x13 μm , that central intensity maximum appears and stable propagates from 20 to 60 mm from zone plate in the near-field, which is 6% higher surrounding intensity level.

Key words: zone plate, X-ray radiation, X-ray 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.

Налимов Антон Геннадьевич, 1980 года рождения, окончил Самарский государственный аэрокосмический университет в феврале 2003 года по специальности «Физика». Поступил в очную аспирантуру СГАУ по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» в 2003 году, окончил её по специальности 01.04.05 «Оптика» в 2006 году. Работает на кафедре технической кибернетики СГАУ в должности доцента, в Институте систем обработки изображений РАН в должности научного сотрудника. Кандидат физико-математических наук, соавтор 57 работ.

E-mail: anton@smr.ru.

Anton Gennadyevich Nalimov (b. 1980), finished Samara state aerospace university in February, 2003. Entered in postgraduate study in 2003 on speciality 05.13.18 “mathematical modeling and program complexes”, finished it in 2006 with speciality 01.04.05 “optics”. Nalimov A.G. works on technical cybernetics department in SSAU as an associate professor, works as a scientist in Image processing systems institute of the Russian Academy of Sciences. Candidate in physics and mathematics, coauthor of 57 papers.



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 Сэн – Эндриус 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.

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.Королева) 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'Фаолайн Лиам (Уильям Веллан-Куртин) из Ирландии. В 2000 году окончил физический факультет Университета города Корк. С 2001 года начал работать в группе микрорентгенофоники 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. Область научных интересов: электронная литография для создания фотонных кристаллов. В настоящее время он является координатором европейской платформы по наноструктурированию ePIXnet. 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 Microphontonic 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.

Якимчук Иван Викторович, 1987 года рождения, окончил Московский государственный университет в 2009 году по специальности «Физика». Поступил в очную аспирантуру физического факультета МГУ по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния вещества» в 2009 году. Работает в Институте кристаллографии РАН в должности инженера. Имеет 8 научных публикаций.

Ivan Viktorovich Yakimchuk (b. 1987), finished Moscow state university in 2009. Entered in postgraduate study in 2009 on speciality 01.04.07 "physics of condensed matter. Works as an engineer in Institute of crystallography of the Russian Academy of Sciences. Hi is author of 8 papers.



Минеев Евгений Владимирович, 1986 года рождения, окончил Московский государственный университет в 2010 году по специальности «Физика». Поступил в очную аспирантуру Института кристаллографии РАН по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния вещества» в 2010 году. Работает в Институте кристаллографии РАН в должности старшего инженера.

Evgeniy Vladimirovich Mineev (b. 1986), finished Moscow state university in 2010. Entered in postgraduate study in 2010 on speciality 01.04.07 "physics of condensed matter. Works as a senior engineer in Institute of crystallography of the Russian Academy of Sciences.

Асадчиков Виктор Евгеньевич, 1948 года рождения, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией рефлектометрии и малоуглового рассеяния Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН. В 1970 году окончил Московский институт стали и сплавов, в 1982 году защитил кандидатскую диссертацию, а в 2003 году – докторскую диссертацию в Институте кристаллографии РАН. Автор и соавтор большого числа научных публикаций.

Victor Evgenievich Asadchikov (b. 1948), professor, is a head of Laboratory of X-ray reflectometry and small-angle scattering at the Institute of Crystallography of the Russian Academy of Sciences. He received his MS, PhD and DrSc degrees in physics and mathematics from National university of science and technology (1970), Institute of crystallography, the Russian Academy of Sciences (1982 and 2003). He is the author and coauthor of a large number of scientific publications.



Поступила в редакцию 30 декабря 2011 г.