

ДИФРАКЦИОННАЯ ОПТИКА, ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗОННОЙ ПЛАСТИНКОЙ В РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ

Налимов А.Г., Котляр В.В., Сойфер В.А.

Институт систем обработки изображений РАН,

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Аннотация

Приведены результаты моделирования формирования изображения в жёстком рентгеновском излучении с помощью зонной пластинки (ЗП). Распространение излучения в пространстве моделировалось с помощью интеграла Рэлея-Зоммерфельда, а в ЗП – коммерческой программой BeamProp. Показано, что при формировании изображения ЗП с малой эффективностью необходимо сдвинуть объект от центра и освещать его сходящимся пучком, тогда нулевой порядок дифракции на ЗП не будет мешать формированию изображения в первом порядке. Показано также, что дифракционная решётка с периодом 100 нм отображается ЗП с крайней зоной, равной 50 нм.

Ключевые слова: зонная пластинка, рентгеновское излучение, рентгеновская линза.

Введение

Использование мягкого и жёсткого рентгеновского излучения в оптических системах позволяет получать высокое разрешение в задачах микроскопии [1]. Короткая длина волны рентгеновского излучения по сравнению с видимым светом накладывает более жёсткие условия на расчёт и изготовление оптики – линз Френеля, зонных пластинок, дифракционных решёток [2 - 4].

Зонные пластинки (ЗП) являются одним из самых простых элементов для фокусирования когерентного рентгеновского излучения [4-7]. Теория их расчёта известна давно [8], однако интерес представляет также и моделирование распространения света через рассчитанную зонную пластинку. В [9] описываются результаты эксперимента с использованием составной ЗП, формирующей изображение в первом и третьем прошедших порядках. Однако в данных работах не проводилось численное моделирование прохождения излучения через ЗП. Основной проблемой для расчёта дифракции рентгеновского излучения на ЗП является вычислительная сложность задачи, обусловленная малой длиной волны излучения. Длина волны рентгеновского диапазона составляет обычно доли нанометра, поэтому необходимо использовать сетку отсчётов с разбиением в несколько тысяч или десятков тысяч отсчётов по линейным координатам, что требует значительных временных затрат для моделирования на компьютере.

В работе впервые приводятся результаты моделирования формирования изображения в когерентном и частично когерентном рентгеновском излучении, проведённого в Суперкомпьютерном центре «Сергей Королёв» (СГАУ). В рамках скалярной теории дифракции произведено компьютерное моделирование формирования изображения с помощью зонной пластинки в жёстком рентгеновском излучении. При этом параметры зонной пластинки, формирующей изображение в компьютерном эксперименте, соответствуют пара-

метрам реально созданной зонной пластинки. Это позволит в дальнейшем сравнить результаты компьютерного моделирования и физического эксперимента. Рассматриваемая оптическая схема в этой работе близка к реальной схеме будущего эксперимента. С целью уменьшения размеров оптической схемы в работе моделируется формирование нефокусированного изображения. Моделируется формирование изображения в частично-когерентном излучении, которое близко к излучению рентгеновских трубок. Для проверки правильности расчётов приводится сравнение численного моделирования получения увеличенного в 1160 раз изображения дифракционных решёток с периодом 50 и 100 нм с результатами эксперимента с аналогичными параметрами, описанного в [9].

Моделирование

Моделирование распространения излучения проводилось в электромагнитном приближении. Использование геометрооптического приближения (например, реализованного в коммерческом программном пакете TracePro) для моделирования формирования изображения невозможно, так как ЗП состоит из плоско-параллельных участков, которые не изменяют ход лучей. А также при лучевом приближении не учитывается набег фазы на ступеньках ЗП и частичная когерентность падающего пучка.

Выбор метода численного моделирования распространения рентгеновского излучения приведён в [10]. Из [10] следует, что для моделирования распространения излучения через ЗП целесообразно использовать программное обеспечение BeamProp (фирма-разработчик RSoft Design Group), для расчёта распространения излучения в свободном пространстве – интеграл Рэлея-Зоммерфельда. В BeamProp реализовано решение уравнения Гельмгольца (Beam Propagation Method) в приближении медленно меняющейся амплитуды поля:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{i}{2k_0 n} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + (k_0^2 - k_0^2 n^2) u \right), \quad (1)$$

где $k_0 = 2\pi/\lambda$ – волновое число, n – показатель преломления вещества, u – комплексная амплитуда рентгеновского излучения, (x, y) – поперечные координаты, z – продольная координата. Приближение медленно меняющейся амплитуды поля хорошо подходит для расчёта рентгеновских дифракционных элементов, поскольку действительная часть показателя преломления для рентгеновского излучения имеет порядок $1-10^{-4} \dots 1-10^{-8}$, а мнимая – $10^{-5} \dots 10^{-8}$ [11].

Для построения изображения с помощью рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 0,229$ нм была изготовлена ЗП радиусом 100 мкм с фокусным расстоянием 25 см, ширина крайних зон 286 нм [12]. Такое фокусное расстояние было выбрано, исходя из критерия возможности изготовления ЗП на литографическом оборудовании. ЗП была выполнена на мембране из нитрида кремния толщиной 200 нм в слое серебра толщиной 900 нм, глубина рельефа была ограничена производственными возможностями и составила 460 нм. Показатель преломления материала дифракционного рельефа зонной пластинки равен $n = 1 - 6,8 \cdot 10^{-5} + 6,8 \cdot 10^{-6}i$. Моделирование показало, что эффективность фокусировки излучения такой зонной пластинкой составляет 4,25% по полуспаду интенсивности в случае плоской падающей волны.

На рис. 1 представлен рельеф зонной пластинки, полученный сканирующим зондовым микроскопом Solver-Pro M (NT-MDT, Зеленоград).

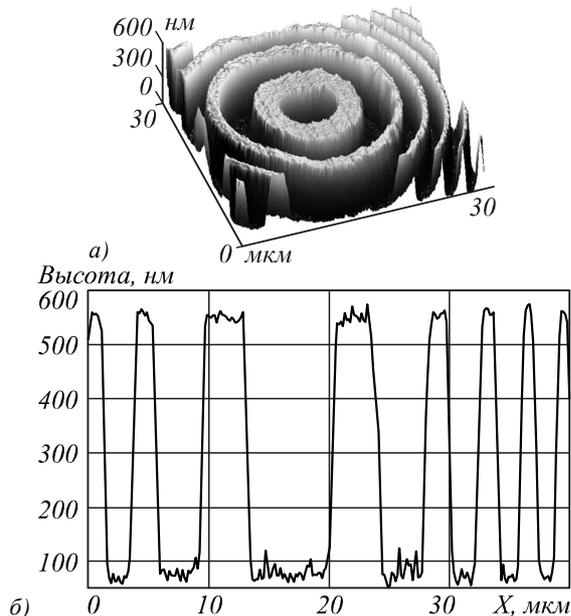


Рис. 1. Рельеф центральной части зонной пластинки [11]: восстановленное трехмерное изображение (а), его профиль (б)

Расчёт распространения рентгеновского излучения через зонную пластинку производился комбинированным методом. Расчёт в свободном пространстве до ЗП производился с помощью интеграла Рэлея-Зоммерфельда в Суперкомпьютерном центре «Сергей Королёв» (использовалось 800 процессоров Intel Xeon 5593 2,93 ГГц).

Расчёт прохождения света через зонную пластинку производился программой BeamProp, и дальнейший расчёт прохождения излучения в свободном пространстве после ЗП производился тоже с помощью интеграла Рэлея-Зоммерфельда. Использовалась сетка 1547×1547 отсчётов (расстояние между отсчётами 0,13 мкм), всё поле имело размер 201×201 мкм. Заметим, что, хотя разбиение сетки отсчётов может показаться слишком грубым (567λ между отсчётами), это не влияет на правильность результатов, так как фаза в падающем поле не изменяется более чем на 2π между отсчётами.

На рис. 2 представлен профиль фазы комплексной амплитуды рентгеновского излучения в плоскости объекта-транспаранта. Видно, что фаза поля внутри изображаемого объекта хорошо прописывается.

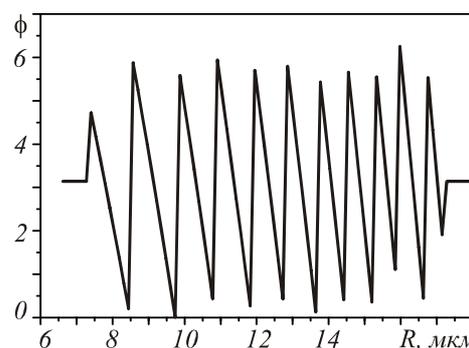


Рис. 2. Профиль фазы ϕ внутри изображаемого объекта

На рис. 3 представлена оптическая схема рассматриваемой задачи.

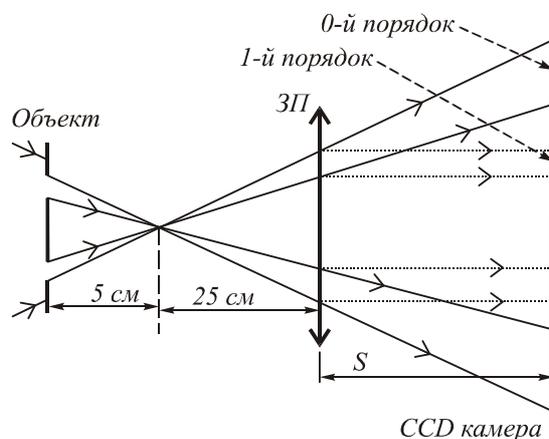


Рис. 3. Оптическая схема для построения изображения с помощью ЗП

Объект был освещён сходящимся рентгеновским пучком. Сходящийся пучок рентгеновского излучения можно сформировать, например, с помощью капиллярной линзы Кумахова [13, 14]. В качестве объектов для изображения были взяты две квадратные диафрагмы со стороной 10 мкм и расстоянием между ними 15 мкм. Таким образом, размер пятикратно увеличенного изображения составил 175 мкм. Так как ЗП имеет эффективность всего несколько процентов, в плоскость наблюдения попадёт как расходящийся падающий пучок (нулевой порядок), так и параллельный пучок

чок после зонной пластинки (первый порядок). На рис. 4 представлена рассчитанная интенсивность излучения для расстояния $S=25$ см и $S=50$ см.

На рис. 4а в плоскости действительного изображения не видно квадратных диафрагм из-за наложения падающего пучка на изображение расходящегося пучка. На рис. 4б расходящийся пучок уже не попадает на изображение двух квадратных диафрагм и их отчётливо видно. Заметим, что на рис. 4а, б всё поле интенсивности (201×201 мкм) промодулировано концентрическими полосами от ЗП, которые объясняются тем, что ЗП не только фазовый объект, но и амплитудный из-за частичного поглощения рентгеновского излучения в ЗП.

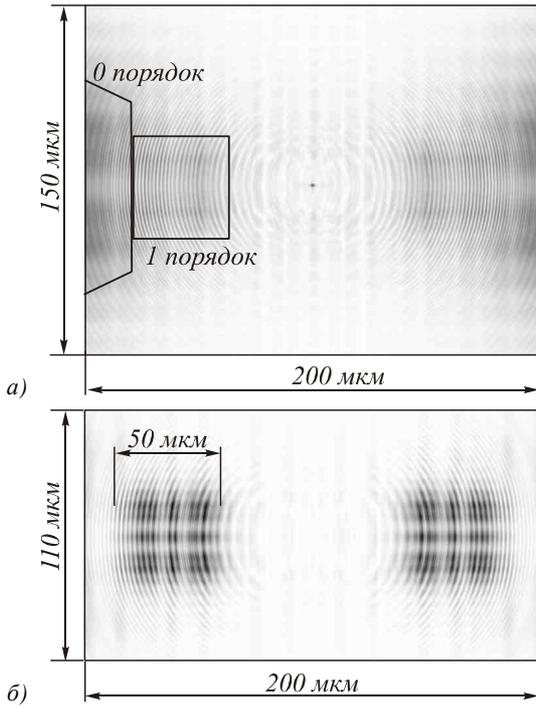


Рис. 4. Увеличенное в 5 раз изображение двух квадратных диафрагм на расстоянии $S=25$ см (а) и $S=50$ см (б) (негатив)

Для представленной на рис. 3 оптической схемы расстояние от ЗП до плоскости сфокусированного изображения равно 150 см. Рентгеновское излучение с данной длиной волны имеет сильное затухание в воздухе (затухание вдвое примерно на расстоянии 30 см), однако использование чувствительной камеры позволяет получать изображения на таком расстоянии. На рис. 5 представлено изображение двух квадратных диафрагм на расстоянии $S=150$ см. Видно, что в плоскости сфокусированного изображения объекты имеют чёткие края.



Рис. 5. Увеличенное в 5 раз изображение двух квадратных диафрагм на расстоянии $S=150$ см (негатив)

Для корректной работы ЗП необходимо использовать когерентное излучение. Ограниченная поперечная когерентность отрицательно влияет на сформированное изображение. На рис. 6 приведены изображения квадратных диафрагм на расстоянии $S=50$ см при пятне когерентности диаметром 20 мкм, 10 мкм, 5 мкм и 3 мкм. Размер пятна когерентности менялся в плоскости изображаемых диафрагм.

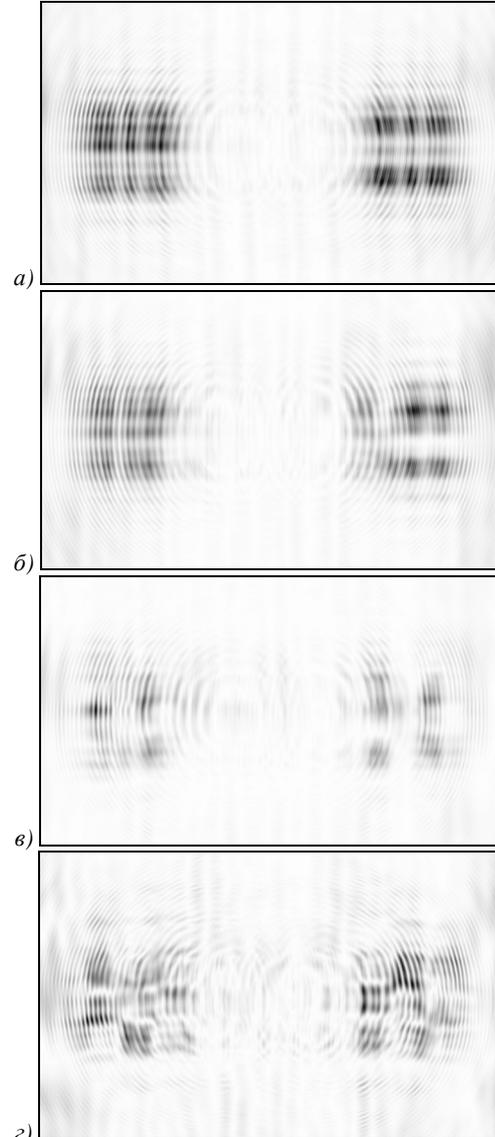


Рис. 6. Изображения квадратных апертур (негатив), полученные с помощью ЗП при частично когерентном излучении с пятном когерентности: 20 мкм (а), 10 мкм (б), 5 мкм (в), 3 мкм (г). Ширина изображений также, как и на рис. 3, равна 200 мкм, высота 130 мкм, расстояние до плоскости наблюдения $S=50$ см

На рис. 6 видно, что при пятне когерентности с размером, сопоставимым с размером диафрагмы и менее, появляется тенденция к ухудшению качества изображения. Эта тенденция проявляется при формировании несфокусированного изображения объектов. Формирование несфокусированного изображения рассматривалось с целью уменьшения размеров оптической схемы.

Для проверки правильности расчётов результаты моделирования были сравнены с экспериментом из работы [9]. В [9] были получены увеличенные изображения в мягком рентгеновском излучении субмикронных дифракционных решёток с размером линий 25 и 30 нм. В данной работе был произведён расчёт ЗП с такими же параметрами, как в [9]: радиус ЗП – 30 мкм, ширина крайней зоны – 50 нм, фокусное расстояние зонной пластинки – 900 мкм, длина волны рентгеновского излучения $\lambda = 3,37$ нм, расчётное увеличение изображения – 1160 раз (расстояние между изображаемым объектом и ЗП составляло 900,7758 мкм, между ЗП и плоскостью наблюдения – 1,044983 м). Авторами в [9] с помощью такой ЗП были получены изображения линий дифракционной решётки, то есть были разрешены структуры периодом 100 нм и более, но не были разрешены структуры с периодом 50-60 нм (рис. 7).

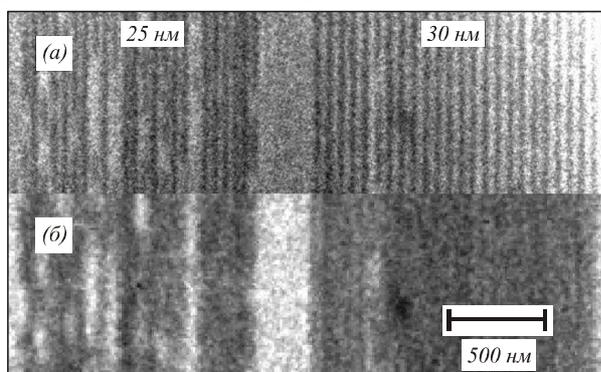


Рис. 7. Экспериментальные изображения дифракционных решёток с шириной линии 25 и 30 нм, полученные в [9]. В области (б) представлено изображение дифракционных решёток, полученное с помощью описанной выше ЗП. Изображение в области (а) более высокого разрешения тех же частей дифракционных решёток получено с использованием другой более высокоразрешающей ЗП

На рис. 8 показан внешний вид изображаемого объекта для проведения сравнительного моделирования.

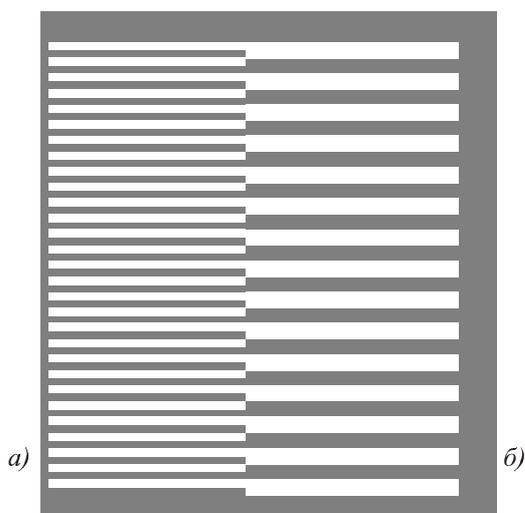


Рис. 8. Амплитудный объект, состоящий из решёток с периодом 50 нм (а) и 100 нм (б)

Изображаемая дифракционная решётка состоит из двух частей, ширина линий в области (а) составляет 25 нм, ширина линий в области (б) – 50 нм. Для моделирования была взята сетка размером 2400×2400 отсчётов, размер отсчёта был равен 25 нм. В плоскости изображаемого объекта дискретизация сетки отсчётов была улучшена в 10 раз, то есть размер отсчёта составлял 2,5 нм. Для моделирования было использовано 640 процессоров суперкомпьютерного центра «Сергей Королёв», время моделирования приблизительно 1,5 часа.

На рис. 9 показано распределение интенсивности когерентного рентгеновского излучения в плоскости наблюдения после прохождения через элемент, изображённый на рис. 8 (негатив).

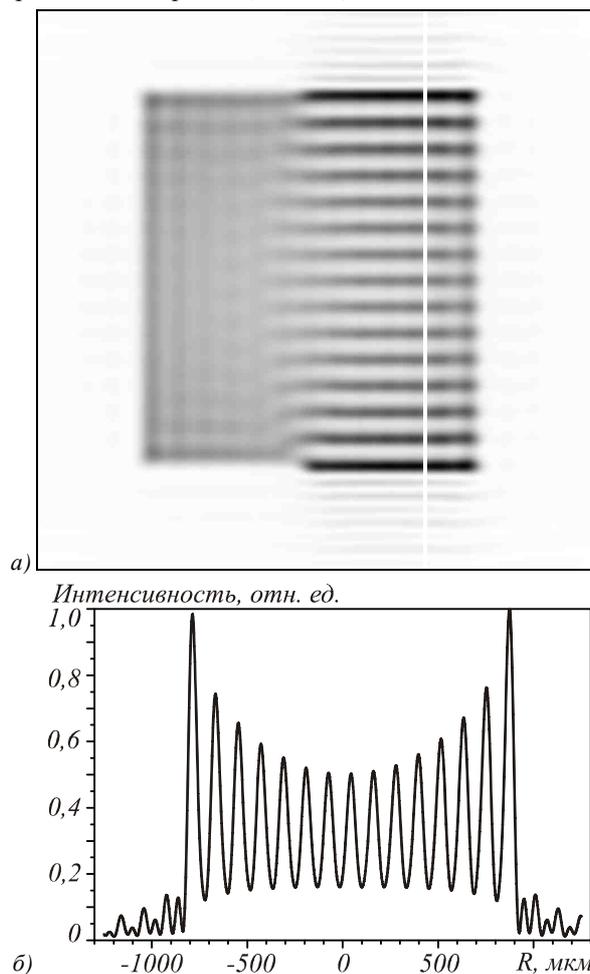


Рис. 9. Распределение интенсивности (негатив) в плоскости наблюдения (а) и сечение по вертикальной светлой линии (б)

На рис. 9 видно, что линии дифракционной решётки в области (б) с периодом 100 нм разрешились удовлетворительно, в то время как линии в области (а) с периодом 50 нм не разрешились, что согласуется с экспериментальным результатом из [9]. Период линий в области (б) в плоскости изображения составляет примерно 116 мкм, что соответствует увеличению 1160 раз исходного изображаемого объекта, изображены все 15 линий решётки.

Заключение

В работе продемонстрировано формирование увеличенного изображения в сходящемся пучке рентгеновского излучения с помощью ЗП, которая была экспериментально изготовлена в [9, 11]. Как показало моделирование, при данной оптической схеме увеличение составляет 5 раз. Для получения изображения источника (квадратных апертур) камеру необходимо располагать на некотором отдалении S от зонной пластинки, чтобы прямое излучение от источника разошлось за пределы области диаметром ЗП (200 мкм). Это обусловлено тем, что эффективность фокусировки света зонной пластинкой составляет всего 4%.

Моделирование показало, что при частично когерентном источнике излучения пятно когерентности должно быть сопоставимо с размером изображаемых объектов (или более).

Моделирование эксперимента по изображению дифракционных решёток, описанного в [9], показало, что дифракционная решётка с периодом 100 нм разрешилась с высоким контрастом (более 0,5) ЗП с шириной крайней зоны 50 нм.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 14.740.11.0016), российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (грант CRDF PG08-014-1), грантов Президента РФ поддержки ведущих научных школ (НШ-7414.2010.9), молодого кандидата наук (МК-64571.2010.2), молодого доктора наук (МД-8026.2010.2).

Литература

1. **Attwood, D.** Soft x-rays and extreme ultraviolet radiation: principles and applications / D. Attwood // Cambridge University Press, 1999.
2. **Vaschenko, G.** Sub-38 nm resolution tabletop microscopy with 13 nm wavelength laser light / G. Vaschenko, C. Brewer, F. Brizuela [et al.] // Opt. Lett. – 2006. – Vol. 31. – P. 1214-1216.
3. **Vaschenko, G.** Nano-imaging with a compact extreme ultraviolet laser / G. Vaschenko, F. Brizuela, C. Brewer [et al.] // Opt. Lett. – 2005. – Vol. 30. – P. 2095-2097.
4. **Kuyumchyan, M.** High efficiency and low absorption Fresnel compound zone plates for hard X-ray focusing / M. Kuyumchyan, A. Isoyan, A. Shulakov [et al.] // Cornell University, 2005. – <http://arxiv.org/pdf/cs.OH/0503005>.
5. **Aoki, S.** The 8th International Conference on X-ray Microscopy (Institute of Pure and Applied Physics, Tokyo, 2006); and references therein / S. Aoki, Y. Kagoshima, Y. Suzuki [et al.].
6. **Chao, W.L.** Soft X-ray microscopy at a spatial resolution better than 15 nm / W.L. Chao, B.D. Harteneck, J.A. Liddle [et al.] // Nature. – 2005. – Vol. 435, N 7046. – P. 1210-1213.
7. **Jefimovs, K.** Zone-doubling technique to produce ultra-high-resolution x-ray optics / K. Jefimovs, J. Vila-Comamala, T. Pilvi, J. Raabe [et al.] // Phys. Rev. Lett. – 2007. – Vol. 99, N 26. – P. 264801.

8. **Barret, H.H.** Fresnel zone plate imaging of gamma rays; theory / H.H. Barret, F.A. Horrigan // Appl. Opt. – 1973. – Vol. 12, N 11. – P. 2686-2702.
9. **Hofsten, O.** Sub-25-nm laboratory X-ray microscopy using a compound Fresnel zone plate / O. Hofsten, M. Bertilson, J. Reinspach [et al.] // Opt. Letters. – 2009. – Vol. 34, N 17. – P. 2631-2633.
10. **Хонина, С.Н.** Сравнение методов расчёта распространения рентгеновского излучения через ДОО в паракиальной области / С.Н. Хонина, А.Г. Налимов // Известия СНЦ РАН. – 2010. – Т. 12, № 4. – С. 26-31.
11. **Асадчиков, В.Е.** Рентгенооптические методы - полное внешнее отражение с учётом рассеяния и микроскопия - в анализе границ раздела конденсированных фаз. Диссертация на соискание учёной степени доктора наук / В.Е. Асадчиков. – М., 2003.
12. **Котляр, В.В.** Зонная пластинка на мембране для жёсткого рентгеновского излучения / В.В. Котляр, М.И. Шанина, В.А. Соيفер, Л. О'Фаоллайн, А.Г. Налимов // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 1. – С. 36-41.
13. **Аркадьев, В.А.** Капиллярная рентгеновская линза / В.А. Аркадьев, А.И. Коломийцев, М.А. Кумахов [и др.] // Письма в ЖТФ. – 1988. – Т. 14. – С. 97.
14. **Романов, А.Ю.** Исследование рентгенооптических свойств оптики Кумахова / А.Ю. Романов, И.В. Дмитриев, А.Ю. Акулов // Инженерная физика. – 2004. – № 1. – С. 43-47.

References

1. **Attwood, D.** Soft x-rays and extreme ultraviolet radiation: principles and applications / D. Attwood // Cambridge University Press, 1999.
2. **Vaschenko, G.** Sub-38 nm resolution tabletop microscopy with 13 nm wavelength laser light / G. Vaschenko, C. Brewer, F. Brizuela [et al.] // Opt. Lett. – 2006. – Vol. 31. – P. 1214-1216.
3. **Vaschenko, G.** Nano-imaging with a compact extreme ultraviolet laser / G. Vaschenko, F. Brizuela, C. Brewer [et al.] // Opt. Lett. – 2005. – Vol. 30. – P. 2095-2097.
4. **Kuyumchyan, M.** High efficiency and low absorption Fresnel compound zone plates for hard X-ray focusing / M. Kuyumchyan, A. Isoyan, A. Shulakov [et al.] // Cornell University, 2005. – <http://arxiv.org/pdf/cs.OH/0503005>.
5. **Aoki, S.** The 8th International Conference on X-ray Microscopy (Institute of Pure and Applied Physics, Tokyo, 2006); and references therein / S. Aoki, Y. Kagoshima, Y. Suzuki [et al.].
6. **Chao, W.L.** Soft X-ray microscopy at a spatial resolution better than 15 nm / W.L. Chao, B.D. Harteneck, J.A. Liddle [et al.] // Nature. – 2005. – Vol. 435, N 7046. – P. 1210-1213.
7. **Jefimovs, K.** Zone-doubling technique to produce ultra-high-resolution x-ray optics / K. Jefimovs, J. Vila-Comamala, T. Pilvi, J. Raabe [et al.] // Phys. Rev. Lett. – 2007. – Vol. 99, N 26. – P. 264801.
8. **Barret, H.H.** Fresnel zone plate imaging of gamma rays; theory / H.H. Barret, F.A. Horrigan // Appl. Opt. – 1973. – Vol. 12, N 11. – P. 2686-2702.
9. **Hofsten, O.** Sub-25-nm laboratory X-ray microscopy using a compound Fresnel zone plate / O. Hofsten, M. Bertilson, J. Reinspach [et al.] // Opt. Letters. – 2009. – Vol. 34, N 17. – P. 2631-2633.
10. **Khonina, S.N.** Comparing of the calculation methods of X-ray propagation via a DOE in a paraxial area / S.N. Khonina, A.G. Nalimov // Izvestiya SSC RAS. – 2010. – Vol. 12, N 4. – P. 26-31. – (In Russian).

11. **Asadchikov, V.E.** X-ray methods: full external reflection with scattering and microscopy – in analysis of the medium borders and condensing phases. Doctor dissertation / V.E. Asadchikov. – M., 2003. – (In Russian).
12. **Kotlyar, V.V.** Zone plate on a film for a hard X-ray / V.V. Kotlyar, M.I. Shanina, V.A. Soifer, L. O'Faolain, A.G. Nalimov // Computer optics. – 2011. – Vol. 35, N 1. – P. 36-41. – (In Russian).
13. **Arkhadiev, V.A.** A capillar X-ray lens / V.A. Arkhadiev, A.I. Kolomyicev, M.A. Kumahov [et al.] // JTP Letters. – 1988. – V. 14. – P. 97. – (In Russian).
14. **Romanov, A.Yu.** Investigations of an X-ray and optical properties of a Kumahov optics / A. Yu. Romanov, I.V. Dmitriev, A.Yu. Akulov // Engineering physics. – 2004. – N 1. – P. 43-47. – (In Russian).

MODELING OF AN IMAGE FORMING BY A ZONE PLATE IN X-RAY

A.G. Nalimov, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer

Image Processing Systems Institute of the RAS,

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

Abstract

Results of the image forming in a hard X-ray by a zone plate (ZP) are shown. Radiation propagation in free space was calculated by a Rayleigh-Zommerfeld integral, in the ZP – by a commercial program BeamProp. It is shown, that when the image is formed by the ZP with a small efficiency, it is needed to shift an object from a focus from an optical axis and to illuminate it by a spherical wave. In this case zero order of a diffraction on the ZP will not disturb to form the image in first order. It is shown, that a diffraction grating with a period of 100 nm can be imaged by the ZP with end zone width is equal to 50 nm.

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

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, and 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 ассистента, в Институте систем обработки изображений РАН в должности научного сотрудника. Кандидат физико-математических наук, соавтор 48 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 assistant, works as a scientist in Image processing systems institute of the Russian Academy of Sciences. Candidate in physics and mathematics, coauthor of 48 papers.



Соифер 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.

Поступила в редакцию 18 мая 2011 г.