

МНОГОЭЛЕМЕНТНАЯ ПРЕЛОМЛЯЮЩАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ЛИНЗА ДЛЯ ФОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 18 КЭВ

Дудчик Ю.И.¹, Ванг Т.², Му Б.²

¹Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета, Минск, Республика Беларусь

²Институт точной оптической инженерии университета Тонгжи, Шанхай, КНР

Многоэлементная преломляющая линза для рентгеновских лучей является новым элементом рентгеновской оптики. Линзы используются для фокусировки рентгеновских фотонов с энергией от 5 кэВ до 30 кэВ в пятна микронных и субмикронных размеров, а также для получения изображения объектов в рентгеновских лучах с субмикронным разрешением.

Линза состоит из большого числа двояковогнутых микролинз, изготовленных из материала с небольшим порядковым номером. Фокусное расстояние линзы f определяется как: $f = R/(2\delta N)$, где R – радиус кривизны поверхности линзы, $(1-\delta)$ – действительная часть комплексного показателя преломления материала линзы, N – число микролинз. Для практических приложений, необходимо, чтобы N выбиралось равным 100 и более, а R – от 50 мкм до 250 мкм. Такие линзы изготавливаются штампованием или с использованием LIGA технологии, что является дорогостоящим.

В НИИПФП им.А.Н. Севченко БГУ разработаны многоэлементные преломляющие рентгеновские линзы в виде стеклянного капилляра, заполненного двояковогнутыми эпоксидными микролинзами с радиусом кривизны, равным радиусу канала капилляра [1]. Разработанная методика позволяет изготавливать микролинзы с радиусом кривизны поверхности 50 мкм и меньше, что проблематично сделать другими методами. Рентгеновские линзы с радиусом кривизны 100 мкм и меньше являются короткофокусными. Например, изготовленная нами линза, содержащая 161 микролинзу с радиусом кривизны 50 мкм, имеет фокусное расстояние 41 мм для фотонов с энергией 8 кэВ. Такие линзы можно использовать для работы с лабораторными источниками излучения, как показано нами в [2] на примере макета рентгеновского микроскопа.

Методика формирования двояковогнутых микролинз внутри стеклянного капилляра позволяет разрабатывать рентгеновские линзы с относительно большим радиусом кривизны поверхности. Оптимальный радиус кривизны поверхности линзы R определяется параметром r_a , который называется апертурой линзы из-за поглощения рентгеновских лучей в материале линзы, и рассчитывается по следующей формуле: $r_a = (2R/(\mu N))^{1/2}$, где μ – линейный показатель

ослабления. Физический смысл параметра r_a состоит в том, что рентгеновские лучи, проходящие через линзу на расстоянии r_a , ослабляются в e^2 раз. Таким образом, составная преломляющая сферическая линза фактически обладает естественной диафрагмой из-за эффекта поглощения. Линзы с относительно большой апертурой целесообразно использовать для управления пучка фотонов с относительно большой энергией, например 18 кэВ, поскольку как видно из формулы для r_a апертура линзы $2r_a$ уменьшается с увеличением линейного показателя ослабления, который в свою очередь уменьшается с ростом энергии фотонов.

Нами разработана рентгеновская линза для фокусировки рентгеновского излучения с энергией фотонов 18 кэВ. Линза содержит 280 микролинз с радиусом кривизны 250 мкм каждая. Оптические параметры линзы исследовались на синхротроне Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) в г. Шанхай (КНР).

Фотография разработанной линзы приведена на рисунке 1. Рассчитанное фокусное расстояние линзы f составляет 65,6 см для фотонов с энергией 18 кэВ.



Рисунок 1 – Фотография рентгеновской линзы, содержащей 280 микролинз с радиусом кривизны 250 мкм каждая

Линза использовалась для формирования рентгеновского пучка с энергией фотонов 18 кэВ на синхротроне Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) в г. Шанхай (КНР). На рисунке 2 показана экспериментальная установка, на которой проводились исследования. Установка состоит из системы вывода синхротронного пучка 1, многоэлементной преломляющей линзы 2 в держателе и рентгеновской камеры 4. Линза размещена на V-образном держателе 3.

Рассчитанное фокусное расстояние линзы составляет 65,6 см. Расстояние от источника излучения до линзы – 39,3 м, размер источника излучения – 100 мкм. Согласно формуле линзы: $1/a + 1/b = 1/f$, где a – расстояние от источника

излучения до линзы, b - расстояние от линзы до плоскости изображения линзы, для $a= 1600$ см и $f= 65,6$ см, $b= 66,7$ см.



Рисунок 2 – Экспериментальная установка для исследований параметров рентгеновского пучка

На рисунке 3 показано изображение рентгеновского пучка сформированного линзой на различных расстояниях b от линзы. Энергия фотонов - 18 кэВ. Изображение получено с использованием рентгеновской камеры Photonic Science, модель X-ray Fast Digital Imager. Число пикселей камеры составляет 1380×1030 , размер одного пикселя равен 6,45 мкм. Выходное окно камеры располагалась в плоскости перпендикулярной рентгеновскому пучку. Экспозиция – 0,01с.

Проведенный анализ картины рентгеновского пучка, которая показана на рисунке 3 (а-д) показал, что пятно имеет минимальный размер при $b= 67$ см, что достаточно точно соответствует рассчитанному положению плоскости изображения линзы.

Поскольку экспозиция при записи изображения пучка составляла 0.01 с, то разработанная рентгеновская линза может быть использована в качестве оптического элемента при проведении исследований по малоугловому рассеянию и рентгеноструктурному анализу на синхротронах третьего поколения.

УДК 666.223.9

СТЕКЛА ДЛЯ ЖЕСТКОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Дяденко М.В., Левицкий И.А., Папко Л.Ф.

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

Волоконная оптика относится к наукоемким высокотехнологичным и перспективным материалам современности. Темпы роста волоконной оптики и оптоэлектроники на мировом рынке опережают все другие отрасли техники и составляют около 40 % в год. Несмотря на имеющиеся к настоящему времени результаты, исследова-

ния в данном направлении в мировом научном сообществе интенсивно продолжаются.

Различают волоконно-оптические изделия, изготовленные на основе гибкого и жесткого оптического волокна. Данная разработка посвящена волоконной оптике на основе жесткого волокна и решает важную задачу обеспечения надежности и мобильности приборов и состав-

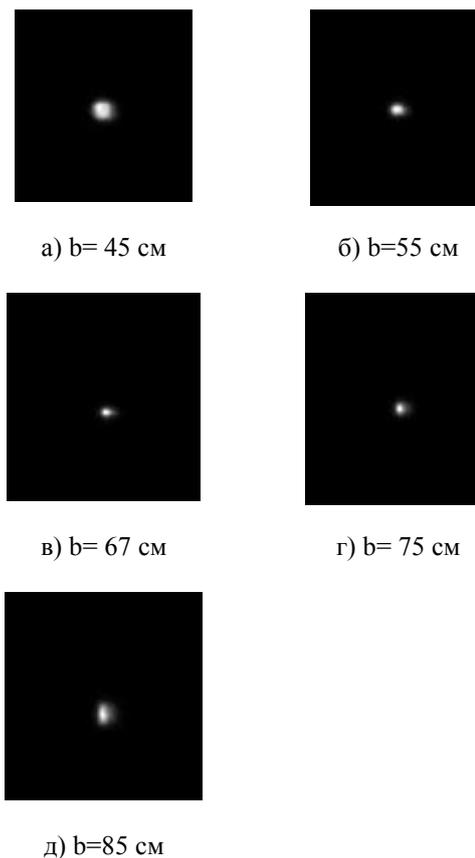


Рисунок 3 – Изображение рентгеновского пучка сформированного линзой на различных расстояниях b от линзы

1. Yury Dudchik. Design and Application of X-Ray Lens in the Form of Glass Capillary Filled by a Set of Concave Epoxy Microlenses // Optical Fiber Communications and Devices. Edited by: Moh. Yasin, Sulaiman W. Harun and Hamzah Arof (Ed.), ISBN: 978-953-307-954-7, Publisher: InTech, February 2012.- P.77-94.
2. Дудчик Ю.И. Рентгеновский микроскоп на основе короткофокусной многоэлементной преломляющей линзы // Вест. Белорус. гос. ун-та. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. - 2009.- №2– С. 38 - 43.