

Исследование протяженной области фокуса поликапиллярных линз

© А.А. Кумахов,¹ Н.С. Ибраимов,¹ Д.В. Зайцев,¹ А.М. Кумахов,² Д.И. Груев³

¹ Институт рентгеновской оптики,
143005 Одинцово, Московская область, Россия

² Кабардино-Балкарский государственный университет,
360004 Нальчик, Россия

³ Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики МГТУ МИРЭА,
125315 Москва, Россия

e-mail: alimkumakhov@gmail.com

(Поступило в Редакцию 25 октября 2013 г.)

В данной работе проводится исследование прохождения рентгеновских лучей через поликапиллярную линзу и формирование энергетической области рентгеновских лучей в фокальной области линзы, т.е. в пространстве за выходным сечением линзы.

Введение

Поликапиллярная оптика, основанная на явлении многократного полного внешнего отражения [1–4], находит многочисленные применения.

Особенностями поликапиллярной оптики являются возможность фокусировки излучения (линзы), создание квазипараллельных пучков (полулинзы), большой угол захвата излучения (до 0.2 rad) и т.д. [5,6]. Диапазон применения этой оптики достаточно широк (до 60 keV для рентгеновского излучения и тепловых нейтронов).

Особый интерес представляет область, в которой происходит фокусировка рентгеновского излучения. Настоящая работа посвящена исследованию этой области.

Описание экспериментальной установки

Установка создана с применением высокоточного механического и электронного оборудования фирмы Standa. Электронное оснащение и программное обеспечение, позволяющие автоматизированно управлять процессами измерения и обрабатывать экспериментальные данные для получения параметров оптических систем, созданы в ИРО.

Установка позволяет выполнять следующие функции:

- автоматизированное перемещение линзы по трем координатам X , Y и Z с минимальным шагом $1.25 \mu\text{m}$ (рис. 1),
- измерение интенсивности рентгеновского излучения,
- снятие спектра излучения,
- получение визуального изображения излучения,
- управление источником излучения (высокое напряжение, ток, магнитная фокусировка пучка электронов в рентгеновской трубке),
- анализ и представление на экране монитора компьютера необходимых параметров и изображений.

Установка предназначена для исследования рентгенооптических свойств и характеристик поликапиллярных систем [7].

Протяженная область фокуса поликапиллярных линз

В процессе исследования поликапиллярных линз была обнаружена интересная особенность. При оценке размера фокусного пятна оказалось, что область, в которой происходит фокусировка рентгеновского излучения, вытянута вдоль оптической оси линзы.

Эта область образована рентгеновскими лучами, претерпевшими многократные отражения в линзе и выходящими из ее торца. Размер такой протяженной области, в пределах которой поперечное сечение изменяется на небольшую величину (порядка $+20\%$ от размера сечения в фокусе), в проведенных экспериментах получался в основном от 5 до 15 mm вдоль оптической

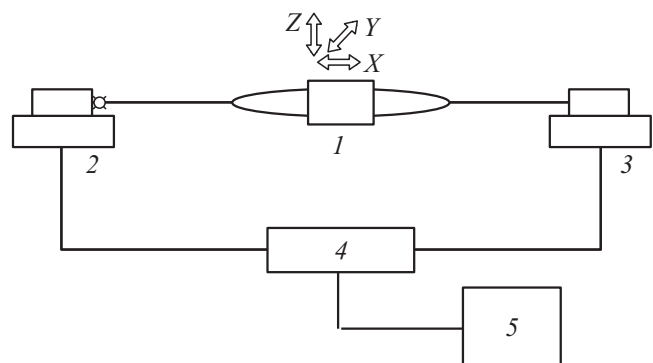


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — трехкоординатный гониометр с линзой, 2 — источник рентгеновского излучения, 3 — блок детектирования. Предусмотрена возможность замены детектора рентгеновского излучения (пропорциональный счетчик, сцинтилляционный детектор и полупроводниковый детектор), а также установки системы визуализации. 4 — контроллер, 5 — PC.

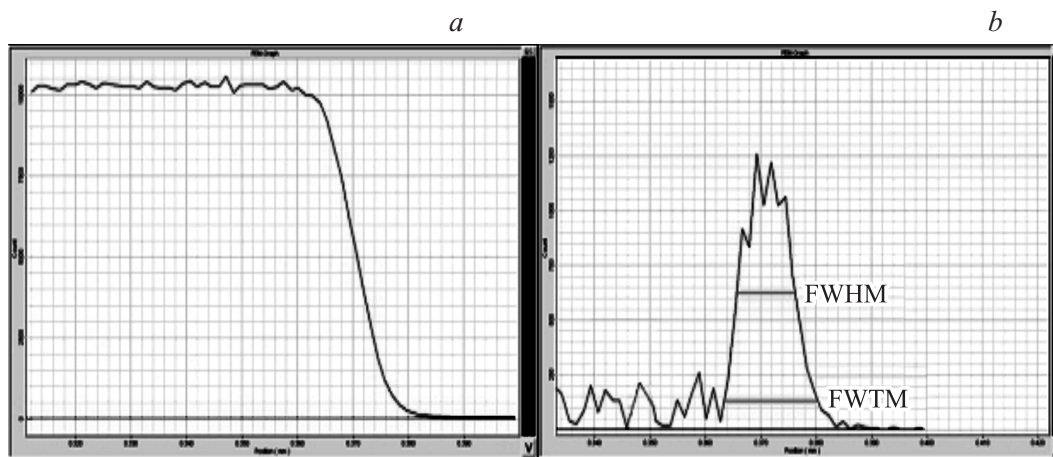


Рис. 2. Результат сканирования рентгеновского излучения ножом (а), результат дифференцирования (б).

оси. Размер области зависит от диаметра капилляров линзы, фокусного расстояния линзы, энергии излучения (критического угла), угла схождения лучей.

По существу наличие такой области дает возможность, используя лишь одну поликапиллярную линзу, проводить эксперименты по схеме параллельного пучка, если расходимость реального пучка не превосходит критических для данного эксперимента величин (т.е. в рамках эксперимента можно считать такой пучок квазипараллельным), а также в сходящихся, расходящихся и сфокусированных в точку (пятно) рентгеновских лучей.

Исследование протяженного фокуса

Проведено комплексное исследование десяти поликапиллярных линз. Первоначально линзу устанавливали в положение, соответствующее максимальному счету. Затем производили измерение размера фокусного пятна линзы. Измерение диаметра фокусного пятна на выходе линзы производили ножом путем перекрытия выходящего из линзы пучка рентгеновского излучения. На основании измерений строили графики распределения интенсивностей на разных расстояниях от выхода линзы и сравнивали между собой по какому-либо критерию. Как правило, такие графики имеют колоколообразную (рис. 2, б) форму, а критерием оценки является FWHM (Full Width Half Maximum) или реже FWTM (Full Width Tenth Maximum). Дистанцию, на которой достигается минимальный размер FWHM (FWTM), принимали за фокусное расстояние.

На рис. 3 представлена зависимость размера фокусного пятна линзы от фокусного расстояния.

Как можно видеть из рис. 3, данная протяженная область на самом деле имеет минимальный размер пучка в определенной точке, находящейся на оптической оси, но при этом на некотором участке размеры пучка незначительно отклоняются от минимального значения.

Результаты экспериментального исследования протяженной области поликапиллярных линз подтверждаются результатами моделирования (таблица).

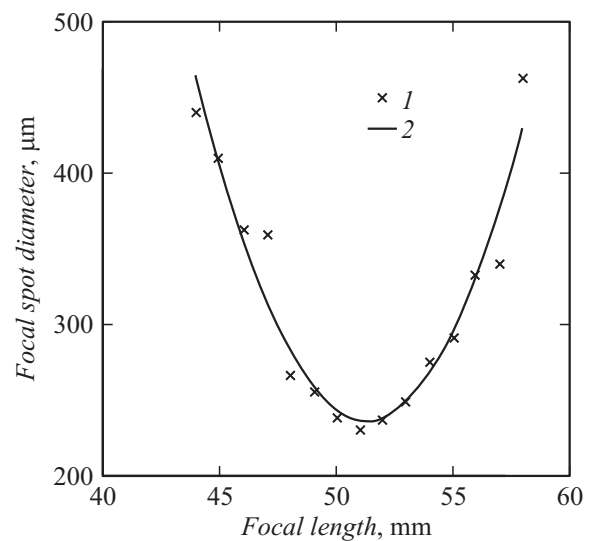


Рис. 3. Зависимость протяженной области от фокусного расстояния, 1 — эксперимент, 2 — наилучшее приближение.

Сравнение эксперимента с результатами моделирования

Линза	Эксперимент, mm	Моделирование, mm
1	8	7.6
2	10	11
3	5	4.5
4	6	6.1
5	6	5.5
6	1	1.2
7	20	22
8	12	11.7
9	3	2.7
10	7	7.6

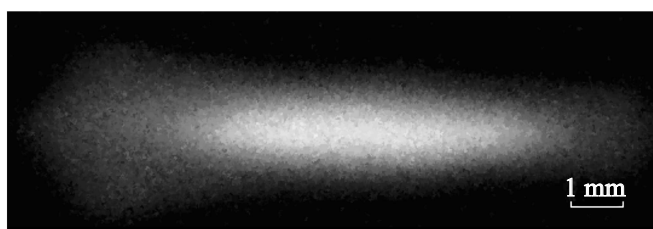


Рис. 4. Визуальное изображение протяженной области фокуса.

С помощью гониометрического устройства, удалось визуализировать протяженную область фокусного пятна.

Установив на гониометрическое устройство визуализатор, добивались такого положения, чтобы пучок рентгеновского излучения, выходящий из линзы, был почти параллелен торцу визуализатора и скользил по нему. Для этого визуализатор поворачивался относительно оптической оси, с одновременной подстройкой системы „рентгеновский источник–линза“ добивались скольжения пучка по окну визуализатора. В результате протяженную область удалось визуализировать (рис. 4).

Высокая контрастность центральной части наглядно показывает наличие протяженной области в фокусном пятне. Такой же результат был получен с использованием сцинтилляционного детектора. Эти результаты были получены следующим образом. С помощью целевого устройства размером $50\ \mu\text{m}$ сканировали участок вдоль оптической оси линзы с шагом $1\ \text{mm}$. Было установлено, что на некотором (параллельном) участке интенсивность рентгеновского излучения, выходящего из линзы, практически не меняется, тогда как интенсивность излучения на участках сходящегося и расходящегося пучков заметно ниже.

Заключение

Область, в которой происходит фокусировка рентгеновского излучения, имеет некоторое протяжение вдоль оптической оси линзы. При этом размер этой области практически не меняется на всем протяжении, что позволяет предположить, что лучи, на данном участке распространяются квазипараллельно. Данную особенность можно использовать для построения дифракционной схемы параллельного пучка и микродифракции на протяженной области.

Список литературы

- [1] Kumakhov M.A. // Nucl. Instr. Meth. 1990. Vol. 48. N 1–4. P. 283–286.
- [2] Kumakhov M.A., Komarov F.F. // Phys. Reports. A. Rev. Section Phys. Lett. 1990. Vol. 191. N 5. Amsterdam: North-Holland.
- [3] Kumakhov M.A. // Opt. Beams. 1993. P. 3–17.
- [4] Kumakhov M.A., Sharov V.A. // Opt. Beams. 1993. P. 52–59.

- [5] Arkadiev V.A., Gruev D.I., Kumakhov M.A. // Opt. Beams. 1993. P. 27–32.
- [6] Borisov G.I., Kumakhov M.A. // Nucl. Instr. Meth. 2004. Vol. A529. N 1–3. P. 129–133.
- [7] Кумахов А.А., Дмитриев И.В. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 6. С. 85–87.