

УДК 535.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТЯЖЕННОЙ ОБЛАСТИ ФОКУСА ПОЛИКАПИЛЛЯРНОЙ ЛИНЗЫ В ОСНОВНЫХ СХЕМАХ ДИФРАКТОМЕТРИИ

Кумахов А.М., Тешев Р.Ш., Кумахов А.А.

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»,
Нальчик, e-mail: bsk@kbsu.ru

Настоящая статья посвящена исследованию прохождения рентгеновских лучей через поликапиллярную линзу. Полученные результаты свидетельствуют о наличии энергетической области рентгеновских лучей в области фокусного пятна линзы, т.е. в пространстве за выходным сечением линзы, а также показана уникальная возможность использования одной рентгеновской линзы для построения сразу трех основных рентгенооптических схем дифрактометрических съемок: съемки в сходящемся пучке производились на монокристалле Si (004), рефлексии, на параллельном участке протяженного фокуса линзы получены для NaCl, а возможность работы на расходящемся пучке проверялась на поликристалле Pb. Все три рентгенооптические схемы съемок впервые совмещены в одном рентгеновском дифрактометре, в результате чего достигнута возможность проведения на одной установке экспериментов по микродифракции и по брэгговской дифракции, а также экспериментов по схеме параллельного первичного пучка. Дифрактограммы, полученные предлагаемым методом, находятся в хорошем согласии с результатами исследования на дифрактометрах, работающих в отдельности на расходящемся, сходящемся и в параллельном пучке.

Ключевые слова: излучение, поликапиллярная оптика, угол захвата, фокус, протяженная область, линза, пучок

THE USE OF AN EXTENDED DOMAIN OF THE FOCUS LENS IN THE MAIN POLYCAPILLARY DIFFRACTOMETR'S SCHEMES

Kumakhov A.M., Teshev R.Sh., Kumakhov A.A.

Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, e-mail: bsk@kbsu.ru

The following article is devoted to investigation of the X-ray passage through a polycapillary lens. Results, that were obtained are evidenced about existence of X-ray energies area in the focal area of the lens (i.e., in the space behind the output cross section of the lens). Also this article shows unique possibility of using single lens to create three basic geometric schemes: surveys on convergent beam were shown on monocrystal Si (004), reflexions on parallel area of extensive focal area of the lens were shown on NaCl, and possibility of using divergent beam was shown on polycrystal Pb. All three basic geometric schemes were combined on single diffractometer for the first time. As a result possibility of using single device for experiments of microdiffraction, bragg's diffraction and experiments for scheme of parallel beam was achieved. Diffractograms, that were achieved by using single polycapillary lens have a good correlations with diffractograms that were given by using all three basic geometric schemes separated.

Keywords: radiation, polycapillary optics, angle of capture, focus, extended focal area, lens, beam

Поликапиллярная оптика, основанная на явлении многократного полного внешнего отражения [3, 5–7], находит многочисленные применения. Особенности поликапиллярной оптики являются возможность фокусировки излучения (линзы), создание квазипараллельных пучков (полулинзы), большой угол захвата излучения (до 0,2 радиан) [1, 2]. Энергетический диапазон применения этой оптики достаточно широк (до 60 кэВ для рентгеновского излучения и тепловых нейтронов). Особый интерес представляет область, в которой происходит фокусировка рентгеновского излучения. Данная статья посвящена исследованию этой области. Исследования показали, что поликапиллярные линзы фокусируют рентгеновское излучение не в точку, а в протяженную квазипараллельную область, вытянутую вдоль оптической оси. Показано, что данную область можно использовать

для получения схемы параллельного пучка рентгеновского излучения.

Описание экспериментальной установки

Установка, созданная с применением высокоточного механического и электронного оборудования фирмы Standa, предназначена для исследования рентгенооптических свойств и характеристик поликапиллярных систем. Установка позволяет выполнять следующие функции: автоматизированное перемещение линзы по трем координатам X , Y и Z с минимальным шагом 1,25 мкм; 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.

Исследование протяженного фокуса

Комплексное исследование ряда поликапиллярных линз показало, что наличие протяженной области дает возможность, используя лишь одну поликапиллярную линзу, проводить эксперименты по схеме параллельного пучка, а также в сходящихся, расходящихся и сфокусированных в точку (пятно) рентгеновских лучей. Исследования размера фокусного пятна линзы на выходе линзы производились путем перекрытия выходящего из линзы пучка рентгеновского излучения ножом. На основании измерений строились графики распределения интенсивностей на разных расстояниях от выхода линзы и сравнивались между собой по какому-либо критерию. Как правило, такие графики имеют колоколообразную форму (рис. 1, б), а критерием оценки является FWHM (Full Width Half Maximum) или – реже – FWTM (Full Width Tenth Maximum). Дистанция, на которой достигается минимальный размер FWHM (FWTM), принима-

ется за фокусное расстояние. Данная область образована рентгеновскими лучами, претерпевшими многократные отражения в линзе и выходящими из её торца. Размер такой протяженной области, в пределах которой поперечное сечение изменяется на небольшую величину (порядка +20% от размера сечения в фокусе), в проведенных экспериментах составляет в основном 5–15 мм вдоль оптической оси. Размер области зависит от диаметра капилляров линзы, фокусного расстояния линзы, энергии излучения (критического угла), угла схождения лучей.

Визуализация протяженной области фокусного пятна производилась с помощью визуализатора, установленного на гониометре. 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. 2).

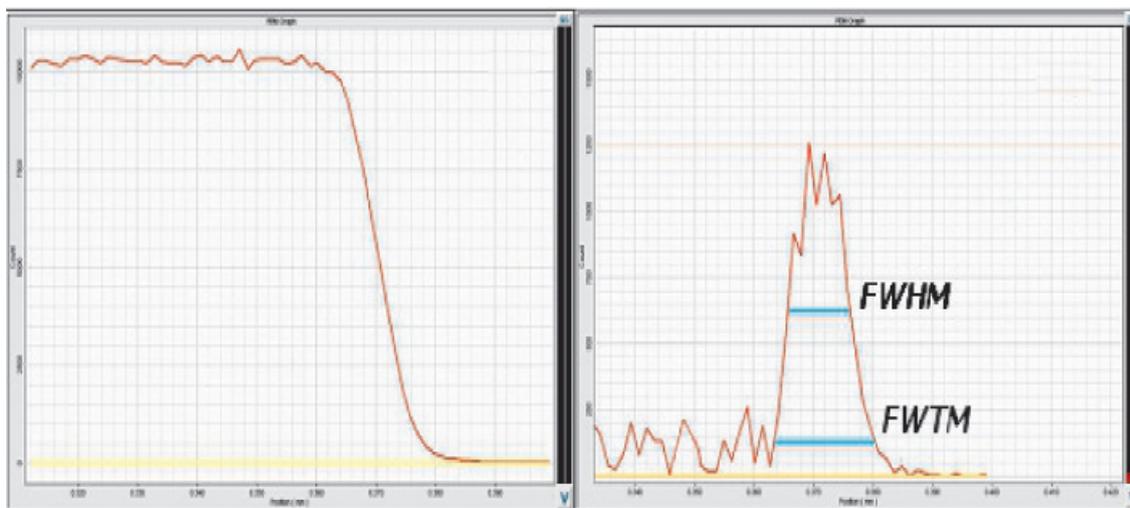


Рис. 1. Распределение интенсивности излучения в протяженной области

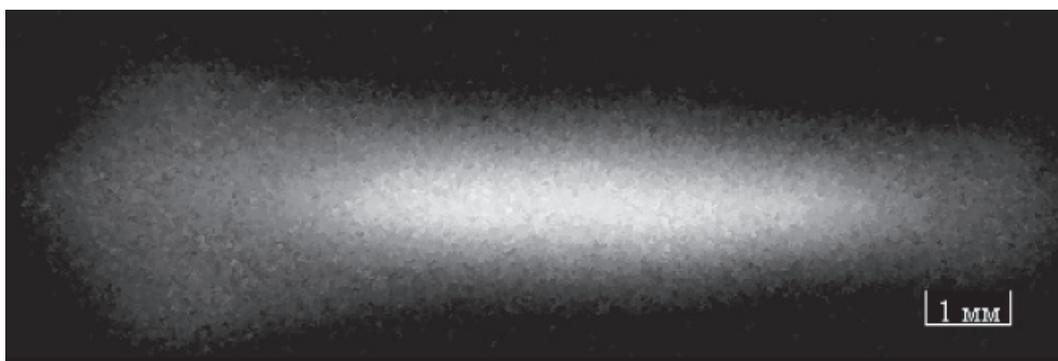


Рис. 2. Визуальное изображение протяженной области

Высокая контрастность центральной части рисунка наглядно показывает наличие протяженной области в фокусном пятне. Такой же результат был получен с использованием сцинтилляционного детектора. Измерения проводились следующим образом. С помощью щелевого устройства размером 50 мкм проводилось сканирование участка вдоль оптической оси линзы с шагом 1 мм. 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.

Полученные результаты натолкнули на идею о возможности использования поликапиллярной линзы в дифракционной схеме параллельного пучка. Для реализации данной идеи на базе гониометрического устройства с возможностью вращения образца для снятия дифрактограмм вращения был создан экспериментальный стенд. Особенностью стенда является возможность совместного перемещения рентгеновского источника и поликапиллярной линзы вдоль оптической оси.

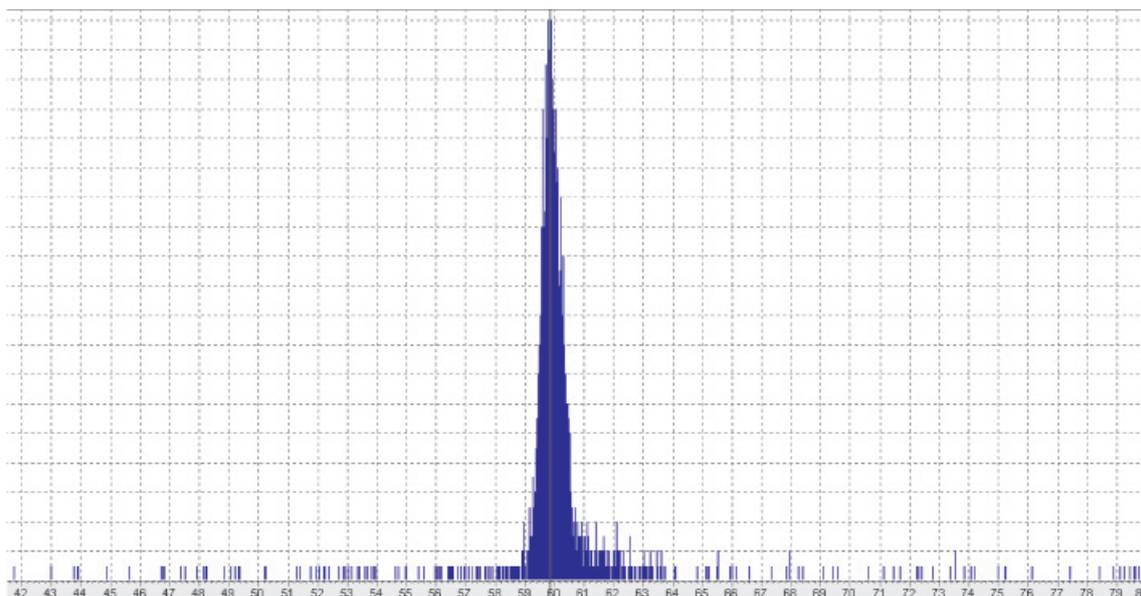


Рис. 3. Съемка монокристалла Si на сходящемся пучке

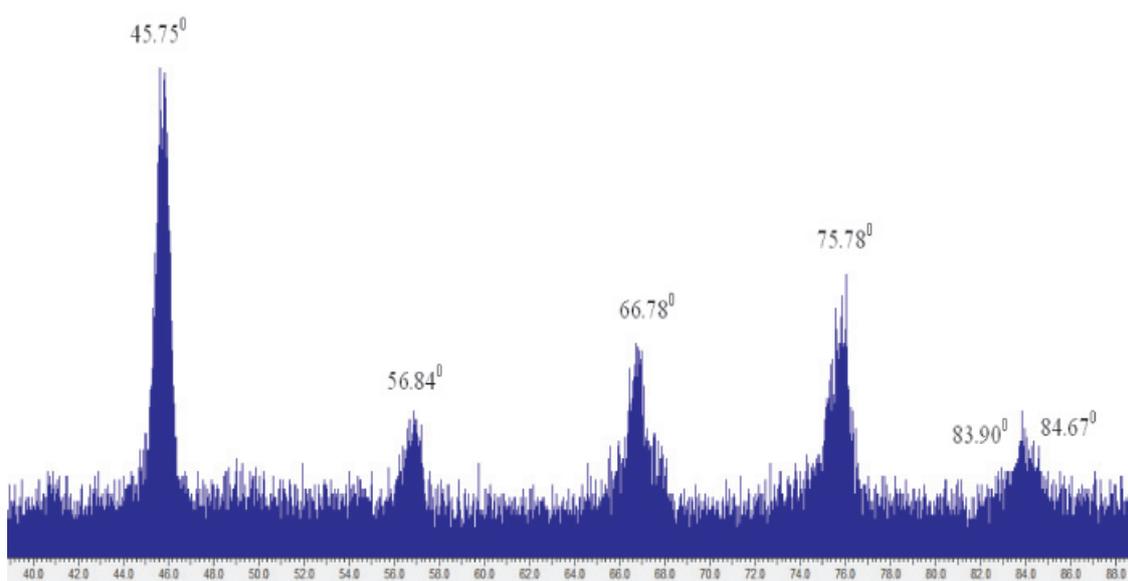


Рис. 4. Съемка NaCl на протяженном участке

Съемка дифрактограмм производилась с использованием трех основных схем: сходящийся пучок, параллельный пучок (метод Дебая – Шеррера) и расходящийся пучок (метод Брэгга – Brentано). Зная величину протяженной области фокусного пятна поликапиллярной линзы, перемещая систему «рентгеновский источник – линза» вдоль оптической оси, определились дифракционные рефлексы любого из трех методов, в том числе и реализации микродифракции. Дифракция рентгеновских лучей на сходящемся пучке (рис. 3) реализована на монокристалле Si (004).

На рис. 4 представлены спектры, полученные на протяженном участке фокуса поликапиллярной линзы.

Углы на пиках указаны в градусах по 2θ . Сравнивая полученные значения углов дифракции с табличными значениями, приходим к выводу о том, что исследуемые образцы представляют собой поликристаллы Al_2O_3 и Pb.

На рис. 5 представлена дифракционная картина, полученная на расходящемся пучке от поликристалла Pb. Съемка на расходящемся пучке производилась по схеме θ (образец) – 2θ (детектор), с использованием позиционно-чувствительного детектора, который в отличие от сцинтилляционного детектора обладает достаточно широким окном и необходимости в перемещении детектора нет. Результаты дифракционных картин, представленных на рисунках, наглядно доказывают возможность использования протяженной области фокуса поли-

капиллярной рентгеновской линзы в схемах параллельного пучка. Дифрактограммы, полученные предлагаемым методом, находятся в хорошем согласии с результатами исследования на дифрактометрах, работающих в отдельности на расходящемся, сходящемся и в параллельном пучках [4].

Реализация в рентгеновском комплексе (установке) различных рентгенооптических схем с помощью одной поликапиллярной линзы позволяет создать многофункциональный рентгеновский дифрактометрический комплекс для исследования ориентаций срезов монокристаллических пластин и качества их поверхности, фазового состава, структуры и упругих деформаций в твердых телах. На основе рентгеновского дифрактометра-компаратора предлагается создать опытный образец многофункционального рентгеновского дифрактометрического комплекса. Новый дифрактометр будет отличаться от всех мировых аналогов и предположительно будет состоять из двух блоков. Первый блок представляет собой рентгеновский источник на выходе полной рентгеновской поликапиллярной линзы в виде виртуальной области, содержащей три участка сформированного излучения: сходящийся конус, протяженная линейная область и расходящийся конус согласно рассмотренной выше схеме. Все эти участки расположены симметрично относительно рентгенооптической оси линзы. Конструкция этого блока позволяет за счет юстировки линзы относительно линейного

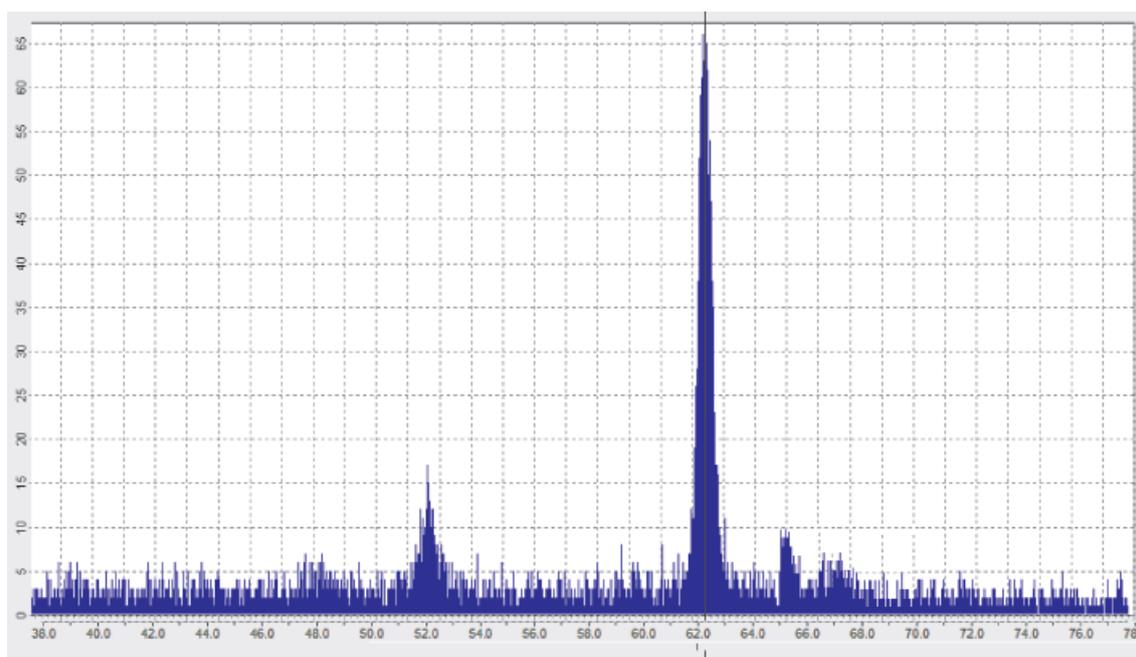


Рис. 5. Съемка Pb на расходящемся пучке

фокального пятна на аноде рентгеновской трубки получить на выходе линзы виртуальную, рассмотренную выше область. Второй блок представляет собой обычную гониометрическую систему с высоким угловым разрешением для реализации дифрактометрических схем Θ - Θ и Θ - 2Θ . В качестве детектирующих систем будут применяться позиционно-чувствительные детекторы – линейные и изогнутые, а также сцинтилляционные детекторы с большим объемом до 10^6 импульсов в секунду регистрации интерференционной картины дифракции.

Заключение

В результате проведенных исследований было обнаружено, что поликапиллярные линзы фокусируют рентгеновское излучение в некую протяженную область. При этом размер этой области практически не меняется на всем протяжении, отсюда можно сделать вывод о том, что лучи на данном участке распространяются квазипараллельно. Проведенными исследованиями показана возможность использования протяженности фокусного пятна поликапиллярной линзы в основных трёх рентгенооптических схемах дифрактометрических съёмки: съёмки в сходящемся пучке, съёмки в параллельном пучке и съёмки в расходящемся пучке. Все три рентгенооптические схемы съёмки впервые совмещены в одном рентгеновском дифрактометре, в результа-

те чего достигнута возможность проведения на одной установке экспериментов по микродифракции (метод Хирша – Келлара), и по брэгговской дифракции (метод Брегга – Brentano и его разновидность метод Зеемана – Болина), а также экспериментов по схеме параллельного первичного пучка. Дифрактограммы, полученные предлагаемым методом, находятся в хорошем согласии с результатами исследования на дифрактометрах, работающих в отдельности на расходящемся, сходящемся и в параллельном пучках (метод Дебая – Шеррера).

Список литературы

1. Даничев В.В., Болотоков А.А., Кумахов А.А. Количественный рентгенофлуоресцентный анализ содержания железа в песке // Известия ВУЗов Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – Ростов на/Д., 2008. – № 2. – С. 48–49.
2. Золотов Ю.А. Аналитическая химия: наука, приложение, люди. – М.: Наука. 2009. – 324 с.
3. Кумахов А.А., Кумахов А.М., Болотоков А.А. Распределение интенсивности излучения через микрокапиллярные линзы // Микро- и нанотехнологии в электронике: сб. ст. межд. научно-техн. конф. – Нальчик, 2009. – С. 2008.
4. Ibraimov N.S., Likhushina E.V., Mikhin O.V. Monocrystal diffractometer-comparator. // Proceedings of SPIE. – 2001. – Vol. 4765. – P. 202–206.
5. Kumakhov M.A., Komarov F.F. Multiple reflection from surface X-ray optics // Phys. Rep. – М., 1990. – № 5. – 289 p.
6. Kumakhov M.A. Channeling of photons and new X-ray optics // Nucl. Instrum Meth. Phys. Res. – 1990. – В 48. – P. 283–286.
7. Proceedings SPIE. X-ray and capillary optics. Editor M.A. Kumakhov. – М., 2001. – Vol. 4765.