

РЕНТГЕНОВСКИЙ МИКРОСКОП С КОРОТКОФОКУСНЫМ
ОБЪЕКТИВОМ И ПЗС- КАМЕРОЙ ВЫСОКОГО
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯЮ.И. ДУДЧИК
«НИИ ПФП им. А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Беларусь

Рентгеновская микроскопия является уникальным методом неразрушающего контроля, позволяющим получать информацию о внутренней структуре объектов на микронном и субмикронных уровнях. Простейший рентгеновский микроскоп состоит из микрофокусной рентгеновской трубки и рентгеновской камеры, между которыми располагается объект для исследования. Разрешающая способность микроскопа ограничена размером источника излучения и, как правило, не превышает 1-5 микрон. Улучшить разрешающую способность микроскопа можно за счет использования элементов изображающей оптики, к числу которых относятся многоэлементные преломляющие рентгеновские линзы.

В НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ разработана многоэлементная преломляющая линза для рентгеновских лучей и исследованы ее рентгенооптические характеристики [1-3]. Линза состоит из большого числа (100-300) двояковогнутых эпоксидных микролинз, которые сформированы в стеклянном капилляре: радиус кривизны отдельной микролинзы совпадает с радиусом канала капилляра и может быть выбран из интервала от 10 до 400 мкм, как это описано в [1, 3]. Линза является элементом изображающей рентгеновской оптики, и была использована в качестве объектива рентгеновского микроскопа [3].

Целью данного сообщения является описание результатов исследования характеристик рентгеновского микроскопа, в котором в качестве объектива использовалась преломляющая рентгеновская линза с уменьшенным значением фокусного расстояния.

Фотография микроскопа показана на рис. 1 (а). Микроскоп состоит из рентгеновской трубки с медным анодом 1, преломляющей рентгеновской линзы 2, рентгеновской камеры для регистрации изображения объекта 3. Линза закреплена в гониометре 5. Объект исследования закреплён в держателе 4 и располагается между источником излучения и линзой. Положение объекта и камеры относительно линзы определяется с помощью известной из оптики видимого излучения формулы линзы:

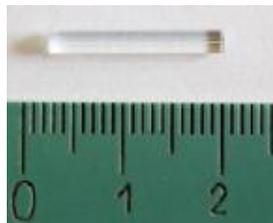
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \quad (1)$$

где a – расстояние от источника излучения до линзы; b – от линзы до камеры; f – фокусное расстояние линзы.

Микроскоп работает следующим образом. Рентгеновские лучи от рентгеновской трубки проходят через объект, где испытывают рассеяние и поглощение. Рассеянные лучи от каждой точки на плоскости объекта фокусируются линзой в соответствующую точку на плоскости изображения, где располагается рентгеновская камера, и формируют изображение объекта.



а)



б)

Рис. 1. Фотографии: а) рентгеновского микроскопа; б) преломляющей рентгеновской линзы

Рентгеночувствительный экран камеры состоит из пикселей, каждый из которых имеет линейный размер S . Имеется однозначное соответствие между размером пикселя S и размером области S_1 на плоскости объекта, излучение из которой попадает в заданный пиксель. Это соотношение легко определяется из формулы линзы. Если размер пикселя составляет, например, 10 мкм, то располагая объект на расстоянии от линзы, равном $1,1f$, а камеру – в соответствии с формулой линзы – на расстоянии $10f$ от линзы, можно получить увеличенное примерно в 10 раз изображение объекта, что соответствует пространственному разрешению системы на уровне в 1 мкм. Таким образом, можно достичь микронного и субмикронного разрешения при визуализации объектов. При этом в качестве источника излучения нет необходимости использовать точечный.

В качестве объектива микроскопа использовалась линза с фокусным расстоянием f равным 41 мм для фотонов с энергией 8 кэВ. Линза состоит из 161 двояковогнутой эпоксидной микролинзы с радиусом кривизны 50 мкм каждая. Фотография линзы показана на рис. 1 (б). В качестве источника излучения использовалась рентгеновская трубка БСВ-17 с медным анодом. Рабочее напряжение на аноде трубки – 20 кВ, анодный ток – 14 мА. Энергия фотонов характеристического излучения меди равна 8 кэВ. В качестве рентгеновской камеры для регистрации изображения

объекта использовалась ПЗС камера фирмы Photonic Science (модель FDI VHR). Камера содержит ПЗС- матрицу, к которой присоединена волоконно-оптическая шайба с нанесенным сцинтиллятором. Размер рабочей области рентгеновской камеры составляет 18 x 12 мм, число пикселей равно 4008 x 2670. Размер одного пикселя на входе камеры равен 4,5 мкм. Толщина сцинтиллятора оптимизирована для фотонов с энергией в диапазоне от 5 до 35 кэВ. В качестве тестового объекта была выбрана золотая сетка №1000. Проволоки сетки имеют толщину 5 мкм, расстояние между проволоками равно 20,4 мкм.

На рис. 2 показано изображения сетки №1000 полученные с использованием описанного микроскопа при увеличении, равном 9,8.



Рис. 2. Изображение золотой сетки № 1000, полученное с помощью микроскопа: а) экспозиция 1 мин; б) экспозиция 10 мин

Проведенный анализ изображения сетки №1000 показал, что разрешающая способность микроскопа составляет около 3-4 мкм, поле зрения около 200 мкм. Увеличение разрешающей способности может быть достигнуто за счет монохроматизации излучения.

Работа выполнена в рамках задания 46 ГКПНИ “Техническая диагностика” и при поддержке БРФФИ (проект №Ф09МС-024).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Dudchik Yu.I.**, Kolchevsky N.N. A microcapillary lens for X-rays// Nucl.Instr.Meth. – V. 421(A). – 1999. – P. 361-363.
2. Dudchik Yu.I., Kolchevsky N.N., Komarov F.F., Piestrup M.A., Cremer J.T., Gary C.K. Park H., Khounsary A.M. Microspot X-ray focusing using short-focal length compound lenses// Rev.Sci.Instr. – V. 75(11). – 2004. – P. 4651-4655.
3. **Dudchik Yu.I.**, Komarov F.F., Piestrup M.A., Gary C.K., Park H., Cremer J.T. Using of a microcapillary refractive X-ray lens for focusing and imaging // Spectrochimica Acta. – Vol. 62 (B). – 2007. – P. 598–602.

E-mail: dudchik@bsu.by