

УДК 539.216, 535.317.61-34
ПОЛУЧЕНИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО КВАЗИПАРАЛЛЕЛЬНОГО
РЕНТГЕНОВСКОГО МИКРОПУЧКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕЛОМЛЯЮЩЕЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ОПТИКИ

Ю. И. ДУДЧИК
НИУ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ им. А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Беларусь

Для контроля напряженного состояния деталей широко используется метод дифракции рентгеновских лучей, который позволяет определить механические напряжения по деформациям кристаллической решетки в приповерхностном слое материала. Точность метода существенно зависит от степени монохроматичности исходного рентгеновского пучка и от его расходимости. Как правило, монохроматизация рентгеновского пучка осуществляется с использованием кристаллов монохроматоров, однако при этом пучок существенно ослабляется.

В НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ разработан новый элемент рентгеновской оптики – многоэлементная преломляющая линза, который фактически идеально подходит для решения задачи по формированию квазипараллельного рентгеновского пучка от точечного источника излучения [1, 2].

Линза выполнена в виде стеклянного капилляра, в котором сформировано от 100 до 300 двояковогнутых сферических эпоксидных микролинз с радиусом кривизны равным радиусу канала капилляра (50–100 мкм). Фокусное расстояние разработанных линз составляет около 4 см для фотонов с энергией 8 кэВ и 10–20 см для фотонов с энергией 18 кэВ.

Преломляющая рентгеновская линза является аналогом преломляющей линзы для видимого излучения и позволяет получать изображения источников излучения и объектов в рентгеновских лучах: если источник расположить на расстоянии a от линзы, то изображение источника будет находиться на расстоянии b от линзы, где a и b удовлетворяют формуле линзы:

$$1/a + 1/b = 1/f$$

где f – фокусное расстояние преломляющей рентгеновской линзы. Если в качестве источника излучения использовать точечный источник излучения и расположить его в фокальной плоскости линзы ($a=f$), то линза сформирует плоскопараллельный пучок. Для случая, если источник имеет размеры s , то расходимость пучка $\Delta\theta$ будет определяться как $\Delta\theta = s/f$.

На рис. 1 показана структурная схема устройства для получения монохроматического рентгеновского микропучка, которое содержит микрофокусную рентгеновскую трубку 1, преломляющую рентгеновскую линзу 2 и

кристалл монохроматор 3. Траектории рентгеновских лучей, распространяющихся в системе, показаны позицией 4.

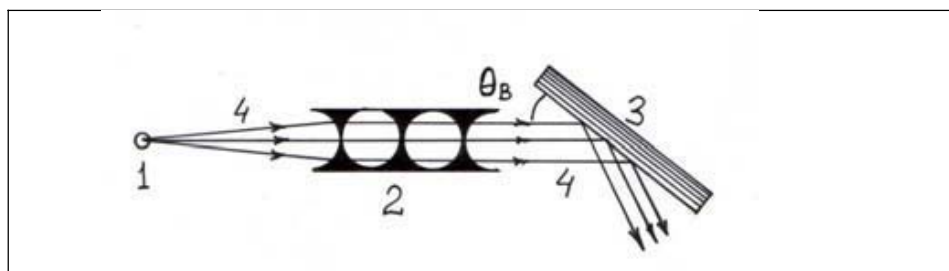


Рис. 1. Устройство для получения монохроматического рентгеновского микропучка

На рис. 2 показано реализованное устройство для формирования квазипараллельного рентгеновского пучка. Устройство содержит: 1 – микрофокусный рентгеновский излучатель РЕИС-25, оснащенный рентгеновской трубкой с медным анодом; 2 – многоэлементную преломляющую рентгеновскую линзу в держателе; 3 – зеркало монохроматор в виде монокристаллической пластины кремния, 4 – цифровую рентгеновскую камеру фирмы "Photonic Science". Линза размещена в гониометре 5, зеркало-монохроматор 3 размещено в держателе 6, допускающем вращательное движение вокруг вертикальной оси.

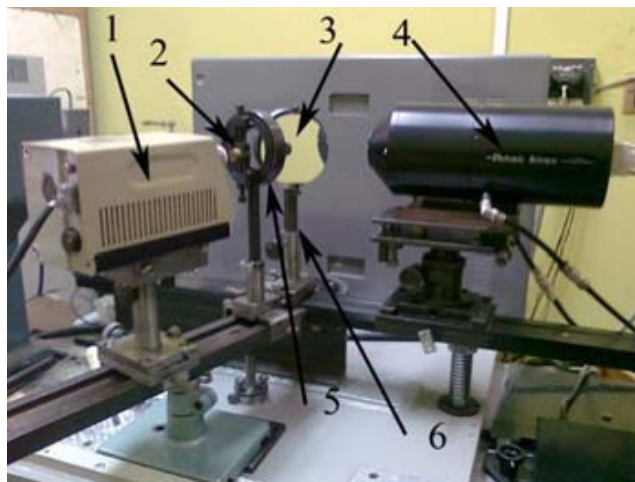


Рис. 2. Фотография устройства для формирования квазипараллельного рентгеновского пучка

В качестве рентгеновской линзы использована многоэлементная преломляющая рентгеновская линза, разработанная в НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ [1, 2]. Линза представляет собой стеклянный микрокапилляр, внутри которого сформирована 161 двояковогнутая эпоксидная микролинза с радиусом кривизны 50 мкм каждая. Длина линзы равна 18 мм. Фокусное расстояние линзы равно 41 мм для фотонов с энергией 8 кэВ.

Были проведены исследования по определению размера рентгеновского пучка, сформированного системой, и его интенсивности. В качестве кристалла монохроматора использовалась монокристаллическая пластинка кремния ориентации (100), угол Брэгга равен $34,54^{\circ}$ для фотонов с энергией 8 кэВ. Рабочее напряжение рентгеновского аппарата было выбрано равным 20 кВ, анодный ток – 100 мкА. Согласно паспортным данным, размер фокального пятна рентгеновской трубки аппарата РЕИС 25 составляет 100 мкм. Экспозиция при съемке рентгеновского пучка составила 30 с. Получено изображение поперечного сечения рентгеновского пучка на различных расстояниях от зеркала монохроматора. Размер пучка на расстоянии 70 мм от зеркала монохроматора составляет около 200 мкм. Расчеты показали, что интенсивность рентгеновского пучка составляет около $4,6 \cdot 10^3$ фот./с.

Интенсивность пучка может быть увеличена, если в качестве источника излучения использовать рентгеновскую микрофокусную трубку фирмы Hamamatsu модель L8301. Трубка имеет следующие параметры: медный анод, размер фокусного пятна 1 микромметр, максимально возможный анодный ток при напряжении 40 кВ составляет 170 мкА.

При указанных выше параметрах рентгеновской трубки и линзы, интенсивность монохроматического рентгеновского пучка составляет $4,2 \cdot 10^4$ фот./с. Интенсивность является относительно высокой и достаточной для целого ряда практических приложений.

Таким образом, в результате реализации устройства с использованием микрофокусной рентгеновской трубки фирмы Hamamatsu (модель L8301), принципиально возможно получение рентгеновского пучка размером в несколько десятков микромметров и достаточно высокой интенсивности.

Работа выполнена в рамках задания 5.4.21 ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудчик, Ю. И. Многоэлементная сферическая преломляющая линза для формирования микро- и наноразмерных пучков рентгеновского излучения / Ю. И. Дудчик // Вест. Белорус. гос. ун-та. Сер. 1. Физика. Математика. Информатика. – 2008. – № 2. – С. 26–30.

2. Dudchik, Yury. Design and Application of X-Ray Lens in the Form of Glass Capillary Filled by a Set of Concave Epoxy Microlenses / Yury, Dudchik // 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. pp.77–94.

E-mail: dudchik@bsu.by