

Методика измерения источников рентгеновского и нейтронного излучения с помощью поликапиллярной оптики

© А.А. Кумахов, И.В. Дмитриев

Институт рентгеновской оптики,
125315 Москва, Россия
e-mail: alimkumakhov@gmail.com, igordmitrie@yandex.ru

(Поступило в Редакцию 8 июня 2010 г. В окончательной редакции 19 октября 2010 г.)

Описан новый метод измерения размера анода рентгеновских источников. Метод позволяет не только измерять размер анодного пятна, но также получать трехмерное распределение интенсивности в аноде. Точность измерения размера анодного пятна определяется размером фокусного пятна рентгеновской поликапиллярной линзы.

Введение

В последние годы интерес к рентгеновской и нейтронной оптике возрос в связи с необходимостью исследования наноматериалов, тонких подложек, многослойных структур и т.п. Поликапиллярная оптика Кумахова, основанная на явлении многократного полного внешнего отражения [1–4], находит многочисленные применения, в том числе и для указанных выше задач.

Особенностями поликапиллярной оптики Кумахова являются возможность фокусировки излучения (линзы Кумахова), создание квазипараллельных пучков (полулинзы) для дифрактометрии, большой угол захвата излучения (до 0.2 rad) и т.д. [5–8]. Диапазон применения этой оптики достаточно широк (до 60 keV для рентгеновского излучения и тепловых нейтронов). Благодаря этим свойствам поликапиллярная оптика уже используется в тысячах приборов по всему миру. Эта оптика используется в аналитических приборах — дифрактометрах, флуоресцентных спектрометрах, рефлектометрах, приборах с малоугловым рассеянием и т.д. [9].

Для решения каждой конкретной задачи необходимо оптимальное сочетание источника излучения (рентгеновской трубки, нейтронного генератора и т.д.) и оптической системы (линзы, полулинзы). Одним из важнейших параметров является размер излучающего пятна.

На сегодняшний день существует довольно много методов определения размера анодного пятна рентгеновских трубок: метод сканирования (scanning method) [10], метод „пинхола“ (pinhole camera radiographic method) [11,12], метод „острой кромки“ (edge method) [13], метод сеток [11–15].

В данной статье предложен новый метод измерения источников рентгеновского и нейтронного излучения на основе поликапиллярной оптики. Ниже приводится описание установки, на которой проводились измерения анодных пятен рентгеновских трубок, описание методики и результаты исследования.

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 институте рентгеновской оптики (ИРО).

Установка (рис. 1) позволяет выполнять следующие функции:

- автоматизированное перемещение линзы по трем координатам x , y и z с минимальным шагом $1.25 \text{ }\mu\text{m}$;
- измерение интенсивности рентгеновского излучения;
- снятие спектра излучения;
- получение визуального изображения излучения;
- управление источником излучения (высокое напряжение, ток, магнитная фокусировка пучка электронов в рентгеновской трубке);

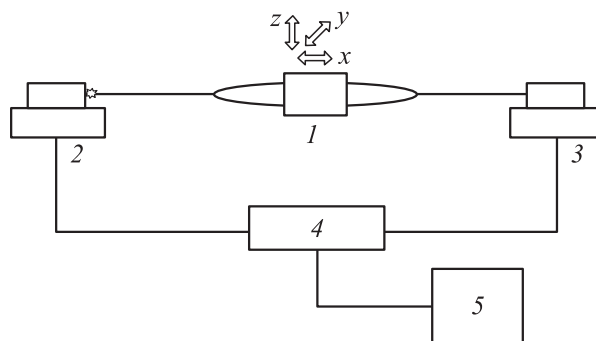


Рис. 1. 1 — трехкоординатный гониометр с линзой; 2 — источник рентгеновского излучения; 3 — блок детектирования; предусмотрена возможность замены детектора рентгеновского излучения (пропорциональный счетчик, сцинтилляционный детектор и полупроводниковый детектор), а также установки системы визуализации; 4 — контроллер; 5 — персональный компьютер.

— анализ и представление на экране монитора компьютера необходимых параметров и изображений.

Управление системой осуществляется специализированной программой, созданной в ИРО.

Измерение анодного пятна рентгеновских трубок

Метод измерения анодного пятна рентгеновских трубок заключается в следующем. Линза ориентируется на источник по максимуму интенсивности, после этого производится сканирование анодного пятна по двум координатам y и z . При этом в каждой точке детектор измеряет интенсивность излучения, вышедшего из линзы. Размер анодного пятна определяется шириной на полувысоте (FWHM) полученного результата сканирования за вычетом диаметра фокусного пятна линзы, для этого необходимо точно знать размер фокусного пятна линзы.

На рис. 2 представлен результат сканирования анода стандартной рентгеновской трубки БС-11 с магнитной фокусировкой.

Из рисунка находим значение FWHM — $60\ \mu\text{m}$. Поскольку размер фокусного пятна линзы равен $10\ \mu\text{m}$, то размер анодного пятна трубки — $50\ \mu\text{m}$.

На рис. 3 приведено трехмерное изображение результата сканирования.

На рис. 4 представлен результат измерения анодного пятна той же трубки, но уже методом ножа [13].

Время сканирования с помощью этих методов примерно одинаково, но метод ножа уступает в точности и наглядности (так как нет объемной картины).

На рис. 5 представлено трехмерное изображение анода трубки протрельного типа ТРМ-35, полученное при исследовании с помощью поликапиллярной линзы. Из рисунка видно, что в центре имеется пик — анодное

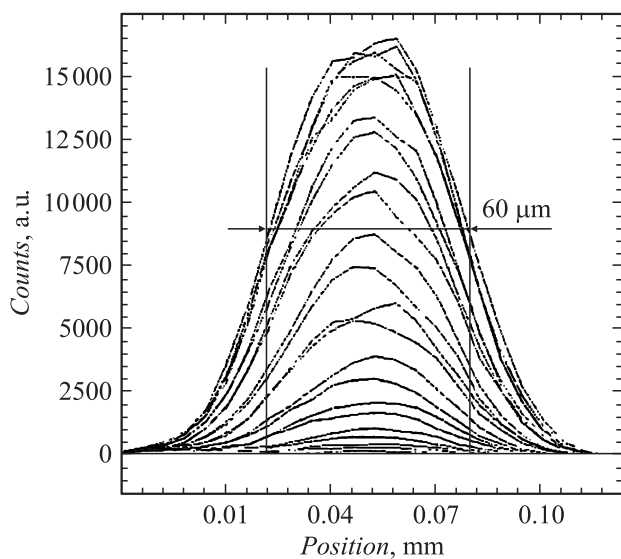


Рис. 2. Результат сканирования исследуемой трубки.

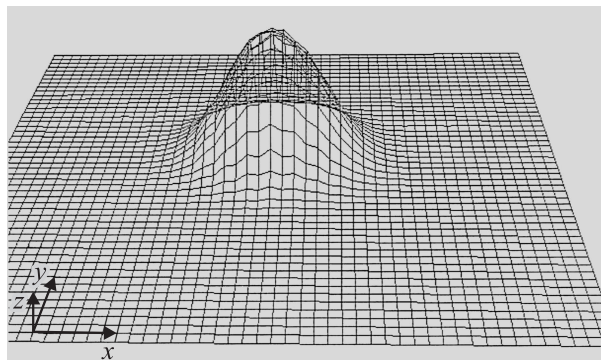


Рис. 3. Трехмерное изображение анодного пятна.

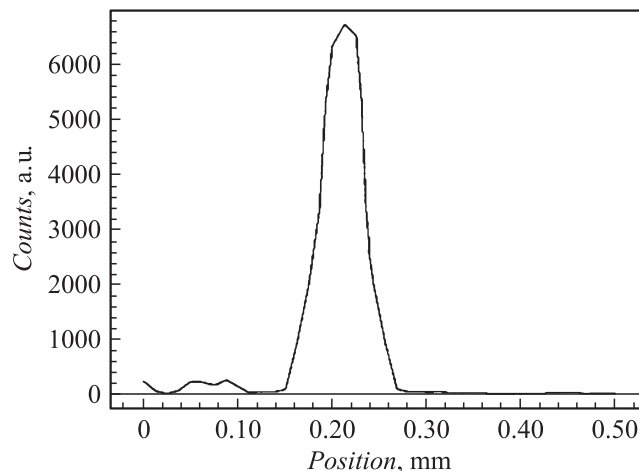


Рис. 4. Результат измерения анодного пятна трубки БС-11 методом ножа.

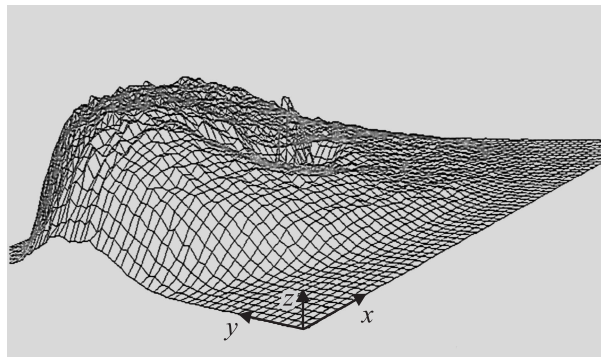


Рис. 5. Трехмерный вид анодного пятна рентгеновской трубки типа ТРМ-35.

пятно, диаметр которого на полувысоте равен $170\ \mu\text{m}$. При качественно изготовленной трубке вокруг этого пика ничего не должно быть (рис. 3). Однако на рис. 5 вокруг пика видна область, которая тоже излучает. Это означает, что предложенный нами метод позволил обнаружить дефект в конструкции данной рентгеновской трубки. Таким образом, возможность получения 3D-изо-

бражения дает гораздо больше информации о свойствах анода рентгеновской трубки.

Другие возможности

Также данным методом возможно измерение таких источников излучения, как плазменные источники рентгеновского излучения, лазерные источники рентгеновского излучения, источники рентгеновского излучения радиокативных изотопов.

Так как принцип работы и устройство линз Кумахова для рентгеновского и нейтронного излучения идентичны [3,8], то возможно измерение источников нейтронов.

Выводы

Принципиальным отличием данной методики от других перечисленных выше методов является простота эксплуатации, высокая точность измерений (точность тем выше, чем меньше размер фокусного пятна линзы), визуализация в трехмерном пространстве, надежность, наглядность и простота интерпретации результата.

Список литературы

- [1] *Kumakhov M.A.* // Nucl. Instrum. Meth. B. 1990. Vol. 48. P. 283–286.
- [2] *Kumakhov M.A., Komarov F.F.* // Phys. Rep. 1990. Vol. 191. N 5. P. 289–350.
- [3] *Kumakhov M.A.* // Optics of Beams. 1993. P. 3–17.
- [4] *Kumakhov M.A., Sharov V.A.* // Optics of Beams. 1993. P.52–59.
- [5] *Borisov G.I., Eemak M.A., Zhmylev S.I.* et al. // Proc. SPIE. 2001. Vol. 4765. P. 170–182.
- [6] *Kumakhov M.A.* // Proc. SPIE. 2004. Vol. 5943. P. 102–115.
- [7] *Arkadiev V.A., Gruev D.I., Kumakhov M.A.* // Optics of Beams. 1993. P. 27–32.
- [8] *Borisov G.I., Kumakhov M.A.* // Nucl. Instrum. Meth. A. 2004. Vol. 529. N 1–3. P. 129–133.
- [9] *Золотов Ю.А.* Аналитическая химия: наука, приложение, люди. М.: Наука, 2009. С. 64–68.
- [10] BS EN 12543 P1. Non-destructive testing-characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non destructive testing part 1: scanning method.
- [11] ГОСТ 22091.9-86 Приборы рентгеновские. Методы измерения размеров эффективного фокусного пятна.
- [12] ГОСТ Р МЭК 60336-99. Излучатели медицинские рентгенодиагностические. Характеристики фокусных пятен.
- [13] BS EN 12543 P4. Non-destructive testing-characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non destructive testing part 4: edge method.
- [14] BS 6932. Method for measurement of the effective focal spot size of mini-focus and micro-focus X-ray tubes used of industrial radiography.
- [15] BS EN 12543 P5. Non-destructive testing-characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-testing part 5: measurement of the effective focal spot size destructive of mini and micro focus X-ray tubes.