

07;12

Получение изображений рентгеновских микроисточников с применением высокоразрешающей увеличивающей оптики Кумахова

© А.Ю. Романов

Институт рентгеновской оптики, Москва
E-mail: androm2@yandex.ru

Поступило в Редакцию 10 июня 2004 г.

Развивается принципиально новое направление в рентгеновской микроскопии. Получены рентгеновские изображения микроисточника рентгеновского излучения — фокусного пятна микрофокусной рентгеновской трубки, с разрешением на уровне $1\ \mu\text{m}$. Рентгенооптическим элементом, дающим такие возможности, является высокоразрешающая конусообразная поликапиллярная структура Кумахова.

Проблема получения изображений самосветящихся объектов в рентгеновском диапазоне по-прежнему актуальна, что определяется совершенствованием как традиционных рентгеновских источников, таких как рентгеновская трубка, так и сравнительно новых, например, лазерно-плазменных источников. В [1,2] для определения размеров фокусного пятна рентгеновской трубки посредством получения его изображения использовалась цилиндрическая рентгенооптическая система оптики Кумахова. Однако для измерения размеров пятен микрофокусных трубок точности данной методики зачастую недостаточно, так как величина погрешности, вносимая поликапиллярной структурой, сравнима с величиной определяемого анодного пятна. К тому же при микронных размерах фокусного пятна размеры получаемого изображения анодного пятна на выходе столбика могут быть ниже предела разрешения детектирующей системы: современные коммерческие рентгеновские визуализирующие системы имеют разрешение на уровне $5\text{--}6\ \mu\text{m}$, а размеры фокусных пятен микрофокусных трубок составляют несколько микрометров.

В данной ситуации целесообразно использование возможностей оптики Кумахова при работе с рентгеновскими изображениями [2–7].

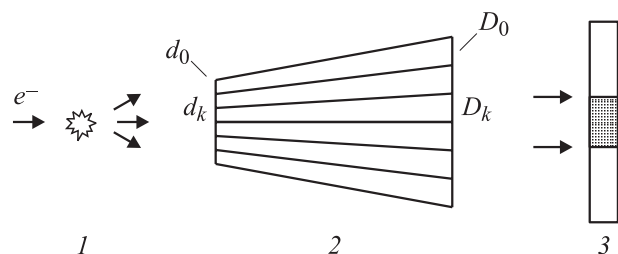


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — фокусное пятно трубки; 2 — конусообразная поликапиллярная структура; 3 — рентгеновский детектор изображений.

Применением увеличивающего, высокоразрешающего изображающего оптического элемента данной оптики можно снять ограничения детектора по разрешающей способности.

Принцип методики состоит в следующем. К аноду на некоторое расстояние, меньшее фокусного, подносится капиллярная структура в форме усеченного конуса, на выходе которой устанавливается детектирующая система (рис. 1). Фокусное расстояние определяется точкой геометрического схождения образующих усеченного конуса. В качестве детектирующей системы для экспрессной оценки целесообразнее всего использовать рентгеновский визуализатор. Предварительная калибровка системы позволяет определять размеры получаемого изображения фокусного пятна.

Функции конуса в данной методике состоят в формировании и увеличении изображения. Диаметр капилляра поликапиллярной системы на входе, т.е. перед фокусным пятном, должен быть много меньше анодного пятна. Диаметру капилляра на выходе линзы необходимо соответствовать разрешению визуализатора. В таких системах капиллярная оптика предоставляет информацию об объекте детектору с точностью, соответствующей 2–3 входным диаметрам капилляра. Таким образом, для разрешения $1\ \mu\text{m}$ необходимо, чтобы диаметр капилляра был не больше $\sim 0.5\ \mu\text{m}$. Естественно, должен быть жесткий контроль диаметра капилляра между входом и выходом, чтобы система передавала информацию без искажений. Разрешающая способность данной методики повышается за счет как уменьшения входного размера канала, так и конусности, т.е. увеличения изображения.

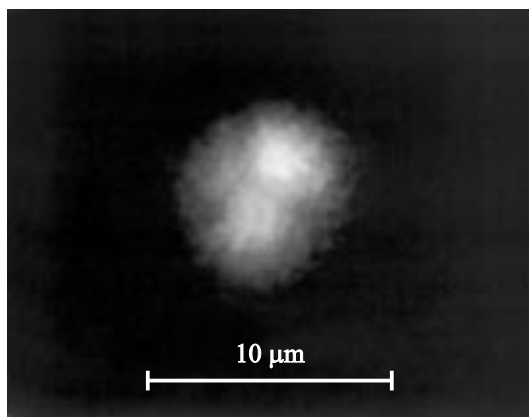


Рис. 2. Изображение фокусного пятна микрофокусной трубки, полученное с использованием конусной полулинзы Кумахова в масштабе, приведенном к поверхности анода.

Данный подход позволяет повысить точность определения размеров пятен с использованием современных оптических систем до $1\ \mu\text{m}$. Недостатком данного метода по сравнению с методом на основе столбика [1,2] являются большая трудность юстировки конуса относительно трубки. Также могут вносить свой вклад искажения в связи с недостаточной регулярностью капиллярной структуры, что возникает по причине технологических трудностей изготовления с уменьшением размера канала.

Для реализации методики применялась конусообразная поликапиллярная структура (конусная полулинза Кумахова), представляющая собой сборку конусных капилляров — полых стеклянных трубок с малым входным диаметром, увеличивающимся к выходу. Диаметр всей сборки на входе $0.3\ \text{mm}$, на выходе — $4.5\ \text{mm}$. Диаметр канала примерно в 1000 раз меньше, т. е. 0.3 и $4.5\ \mu\text{m}$ на входе и выходе соответственно.

Поликапиллярный элемент располагался на специальном держателе, который мог перемещаться в трех ортогональных направлениях. Это позволяло осуществить точную юстировку коллиматора относительно фокусного пятна рентгеновской трубки. Минимальный шаг сканирования составлял $0.1\ \mu\text{m}$.

Нами использовался рентгеновский визуализатор на основе сцинтилляционного экрана, световода, электронно-оптического преобразователя (ЭОП) и телекамеры, сигнал с которой передавался на компьютер. Разрешение данной системы составляло примерно $5 \mu\text{m}$. Исследуемый микрофокусный рентгеновский источник имеет минимальные размеры фокусного пятна также $5 \mu\text{m}$.

Примеры рентгеновских изображений фокусного пятна микрофокусной рентгеновской трубки с разрешением около $1 \mu\text{m}$, полученных на основе описанной методики, приведены на рис. 2. В результате анализа этого изображения определяют необходимые размеры анодного пятна трубки. На свечении пятна видны затенения, образованные поликапиллярными стенками рентгенооптической структуры. Но они не вносят значительных для целей определения размеров фокусного пятна искажений в изображение.

Таким образом, применение конусной полулинзы Кумахова позволяет получать изображения фокусных пятен рентгеновской трубки с микронным разрешением, что позволяет реализовать, например, высокоточную методику определения размеров эффективного фокусного пятна рентгеновских трубок.

Выражаю благодарность за плодотворные дискуссии, внесшие значительный вклад в эту работу, В.Н. Чернику.

Список литературы

- [1] *Arkadiev V.A., Bzhaumikhov A.A.* // Proc. SPIE. 1995. V. 2515. P. 514–525.
- [2] *Романов А.Ю.* // Измерительная техника. 2004. № 7.
- [3] *Nikitina S.V., Scherbakov A.S.* et al. // Proc. SPIE. 1993. V. 2011. P. 255–262.
- [4] *Nikitina S.V., Vartaniants G.A.* et al. // Proc. SPIE. 1994. V. 2278. P. 210–215.
- [5] *Nikitin A.N., Ibraimov N.S., Nikitina S.V.* // Proc. SPIE. 1996. V. 2859. P. 117–124.
- [6] *Nikitin A.N.* // Proc. SPIE. 1997. V. 3115. P. 117–124.
- [7] *Nikitin A.N.* // Proc. SPIE. 1997. V. 3115. P. 143–146.