

Оптическая диагностика источника рентгеновского излучения

Жуликова М.Н., Баранников А.А., Зверев Д.А., Лятун И.И., Снигирев А.А.

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Калининград, Россия
E-mail: mnzhulikova@stud.kantiana.ru

Синхротронное излучение (СИ) востребовано в химии, медицине, материаловедении и фармакологии благодаря возможности неразрушающего контроля с высоким пространственным разрешением. Самые современные источники СИ 4-го поколения открывают новые возможности для таких экспериментов, благодаря уникальным характеристикам генерируемого пучка. Они обеспечивают предельно высокую пространственную когерентность излучения и высокое временное разрешение.

Развитие Мегасайенс-установок предъявляет высокие требования к контролю параметров генерируемого пучка, во многом определяющих возможности экспериментальных методов, используемых на синхротронных станциях. Для прямого контроля параметров источника необходимы рентгенооптические методы, дополняющие диагностику электронного пучка в накопительном кольце. Они позволяют получать информацию о размере и форме источника, распределении интенсивности, а также о стабильности его пространственных характеристик. Такие данные обеспечивают независимый контроль параметров источника синхротронного излучения, позволяют сопоставлять характеристики электронного и рентгеновского пучков, выявлять причины их возможного несоответствия и обеспечивать достижение требуемых параметров излучения на экспериментальных станциях.

Для оценки параметров источника СИ существует ряд прямых и косвенных методов. Прямые методы реализуют непосредственное формирование изображения источника в области наблюдения: камера-обскура (пинхол) с одиночным отверстием или кодированной апертурой, визуализация с помощью составных преломляющих линз (CRL) и брэгг-френелевской оптики [1-3].

При использовании косвенных методов вычисление параметров источника производится по сопутствующим физическим эффектам, выраженным дифракцией и интерференцией излучения: опыт Юнга, Тальбот-интерферометрия, К-edge диагностика, дисперсионный кристалл-дифракционный анализ, а также дифракционные методы Френеля [2, 4-9].

В настоящей работе проведено исследование размеров и формы рентгеновского источника с помощью камеры обскуры и преломляющих рентгеновских линз. Исследование проводилось с использованием лабораторного микрофокусного рентгеновского источника с жидким GaIn анодом ($E=9.251$

кэВ, GaK α 1). Устройство позволяет управлять размером, формой и положением области засветки анода электронным пучком, что обеспечивает воспроизводимое формирование источников с различными пространственными характеристиками.

В ходе исследования было выполнено сравнение использованных методов по пространственному разрешению, чувствительности к спектру излучения и сохранению потока фотонов исходного рентгеновского пучка.

При регистрации изображения источника с помощью Pt апертуры диаметром 5 мкм время экспозиции составило 960 минут. В то же время с помощью Ве линз с радиусом кривизны 50 мкм изображение регистрировалось за 2 минуты при субмикронном пространственном разрешении.

1. Yang B. et al. High-Energy X-Ray Pinhole Camera for High-Resolution Electron Beam Size Measurements. – Argonne National Laboratory (ANL), 2017.
2. Weitkamp T. et al. Refractive lenses as a beam diagnostics tool for high-energy synchrotron radiation //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2001. – Т. 467. – С. 248-251.
3. Samadi N. et al. A spatial beam property analyzer based on dispersive crystal diffraction for low-emittance X-ray light sources //Scientific Reports. – 2022. – Т. 12. – №. 1. – С. 18267.
4. Holldack K., Feikes J., Peatman W. B. Review of Emittance and Stability Monitoring Using Synchrotron Radiation Monitors //DIPAC. – 2001. – Т. 1. – С. 16.
5. Lyubomirskiy M., Snigireva I., Snigirev A. Lens coupled tunable Young's double pinhole system for hard X-ray spatial coherence characterization //Optics express. – 2016. – Т. 24. – №. 12. – С. 13679-13686.
6. Snigirev A. et al. X-ray nanointerferometer based on si refractive bilenses //Physical review letters. – 2009. – Т. 103. – №. 6. – С. 064801.
7. Zverev D. et al. Coherent X-ray beam expander based on a multilens interferometer //Optics Express. – 2021. – Т. 29. – №. 22. – С. 35038-35053.
8. Samadi N. et al. Source size measurement options for low-emittance light sources //Physical Review Accelerators and Beams. – 2020. – Т. 23. – №. 2. – С. 024801.
9. Kohn V., Snigireva I., Snigirev A. Direct measurement of transverse coherence length of hard x rays from interference fringes //Physical review letters. – 2000. – Т. 85. – №. 13. – С. 2745