

Высокоразрешающая преломляющая микрооптика на основе алмаза и диоксида кремния для когерентной рентгеновской визуализации

И.И. Лятун, А.С. Коротков, С.С. Лятун, А.А. Баранников, Д.А. Зверев, А.А. Снигирев

*Международный научно-исследовательский центр «Когерентная рентгеновская оптика для установок «Мегасайенс»,
Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград 236041*

Стремительное развитие современных дифракционно ограниченных источников синхротронного излучения открывает новые горизонты для когерентной рентгеновской визуализации и микроскопии высокого разрешения. Реализация данных методов требует создания специализированной преломляющей оптики, способной сохранять когерентность волнового фронта излучения. Монокристаллический алмаз считается наиболее перспективным материалом для работы в условиях экстремальных тепловых и радиационных нагрузок благодаря своей рекордной теплопроводности и радиационной стойкости [1]. Кроме того, большой интерес для рентгеновской оптики представляют рентгеноаморфные материалы (в частности, диоксид кремния) и нанополикристаллический алмаз [2], использование которых позволяет полностью избежать возникновения паразитных брэгговских отражений (так называемых «глитчей») на оптических элементах.

В данной работе продемонстрирована возможность изготовления компактных рентгеновских микрообъективов с пространственным разрешением менее 100 нм на основе алмаза и диоксида кремния (кварцевого стекла). Ультракompактные габариты микролинз достигаются благодаря использованию метода ионно-лучевой литографии на базе двухлучевой платформы FIB-SEM Zeiss Crossbeam 540, позволяющего формировать вогнутые параболические профили с радиусами кривизны

вершины $R < 5$ мкм [3]. Малые радиусы кривизны (3 - 5 мкм) обеспечивают короткие фокусные расстояния — менее 25 мм для алмаза при энергии рентгеновского излучения 12 кэВ. Это позволяет реализовывать ультракompактные схемы рентгеновской микроскопии с общей оптической длиной менее 1 м с увеличением более 40×.

Для микролинз из диоксида кремния успешно апробирован метод быстрого прототипирования, сочетающий предварительную FIB-разметку с последующим изотропным жидкостным химическим травлением [4]. Данный подход позволяет сократить время изготовления единичного оптического элемента более чем на порядок (более чем в 10 раз) по сравнению со стандартным прямым ионным фрезерованием, открывая эффективный путь к созданию сложных матричных преломляющих оптических систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 26-12-00523.

1. P. Medvedskaya, I. Lyatun, S. Shevyrtalov et al., Optics Express 28 (4) (2020) 4773.
2. I. Snigireva, T. Irifune, T. Shinmei et al., In Advances in X-Ray/EUV Optics and Components XVI (11837) (2021) 8-14.
3. I.I. Lyatun, P.N. Medvedskaya, A.S. Korotkov et al., Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques 18 (6) (2024) 1508.
4. I.I. Lyatun, S.S. Lyatun, A.A. Snigirev, Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques 19 (4) (2025) 833.