

НОВЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ МИКРОТОМОГРАФ

А.В. Бузмаков¹⁾, В.Е. Асадчиков^{1, 4)}, Д.А. Золотов¹⁾, Б.С. Роцин¹⁾,
Ю.М. Дымшиц¹⁾, В.А. Шишков¹⁾, М.В. Чукалина¹⁾, А.С. Ингачева^{1, 2)},
Д.Е. Ичалова³⁾, M. Caselle⁵⁾, S. Chilingaryan⁵⁾, M. Balzer⁵⁾

¹⁾ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН,

Ленинский проспект 59, 119333 Москва, Россия, buzmakov@gmail.com

²⁾НИУ «Высшая школа экономики», ул. Мясницкая 20, 101000 Москва, Россия

³⁾Московский физико-технический институт,

Институтский пер. 9, Московская область, 141701 Долгопрудный, Россия

⁴⁾Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Ленинские горы 1, 119991 Москва, Россия

⁵⁾Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany

В работе описан разработанный нами лабораторный рентгеновский микротомограф, позволяющий исследовать внутреннюю структуру объектов с разрешением до 10 мкм. Описываемый прибор обладает модульной аппаратной и программной структурой. Это позволяет использовать в нем различные измерительные средства и программы обработки томографических данных.

Введение

Создание нового аппаратно-программного комплекса было обусловлено несколькими причинами. Одна из основных причин - усовершенствование узлов измерительной схемы, созданной ранее в Институте кристаллографии ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (ИК РАН) [1]. Например, использование в регистрирующем узле новых детекторов теперь позволяет проводить измерения с большим полем зрения за меньшее время. При числе проекционных углов порядка 1000, размер регистрируемых синопграмм для одного объекта составляет около 10 Гбайт. Т.е. необходимо обеспечить сбор, передачу и хранение достаточно больших объемов данных (в дополнение к измеренным синопграммам, сохраняются результаты реконструкции, описания измерений и реконструкции), организовать удобный доступ к этой информации с возможностью дальнейшей визуализации и анализа данных. Подобного рода задачи решаются на источниках синхротронного излучения [2]. Однако предлагаемое нами решение впервые использовано на лабораторных томографических приборах.

Аппаратная часть комплекса

Комплекс состоит из трех основных узлов (модулей). Узел источника рентгеновского излучения отвечает за формирование зондирующего пучка. Его основу составляют рентгеновский источник и тракт рентгеновского излучения. Взаимное положение рентгеновской трубки, щелей, узла монохроматора и вакуумного пути (коллиматора), наличие которого предусмотрено в описываемом комплексе определяет геометрию эксперимента. Сменные рентгеновские трубки, используемые в различных режимах, позволяют проводить исследование объектов, значительно различающихся по поглощающим свойствам. Пользователю доступны как монохроматическая, так и полихроматическая моды проведения измерений. Позиционирование образца осуществляется во втором узле. Держатель образца представляет собой металлическую платформу, на которую монтиру-

ется гониометрический столик. Минимальный угол поворота столика около 0.01°. Предусмотрена возможность автоматически вдвигать и выдвигать образец из пучка рентгеновского излучения контролируемым образом. В регистрирующей блоке предусмотрена возможность смены детектора, что позволяет варьировать поле зрения и разрешение в зависимости от исследуемого объекта [3]. Пилотные измерения проводились с использованием детектора XIMEA xiRay 11Mpix, 4008x2672 пиксела, размер пиксела - 9 микрон. Для управления перечисленными устройствами и взаимодействия устройств между собой мы использовали программное решение Tango Controls [2].

Организация хранения и обмена данными при удаленном доступе

При проектировании данной части комплекса мы руководствовались тем, что доступ к экспериментальным данным может потребоваться как программам сбора и обработки результатов эксперимента, так и удаленному пользователю. Причем последнему могут потребоваться как данные текущего (незавершенного) эксперимента, так и данные завершенных измерений. При проведении измерений программный модуль "Эксперимент" отправляет результаты измерений в модуль "Хранилище", где они сохраняются в базе данных. После окончания измерения формируется полный пакет полученных изображений и их параметров (метаданные) в формате HDF5. В дальнейшем пакет экспериментальных данных может быть дополнен данными реконструкции с различными параметрами, которые диктуются используемым методом реконструкции [4] и критерием остановки для итерационных методов реконструкции. Отсюда следует, что результатов реконструкции в пакете может быть несколько, в отличие от результатов измерения, которые строго определены для каждого пакета образцом (именем образца) и условиями измерения.

Доступ к эксперименту и хранилищу через web-интерфейс

Данные проводимых экспериментов хранятся в базе данных на удаленном сервере. Доступ к ним может осуществляться через web-интерфейс. Благодаря этому данные упорядочены, и поиск результатов эксперимента стал быстрым и удобным. В проекте сайта ROBO-TOM [5] предусмотрены 4 типа пользовательских ролей. Гость - зарегистрированный пользователь, подтвердивший свой электронный адрес. Он имеет доступ к данным хранилища, личному кабинету и информации о разработчиках. Исследователь - дополнительно к перечисленному выше имеет доступ к функционалу "Реконструкция". Экспериментатор - имеет доступ к страницам эксперимента. Администратор - имеет доступ к странице управления запросами на смену ролей, не имея привилегий экспериментатора и исследователя. Уникальность роли позволяет разграничить права доступа. На странице "Эксперимент" предусмотрена возможность дистанционного управления измерениями. Страница "Хранилище" в web-интерфейсе предоставляет пользователю средства для поиска необходимой ему информации, средства визуализации хранимой информации, а в дальнейшем планируется усилить визуализацию средствами, позволяющими проводить раз-

нотипный математический анализ как измеренных данных, так и результатов реконструкции.

Заключение

Нами создан новый лабораторный микротомограф, позволяющий проводить томографические измерения в автоматическом режиме. Создана автоматическая система доступа к данным томографических измерений. Создана платформа для тестирования алгоритмов томографической реконструкции. Проведены томографические измерения ряда биологических объектов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки (проект RFMEFI61614X0005).

Список литературы

1. Асадчиков В.Е., Бабак В.Г., Бузмаков А.В. и др. Приборы и техника эксперимента. 2005. № 2. С. 1-9.
2. Matthew Chalmers. ESRF news, March. 2013. <http://www.esrf.eu/Instrumentation/news/Tangocontrolsyste.htm>.
3. Michele Caselle, Suren Chilingaryan, Armin Herth, Andreas Kopmann, Uros Stevanovic, Matthias Vogelgesang, Matthias Balzer, Matthias Weber. Ultra-fast streaming camera platform for scientific applications // Real Time Conference (RT). 2012. 18th IEEE-NPSS, 2012.
4. Чукалина М.В., Бузмаков А.В., Николаев Д.П. и др. Измерительная техника. 2008. № 2. С. 19-24.
5. <http://tomo.smartengines.biz/index.ru.html>

NEW AUTOMATED LABORATORY X-RAY MICROTOMOGRAPH

A.V. Buzmakov¹, V.E. Asadhikov^{1,4}, D.A. Zolotov¹, B.S. Roschin¹, Yu.M. Dymshits¹, V.A. Shishkov¹, M.V. Chukalina¹, A.S. Ingacheva^{1,2}, D.E. Ichalova³, M. Caselle⁵, S. Chilingaryan⁵, M. Balzer⁵

¹FSRC "Crystallography and Photonics" RAS,

59 Lininsky ave., 119333 Moscow, Russia, buzmakov@gmail.com

²National Research University Higher School of Economics,
20 Myasnitskaya str., 101000 Moscow, Russia

³MIPT, 9 Institutskiy per., Moscow Region, 141701 Dolgoprudny, Russia

⁴Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, 119991 Moscow, Russia

⁵Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany

This report presents the functionalities of the new tomographic hardware and software setup. The setup was designed and created in the Shubnikov Institute of Crystallography FSRC "Crystallography and photonics" RAS to solve the problem of quantitative description of the spatial organization of different types of samples. In addition, we report the first results experimental results, which have been obtained. Remotely controlled set-up includes a laboratory X-ray source, shutter, crystal monochromator, vacuum path, sample stage with automatic positioning system for the sample in study (sample size can vary from fractions of a millimeter to several centimeters) and X-rays detectors. The software part solves three main tasks: remote control of the set-up, remote operations with the data (storage, access, processing, etc.), access to set-up and data via a web interface.