

Лабораторная спектральная томография с применением кристаллического рентгенооптического элемента

Золотов Д.А.¹, Бузмаков А.В.¹, Григорьев М.В.², Дьячкова И.Г.¹, Ингачева А.С.^{1,3}, Николаев Д.П.^{4,3}, Чукалина М.В.^{1,3}, Щелоков И.А.², Асадчиков В.Е.¹

¹ ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

² ИПТМ РАН

³ ООО «Смарт Энджинс Сервис»

⁴ ИППИ РАН

Рентгеновская томография является неразрушающим способом исследования пространственной структуры объектов различной природы. В основе метода лежит математическая обработка рентгеновских проекций исследуемого объекта, полученных при его различных углах поворота, с целью реконструкции цифрового изображения объекта. Контраст различных по структуре и составу областей исследуемого образца зависит, в том числе, и от энергии зондирующего излучения. Одним из методов, позволяющих одновременно регистрировать проекции от объекта на разных энергиях рентгеновского излучения, является метод рентгеновской мультэнергетической (спектральной) томографии. В рамках развития и усовершенствования данного метода в работе предложена измерительная схема, отличная от традиционно используемой в томографах, а именно, добавлением между объектом и детектором дисперсионного рентгенооптического элемента – кристалла-анализатора. Таким образом, из полихроматического излучения рентгеновской трубки можно выделить несколько монохроматических пучков и провести одновременную регистрацию проекций на разных энергиях. Данная схема способна разделить изображения, формируемые разными энергетическими компонентами зондирующего рентгеновского излучения, что позволяет существенно повысить информативность томографических данных за счет более точной дифференциации различных структур объекта или химических элементов, входящих в их состав.

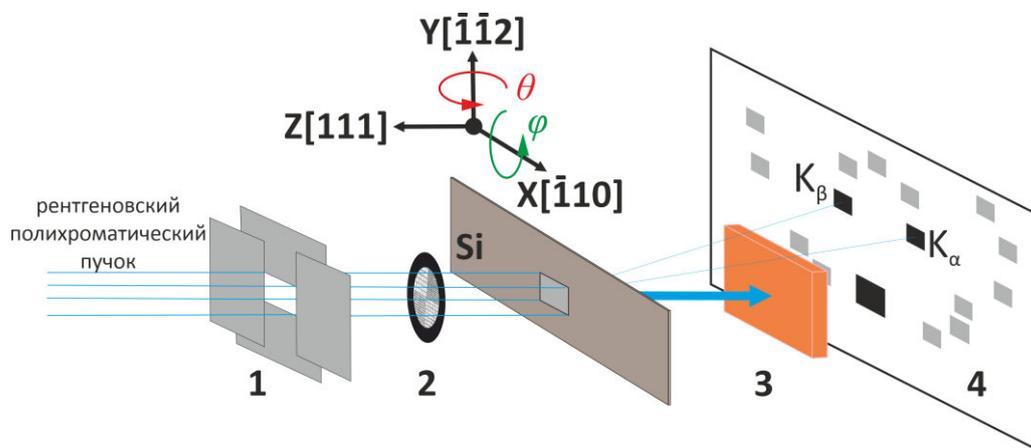


Рис 1: Схема эксперимента с кристаллом-анализатором Si(111): 1 – система щелей, 2 – исследуемый объект, 3 – медный фильтр, 4 – ПЗС-камера.

На рис. 1 продемонстрирована экспериментальная реализация методики для выделения $K_{\alpha 1}$ - и $K_{\beta 1}$ -линий из полихроматического спектра рентгеновской трубки с молибденовым анодом на примере кристалла-анализатора Si(111) в Лауэ-геометрии для двух различных конфигураций отражающих кристаллографических плоскостей из семейств $\{111\}$ и $\{220\}$. Для настройки экспериментальной схемы разработана программа расчета углов поворота кристалла-анализатора Si(111) относительно первичного пучка, с целью получения одновременной дифракции для $K_{\alpha 1}$ - и $K_{\beta 1}$ -линий от предварительно выбранных плоскостей. Таким образом,

проекционные изображения, полученные в различных длинах волн, оказываются разделенными в пространстве и могут быть зарегистрированы независимо для дальнейшей обработки [1].

В результате асимметричной дифракции излучения от выбранных семейств отражающих плоскостей кристалла возникают искажения рентгеновских проекций. Для их коррекции разработан алгоритм определения матрицы проективного преобразования с использованием базовой проекции, полученной в проходящем пучке [2]. Для проверки корректности предложенного алгоритма, использован метод построения трехканального изображения, позволяющий непосредственно (визуально) определить, насколько предложенный подход к компенсации геометрических искажений является корректным (рис. 2).

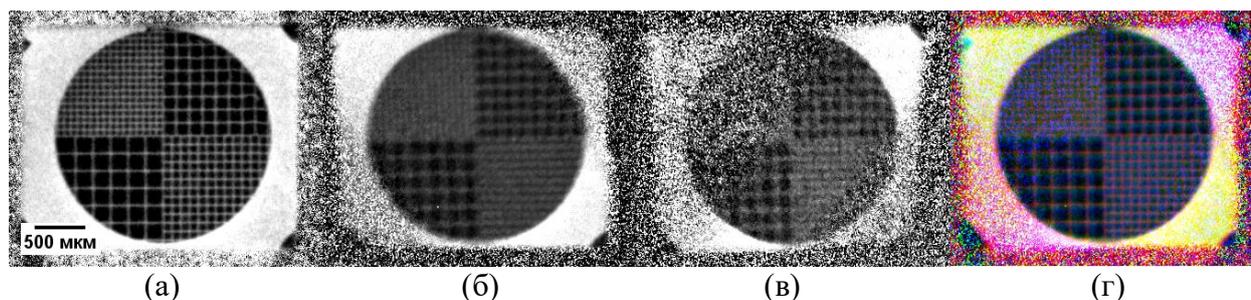


Рис 2: Изображения калибровочной металлической сетки, полученные для прошедшего ослабленного рентгеновского пучка (а), для характеристических линий молибдена $K_{\alpha 1}$ (б) и $K_{\beta 1}$ (в); а также результирующее трехканальное изображение (г).

С помощью подобранной матрицы проективного искажения обрабатывались все экспериментальные проекции, тем самым подготавливая их для выполнения томографической реконструкции. Трехмерная визуализация результата реконструкций для $K_{\alpha 1}$ - и $K_{\beta 1}$ -линий тестового образца, содержащего микрокристаллы $LiNbO_3$, показана на рис.3.

Таким образом, в работе показано, что использование кристаллического анализатора в качестве сепаратора энергии первичного полихроматического пучка, открывает новые возможности для контрастирования широкого спектра веществ в образце, так как подбор характеристической линии излучения позволяет получить изображения до и после края поглощения конкретного элемента

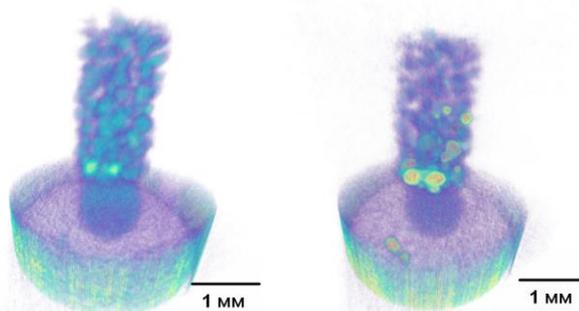


Рис 3: Результаты томографической реконструкции объекта, содержащего ниобат лития $LiNbO_3$: для случая K_{α} -линии (слева); для случая K_{β} -линии (справа).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

[1] Zolotov D. et al. //Journal of Applied Crystallography. – 2020. – V. 53. – №. 3. – P. 781-788.

[2] Buzmakov A. et al. // Sensors. – 2020. – V. 20. – №. 23. – P. 6970.