

# РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННЫЕ И ТОМОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА БАЗЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ-МОНОХРОМАТОРОВ.

Геранин А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный институт электроники и математики,  
e-mail докладчика: LexaSuperPuper@mail.ru*

The results of study of different crystal monochromators are discussed as applied to x-ray reflectometry and microtomography. It is shown that kinematics crystals of lithium phosphate can be successfully applied for both types of investigations. At the same time asymmetric cut single crystals can be used in various combinations to achieve required parameters of a X-ray beam. Magnifying scheme with two asymmetric cut single crystals is described.

Задача монохроматизации рентгеновского излучения возникает при решении широкого круга проблем, связанных с исследованием структуры как кристаллических, так и некристаллических материалов. Эта задача наиболее часто решается с применением кристаллов монохроматоров. Однако для конкретных экспериментов требования к кристаллам монохроматорам могут варьироваться в достаточно широких пределах.

Выделим следующие основные параметры рентгеновского пучка: интенсивность, монохроматичность, расходимость, и линейные размеры. В работе показано, что сочетание этих параметров для рентгеновских экспериментов разного типа требует применения и различных кристаллов монохроматоров.

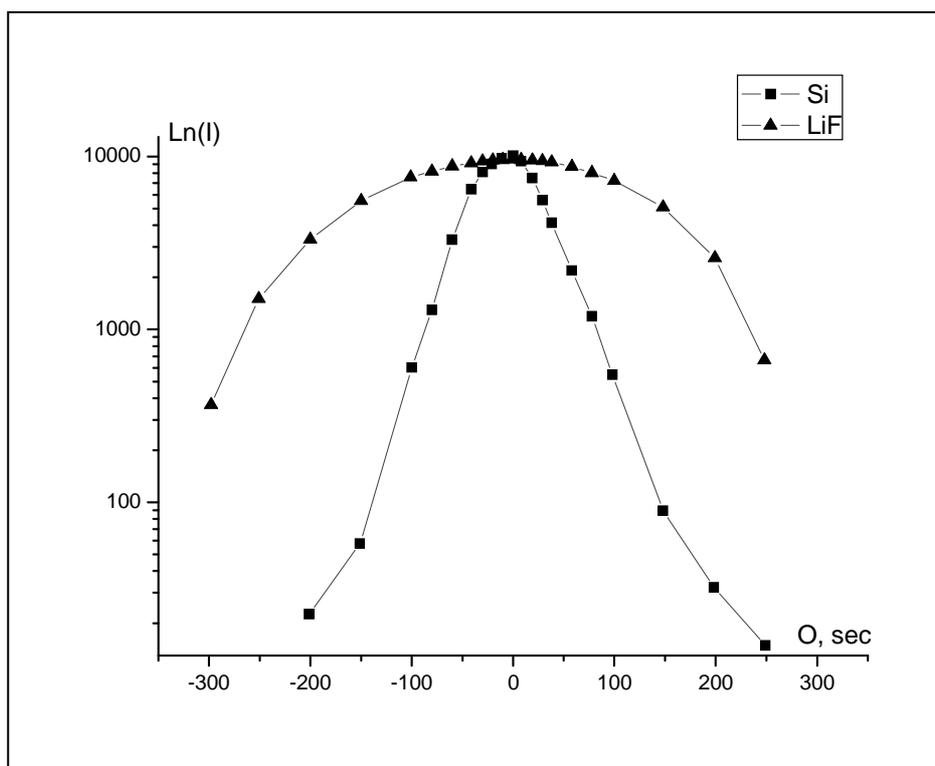
Рассмотрим это утверждение на конкретных примерах.

## 1. Рентгеновская рефлектометрия.

При решении задач рентгеновской рефлектометрии основным требованием, предъявляемым к рентгеновскому излучению, является получение слаборасходящегося пучка максимально возможной интенсивности.

Сочетание этих требований является внутренне противоречивым. На рис. 1 представлено распределение интенсивности отраженного излучения на длине волны  $\lambda=1,54 \text{ \AA}$  для симметричных кристаллов LiF (200) и Si (220). Мы видим, что отражение от кристалла LiF имеет более широкий угловой спектр по сравнению с кристаллом Si. Однако и интегральная интенсивность отражения для этого кристалла в три раза больше. Наши оценки показывают, что требуемая расходимость пучка может быть увеличена в 10 раз без потери качества кривых отражения при уменьшении толщины пленки на исследуемом образце с 0,1 мкм до 0,01 мкм. Таким образом, в случаях толстых покрытий (доли микрон) в качестве монохроматоров целесообразно использовать совершенные кристаллы (Si, Ge) с малой расходимостью. При исследовании плёнок с толщиной покрытия  $\sim 100 \text{ \AA}$  и менее целесообразно использовать менее совершенные кристаллы, обладающие большей интегральной интенсивностью отражения, но с большей расходимостью.

При этом мы получаем возможность измерить кривую отражения в большем угловом диапазоне, что важно, в частности, для решения обратной задачи рефлектометрии.



## 2. Томография.

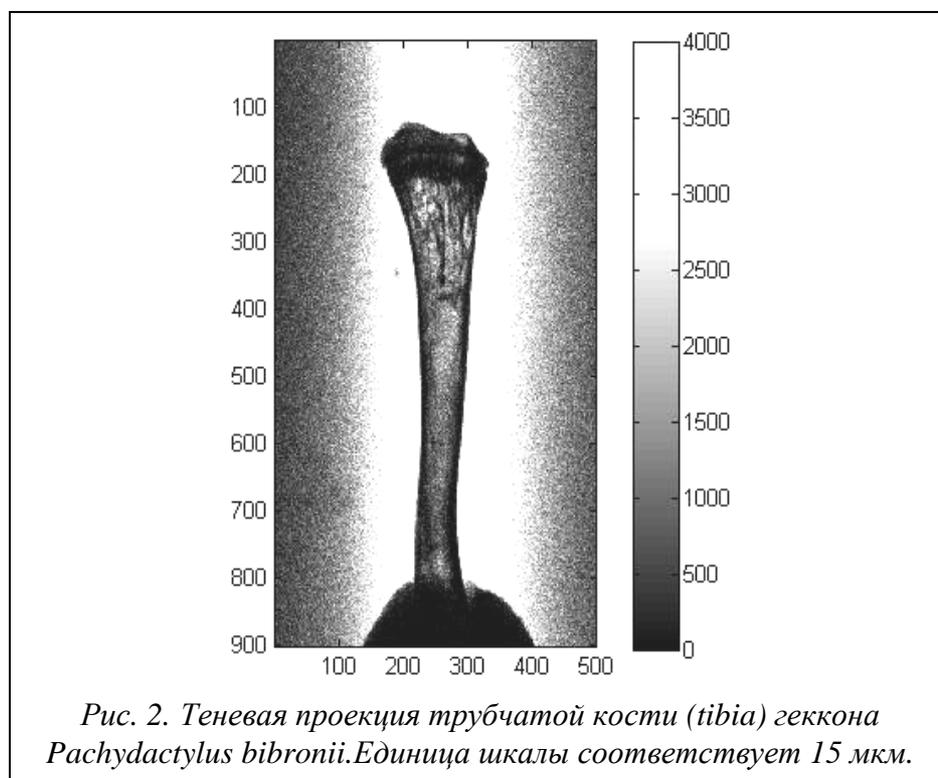
В большинстве современных лабораторных микротомографов, а также в медицинских томографах и томографах для дефектоскопии используется жесткое тормозное рентгеновское излучение с достаточно широким спектральным составом (максимум интенсивности на длине волны  $\sim 0.2 \text{ \AA}$ ). Следует отметить, что в таком случае не удастся восстановить значение коэффициента линейного ослабления ( $\mu$ ), поскольку разные длины волн широкого спектра зондирующего излучения ослабляются в образце по-разному.

В проводимых нами томографических исследованиях используется монохроматическое излучение. В этом случае рентгеновский микротомограф состоит из источника, монохроматора, объекта исследования и позиционно-чувствительного рентгеновского детектора.

В зависимости от расстояний источник-объект-детектор, а также от расходимости излучения и размера источника размер пятна на детекторе может меняться в широких пределах. В используемых нами микротомографах характерный размер чувствительного элемента детектора (пикселя) не превышает 15 мкм, а общие габариты его чувствительной части порядка 30 мм, при этом расстояние от рентгеновской трубки до детектора порядка 70 см. Для того чтобы осветить всю площадь детектора при имеющихся размерах рентгеновского источника приходится либо использовать ассиметричные кристаллы монохроматоры с очень большим коэффициентом асимметрии ( $\sim 80$ ), либо использовать поликристаллический монохроматор из пиролитического графита.

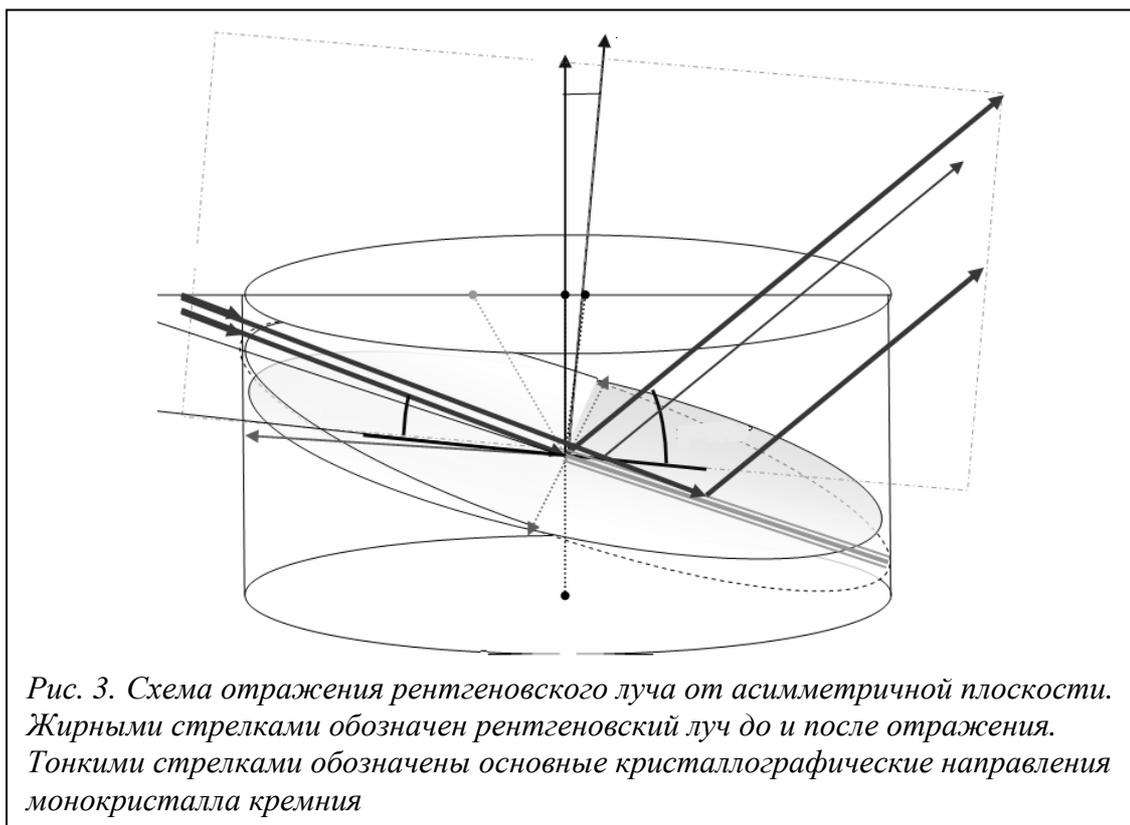
В последнем случае большая расходимость приводит к понижению пространственного разрешения, т.к. объект исследования невозможно

поставить вплотную к детектору. Компромиссным решением вновь может служить использование кристаллов фторида лития. При их использовании не удастся осветить всю площадь детектора (при указанном линейном размере томографа), однако, возможно увеличить пространственное разрешение прибора (за счет уменьшения пятна рассеяния) рис. 2.

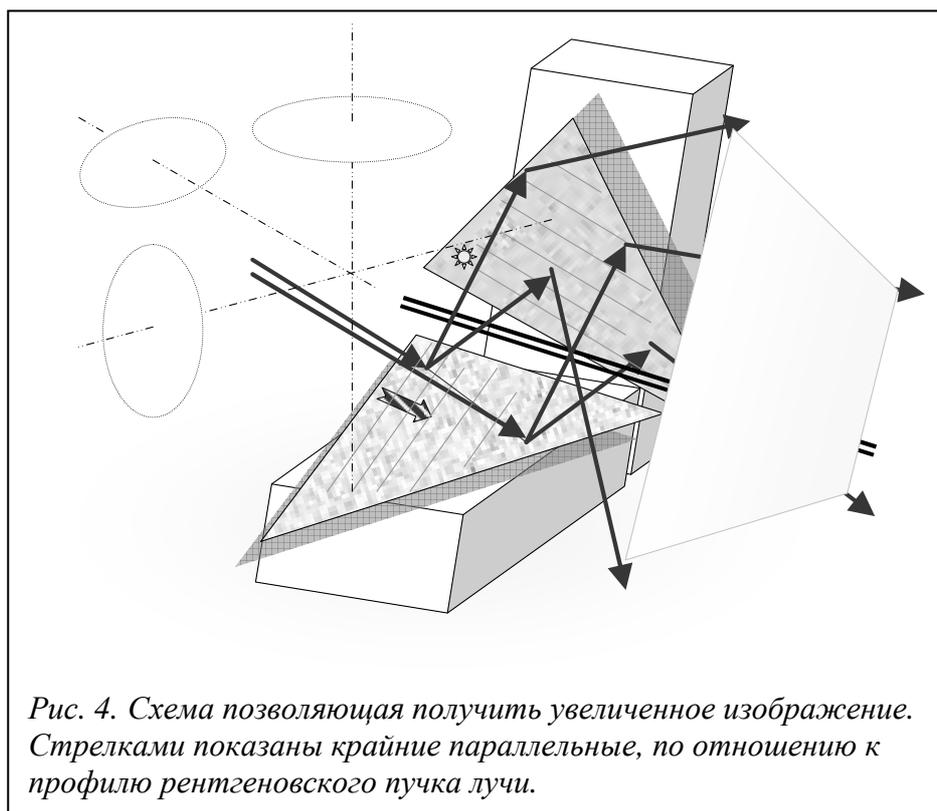


В тех случаях, когда пространственное разрешение с использованием монохроматоров из фторида лития либо пиролитического графита всё же недостаточно, мы предлагаем использовать ассиметричные кристаллы монохроматоры. Данные кристаллы позволяют осветить большую площадь детектора и обеспечить высокое пространственное разрешение.

На рис. 3 представлена схема асимметричного отражения.



Заметим, что полученные асимметричные кристаллы могут использоваться в различных комбинациях. В частности может быть реализована схема, позволяющая получить увеличенное изображение по двум направлениям (см рис.4).



Таким образом, нами на двух примерах показано, что в зависимости от специфики решаемой задачи целесообразно использовать кристаллы – монокроматоры с различной степенью совершенства кристаллической структуры и различным качеством обработки поверхности.

При этом в большинстве случаев задача изготовления таких кристаллов может быть решена в лабораторных условиях.