

# Исследование многослойных структур методом рентгеновской микроскопии с использованием преломляющей оптики

С.С. Медведева, А.Ю. Гойхман,  
И.И. Лягун, П.А. Ершов  
*БФУ им. И. Канта,  
г. Калининград, Россия*

И.И. Снигирева,  
А.А. Снигирев  
*ESRF, 38043 Гренобль,  
Франция*

# Методы исследования

мощные неразрушающие инструменты исследования во многих областях науки  
(физика, медицина, биология, химия, экология, геофизика)

## Проекционные методы (микроскопия)

Возможность изучения внутренней структуры вещества (без специальной подготовки исследуемых образцов ?)

## Зондовые методы (нанозонд)

возможность проведения локальных исследований (химического состава, элементного состава, локальной кристаллической структуры и ее дефектов)

## Фокусировка излучения

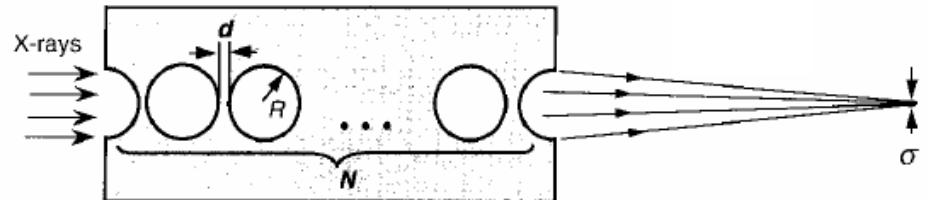
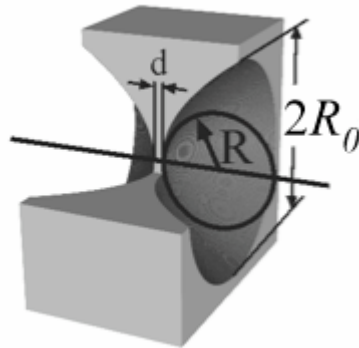
# Compound Refractive Lenses (CRL)

## Преимущества:

- такой метод не требует сложных оптических схем
- эффективная фокусировка и коллимация
- простота применения и изготовления
- большой энергетический диапазон 2 - 200 КэВ
- правильная передача изображения (микроскопия)
- новое направление – когерентная оптика (Фурье-оптика, интерферометрия, когерентная микроскопия)
- проведение экспериментов «in-line» (т.е. без изменения оптического пути луча)

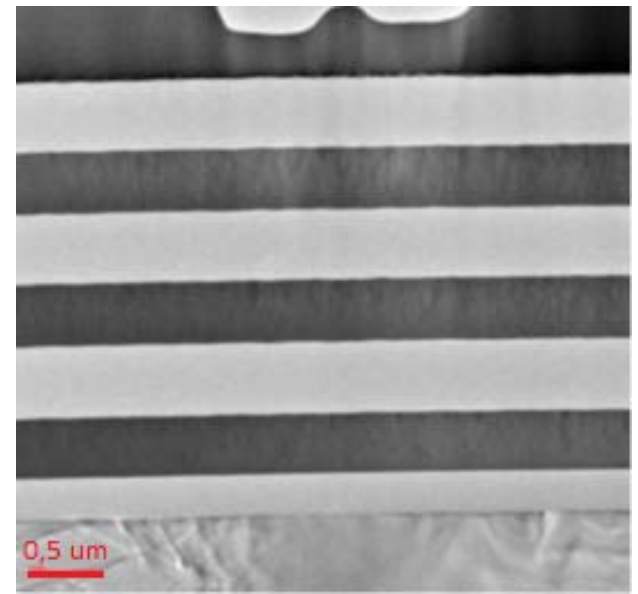
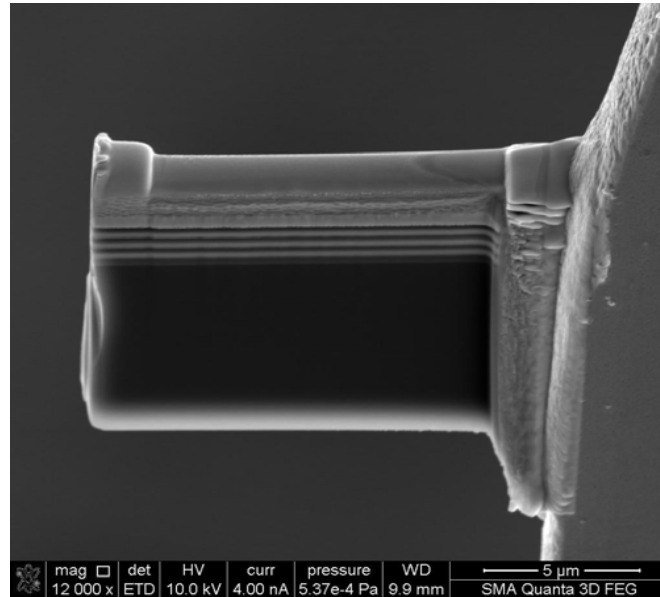
$$f = \frac{R}{2N\delta}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$



# Тестовая структура ZrOx/SiO2

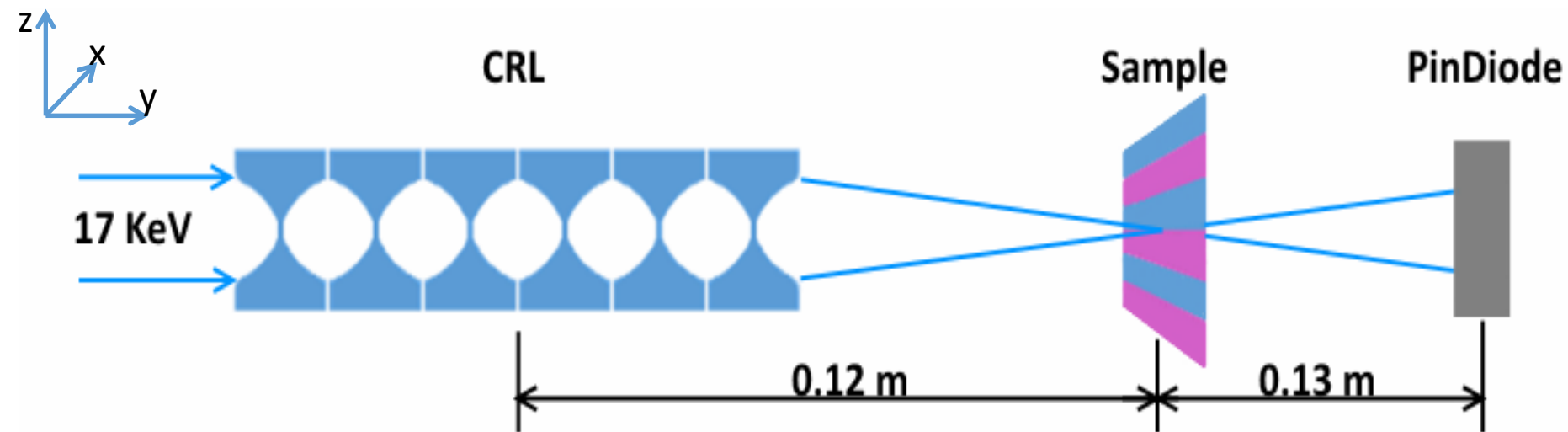
500nm SiO2
500nm ZrOx
500nm SiO2
500nm ZrOx
500nm SiO2
500nm ZrOx
Si/SiO2 Substrate



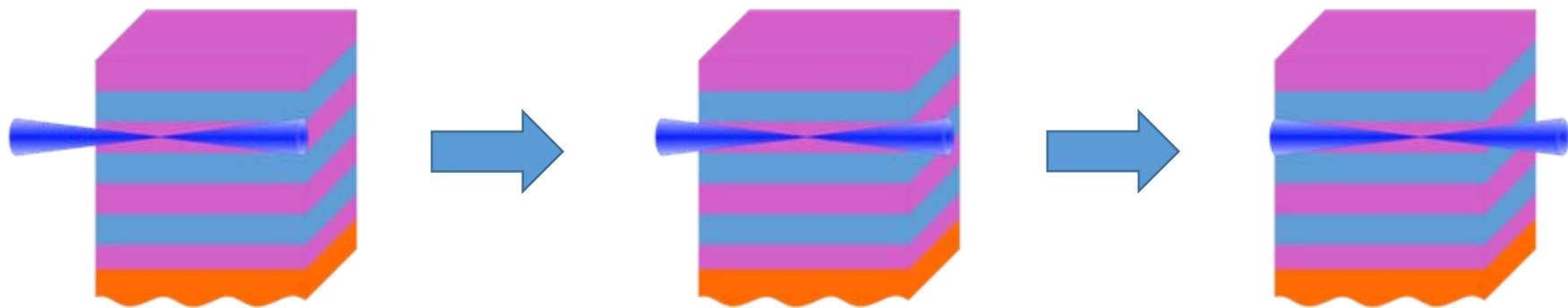
TEM image of ML with 500 nm thickness.

- Две многослойные структуры с тремя парами чередующихся слоев ZrOx/SiO2 с толщиной каждого слоя 500нм и 200нм
- Структуры изготовлены методом ионно-плазменного напыления
- Гладкие слои, ровные границы интерфейсов
- Для режима ХТМ была проведена специальная подготовка образцов (утонение, FIB) – 1,5x10x15мкм

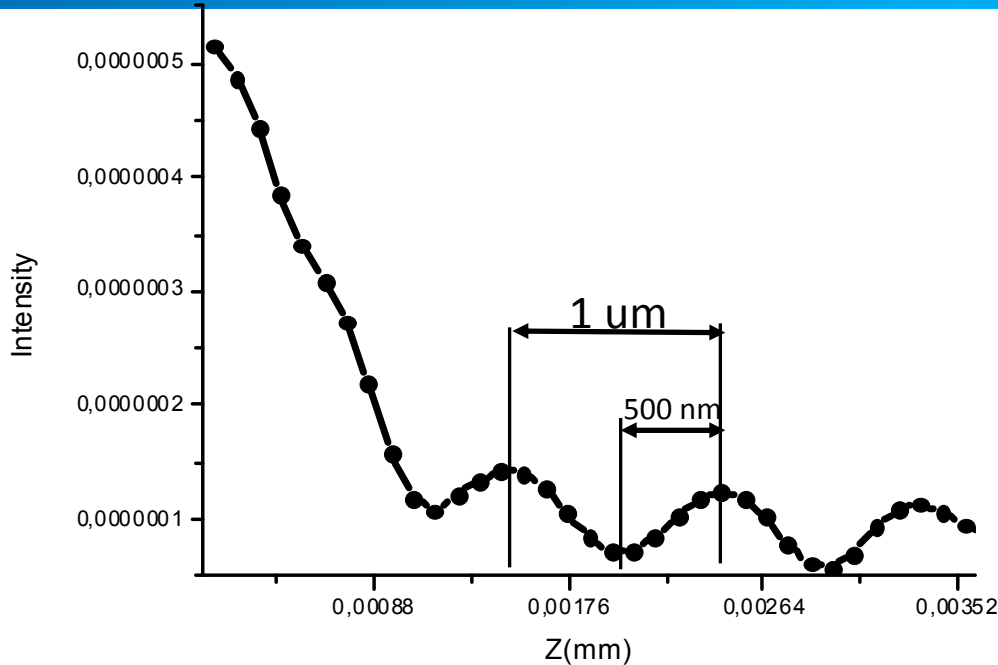
# Экспериментальная схема XSTM



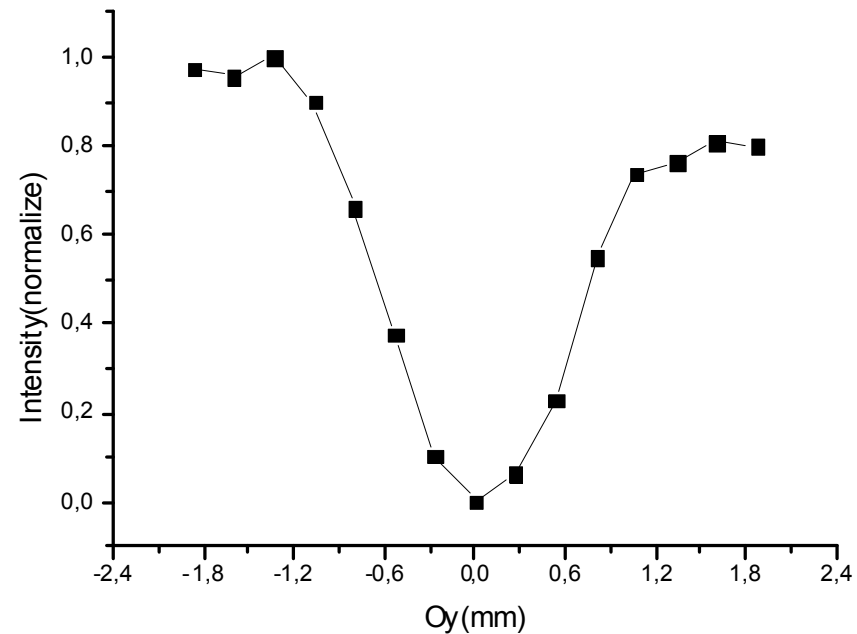
Сканирование по глубине образца



# Результаты XSTM

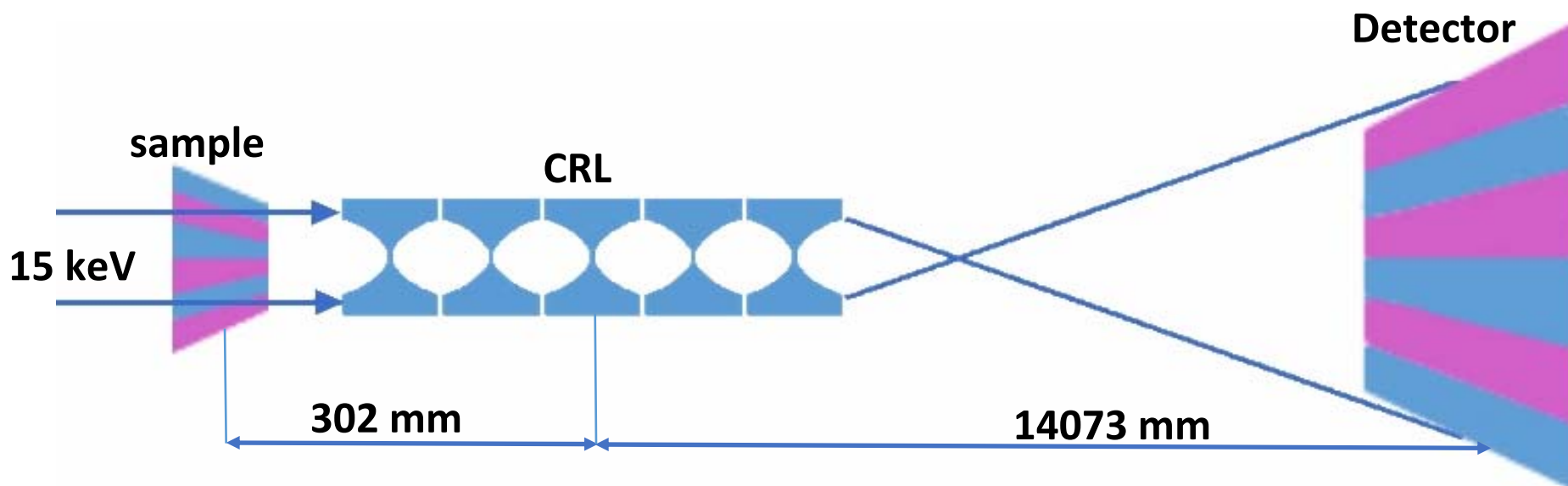


- На кривой сканирования по образцу прописано три минимума и три максимума.
- Расстояние между максимумами соответствует периоду структуры.
- Минимумы соответствуют ZrO, а максимумы SiO<sub>2</sub>.
- Исследование образцов без какой-либо специальной подготовки



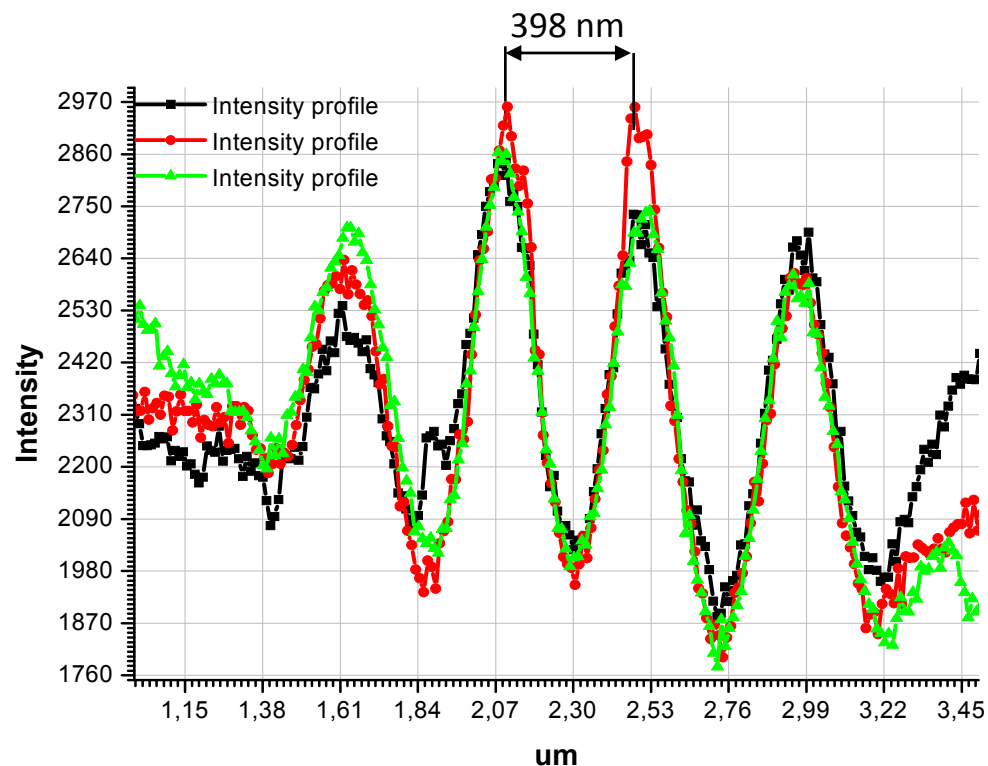
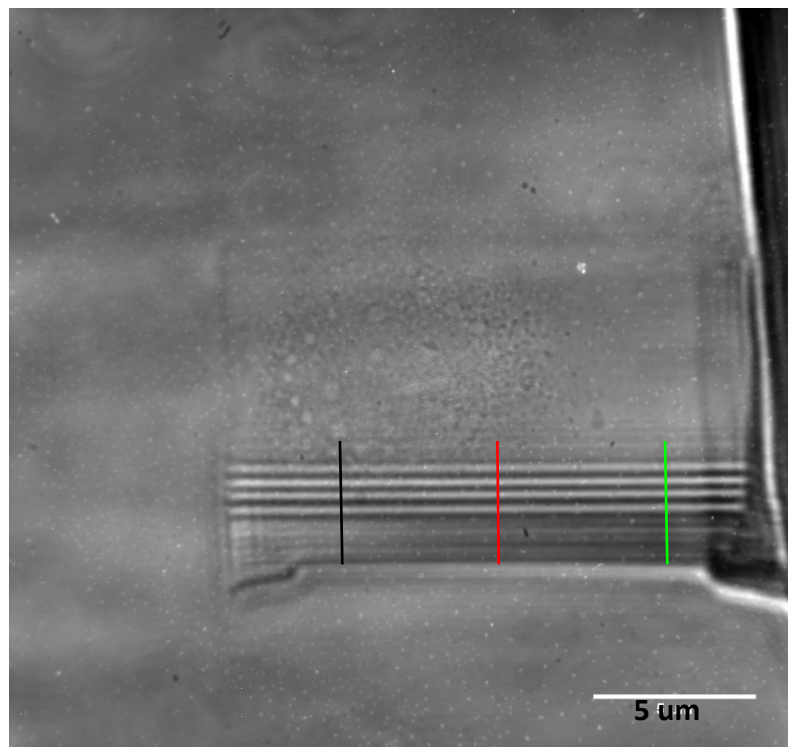
- На кривой сканирования по глубине линзы (Lenses depth scan) минимум соответствует положению фокуса, т.к. сканирование проводилось при фокусировке на слое ZrO.

# Экспериментальная схема ХТМ



CRL: 31 Be линза 030H с радиусом кривизны  
50мкм

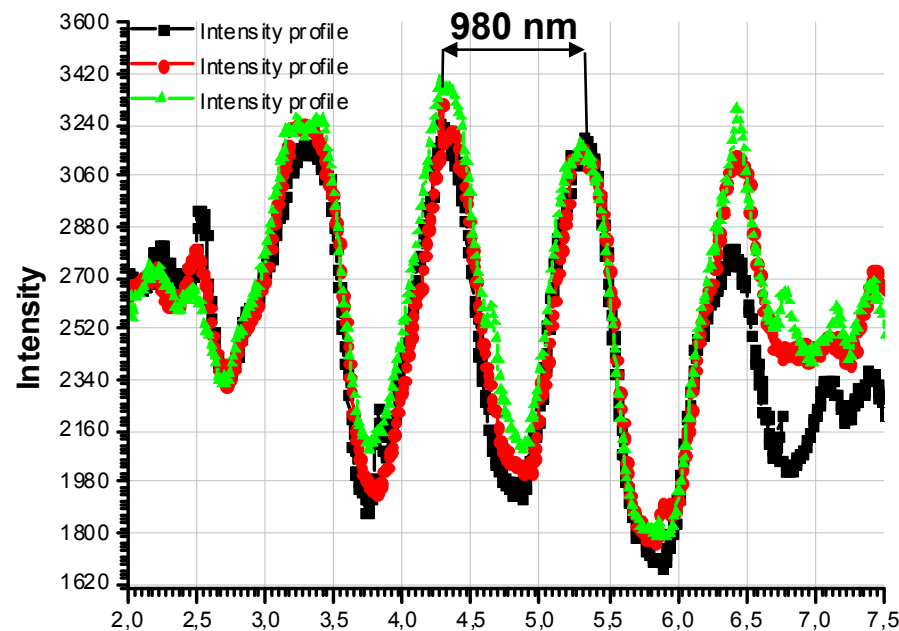
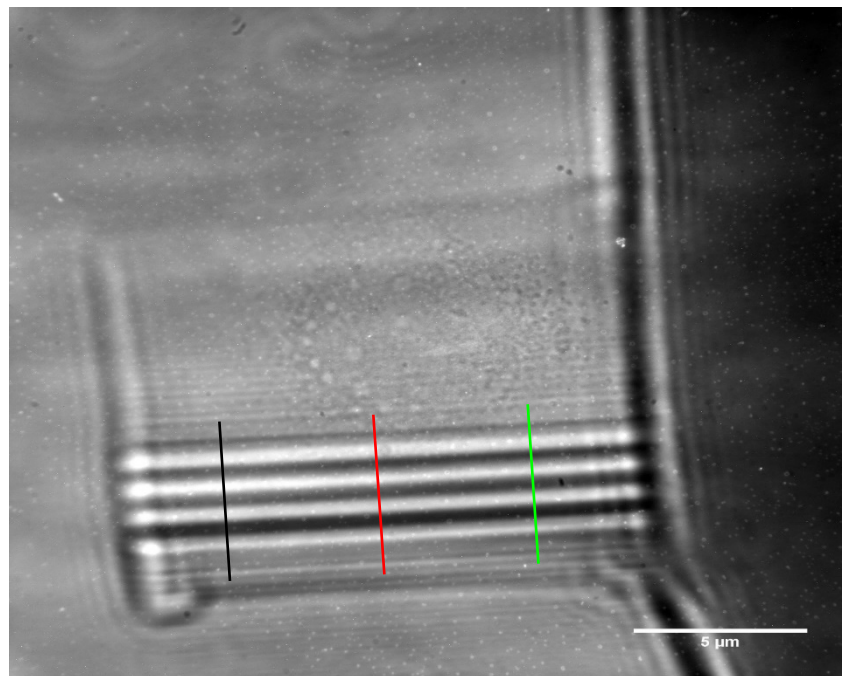
# Результаты ХТМ



Полученный профиль многослойной структуры с толщиной слоя 200нм.



# Результаты ХТМ



**Полученный профиль многослойной структуры с толщиной слоя 500нм.**

- В результате исследования была получена серия изображений исследуемых структур с увеличением в  $X=46$  раз.
- Был различен контраст 0,2%(теор) с утоненного 10 мкм образца (27%-полученный).
- Для такого вида микроскопии необходимо наличие ровных краев образца.

# Выводы

- Мы предлагаем многослойную структуру из чередующихся контрастных слоев в качестве тестовой структуры для определения разрешения оптической схемы и настройки рентгеновского нанозонда.
- В режиме рентгеновской просвечивающей микроскопии была показана возможность регистрации слабого контраста (0,2%) с утоненного 10 мкм образца (27%-полученный).
- CRL - универсальный фокусирующий инструмент, который может быть эффективно использован как для режима рентгеновской микроскопии, так и для создания нанозонда.
- Перспектива дальнейших исследований - применение нанозонда для характеристики интерфейса слоев в многослойных структурах.

# Благодарность:

Анатолий и Ирина Снигиревы (ESRF, Гренобль)

Любомирский Михаил (ESRF, Гренобль)

Carsten Detlefs (ESRF, Гренобль)

Гойхман Александр (БФУ им. И. Канта, Калининград)

Ершов Петр (БФУ им. И. Канта, Калининград)

Лятун Иван (БФУ им. И. Канта, Калининград)

**Спасибо за внимание!**

