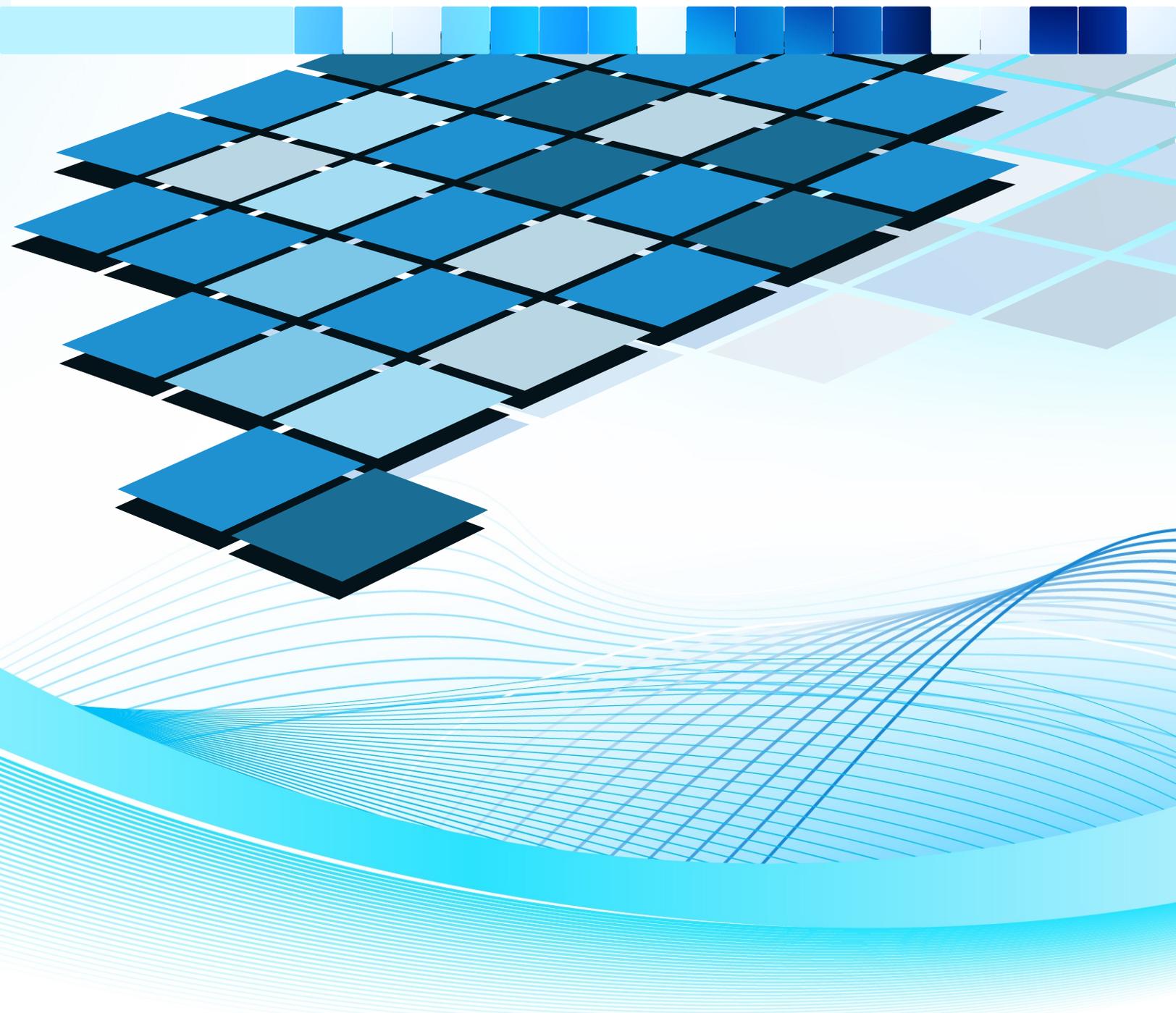




CDP Systems®



COMPEFLEX

Передовые аналитические системы
для исследований материалов и наноструктур



Тип: Рентгеновская аналитическая система

Модель: **COMPLEFLEX**

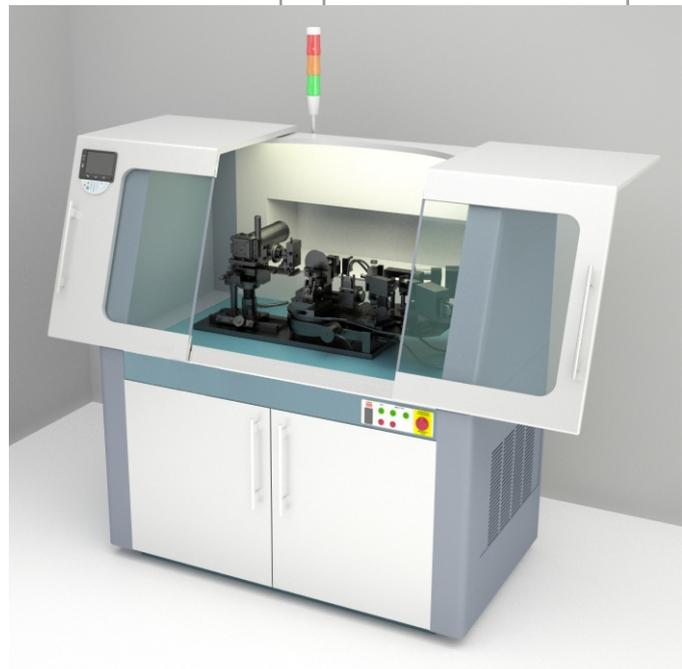
CDP Systems® **COMPLEFLEX**:
бескомпромиссное сочетание
аналитических методов.

Рентгеновская аналитическая система CDP Systems® COMPLEFLEX предназначена для комплексных рентгеновских измерений широкого класса объектов, включая кристаллы, поликристаллы и аморфные среды, наноразмерные структуры. Благодаря инновационной рентгенооптической схеме она обеспечивает уникальные возможности при исследовании тонких пленок, многослойных наноструктур и границ раздела.

Пять основных методов измерений:

- рефлектометрия
- дифрактометрия
- рефрактометрия
- малоугловое рассеяние
- рентгеновская спектрометрия:
 - измерение спектров поглощения
 - рентгеновский флуоресцентный анализ

COMPLEFLEX обеспечивает **наиболее полное сочетание аналитических методов**, которые реализуются на единой измерительной платформе. При этом благодаря использованию острофокусного источника и сменных монохроматоров достигаются рекордные характеристики по угловому разрешению и точности малоугловых измерений.



Запатентованная метрологическая схема, основанная на **параллельной регистрации данных на нескольких длинах волн**, позволяет резко повысить точность и однозначность рентгеновских измерений. Размещение измерительной системы на оптическом столе обеспечивает возможность ее дальнейшего расширения, модификации и размещения дополнительного оборудования.

COMPLEFLEX: уникальная схема параллельных измерений на нескольких длинах волн

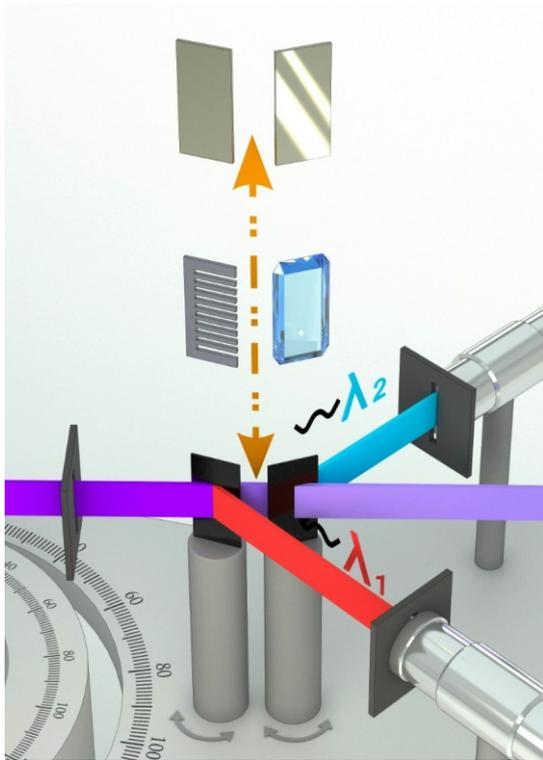


Схема селекции спектральных линий с помощью полупрозрачных монохроматоров

Широкий набор сменных монохроматоров и фильтров

В COMPLEFLEX могут быть установлены разные типы фильтров и монохроматоров, в том числе монохроматор из монокристаллического алмаза, который позволяет выделять поляризованное излучение.

Работа с фильтрами, аттенюаторами и коллимационной системой первичного пучка полностью автоматизирована, что делает работу оператора максимально простой и безопасной.

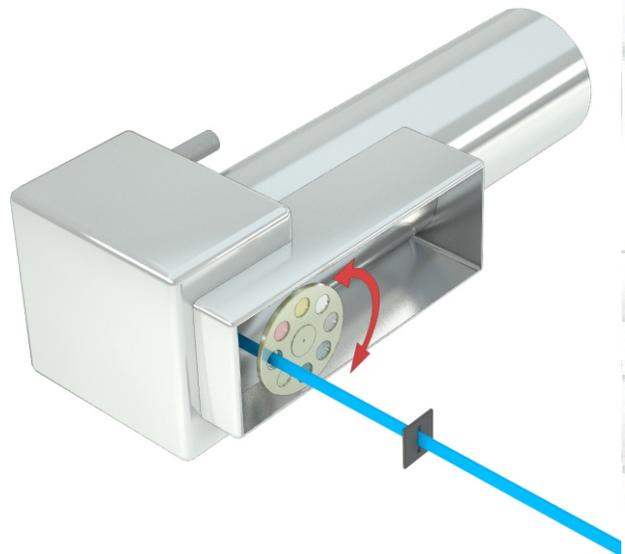
Режим относительных измерений.

На метрологической платформе COMPLEFLEX впервые реализован режим относительных измерений путем измерения отношения сигналов на двух и более выбранных спектральных линиях.

При рентгенооптических измерениях это исключает аппаратные ошибки и позволяет проводить корректные измерения при близких к нулю углах рассеяния.

COMPLEFLEX: полное исключение аппаратных ошибок при относительных рентгено-оптических измерениях

Схема фильтрации первичного пучка



Спектрометрические измерения состава образца

В используемой схеме селекции спектральных линий облучение образца осуществляется характеристическим и тормозным излучением с максимальной энергией рентгеновских фотонов до 40 кэВ. Это обеспечивает возможность определения элементного состава образцов по спектрам рентгеновской флуоресценции. При этом спектрометрические измерения могут проводиться как в статическом положении, так и при угловом или линейном сканировании для получения дополнительной информации о распределении состава по площади и по глубине образца.

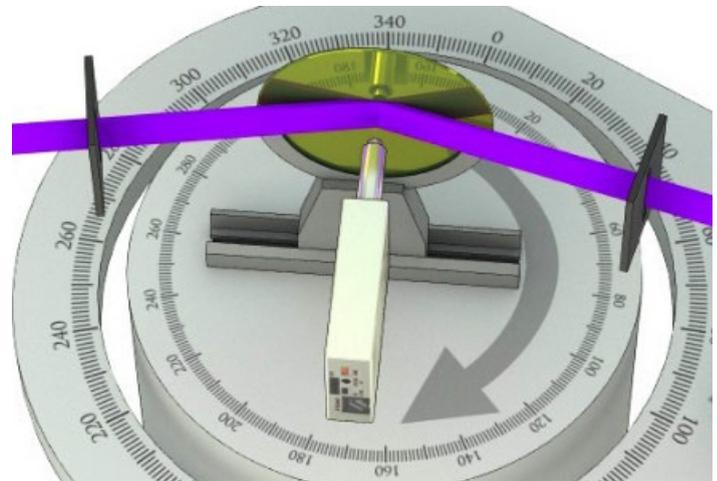
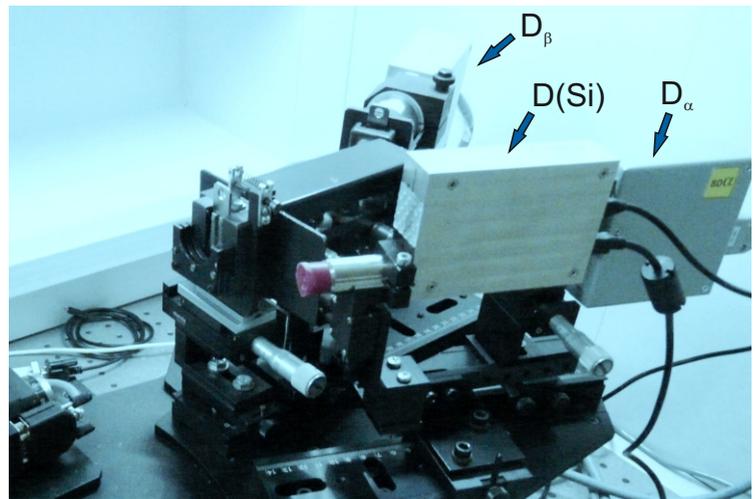


Схема параллельных измерений коэффициента отражения и спектра флуоресценции

Благодаря возможности интеграции в систему дополнительного оборудования, **COMPLEFLEX** позволяет проводить измерения несколькими методами.

Острофокусный источник излучения

При рентгеновских измерениях наиболее важным параметром источника является размер фокуса. В измерительной схеме COMPLEFLEX установлен острофокусный излучатель с размером проекции фокуса 20 мкм (опция 10 мкм). Это позволяет получать рекордно высокое угловое разрешение и впервые использовать на практике метод рентгеновской рефрактометрии при исследовании слоистых наноструктур. Для увеличения интенсивности рентгеновских пучков может эффективно применяться рефракционная и зеркальная фокусирующая оптика.



Комбинированная система детектирования на платформе COMPLEFLEX для одновременных измерений интенсивных монохроматических линий и непрерывной части рентгеновского спектра: D_α , D_β – детекторы монохроматических линий, $D(Si)$ – полупроводниковый спектрометр

Технические характеристики

Базовые группы методов измерений

рентгенооптические

- рефлектометрия
- рефрактометрия
- малоугловое рассеяние

рентгенодифракционные

- дифрактометрия
- фазовый анализ
- анализ текстур

рентгеновская спектрометрия

- измерение эмиссионных рентгеновских спектров
- измерение спектров поглощения

Диапазоны измеряемых параметров

- диапазон измерения толщины тонких слоев от 1 до 400 нм
- величина шероховатости поверхности и переходных слоев от 0.05 нм
- период многослойных структур от 0.5 нм
- плотность поверхностных слоев во всем диапазоне табулированных значений
- параметры кристаллической решетки монокристаллов и поликристаллов от 0.1 нм с относительной точностью 0,01-0,001%
- размеры и концентрации наночастиц и нанопор диаметром от 1 до 50 нм

COMPLEFLEX не требует организации системы подачи и слива воды.

Благодаря замкнутой конструкции внешнего кожуха система полностью отвечает международным стандартам радиационной защиты.

Анализ элементного состава образцов

- определяемые элементы от Al до U
- чувствительность до 50ppm ($5 \times 10^{-3} \%$)
- количество одновременно определяемых элементов не ограничено
- автоматическая идентификация пиков и их маркировка
- генерация модельного спектра по заданному составу пробы
- математическая обработка спектра методом наименьших квадратов
- цифровая фильтрация, нормировка спектров, цифровое удаление фона

Состав и инструментальное исполнение

Источники рентгеновского излучения

Острофокусная рентгеновская трубка с медным анодом, линейной проекцией фокуса 20 мкм в защитном кожухе с автоматической системой управления затвором трубки.

Рентгеновский высоковольтный источник Spellman и блок управления рентгеновской трубкой:

- диапазон регулирования высокого напряжения - 10 до 40 кВ с шагом 0.1 кэВ
- мощность - 300 Вт (опция - 500 Вт)
- пульсации по току и напряжению менее 0,01%
- накал «плавающий» 0-5А 0-10В регулируемый автоматически

Система охлаждения рентгеновской трубки – автономная, воздушно-водяного охлаждения замкнутого цикла.

Система программно управляемых фильтров и аттенюаторов.

Система программно управляемых коллимационных устройств с шагом автоматической регулировки от 1 мкм.

Гониометрическая система углового измерения

Гониометр Θ -2 Θ

- минимальный угловой шаг - 0.0002°
- угловой диапазон:
 - ось вращения детекторов - 140° (-20° - 120°)
 - ось вращения образца - 360°
- минимальный шаг позиционирования по углу 2 Θ не хуже 0.0002°
- минимальный шаг позиционирования по углу Θ не хуже 0.0002°
- система программно управляемых коллимационных устройств, фильтров и аттенюаторов, совмещенных с плитой 2 Θ гониометра.

Система позиционирования и сканирования образца

Система держателя образца с автоматической регулировкой положения в трех плоскостях (XYZ-позиционер)

- автоматическая юстировка, вращение и наклон образца
- диапазон сканирования вдоль направления первичного пучка до 100 мм
- максимальный размер образца - 200 мм (опция - 300 мм)
- вращение и линейное сканирование

Технические характеристики

Блок монохроматизации

- полупрозрачный пирографитовый монохроматор рентгеновского излучения (опция-два) в держателе с линейным и угловым позиционерами.
- массивный пирографитовый монохроматор рентгеновского излучения в держателе с линейным и угловым позиционерами.

Детектирующая система

Два сцинтилляционных детектора на базе кристалла NaI(Tl)

- размер чувствительной области Ø16 мм
- уровень шума на линии CuK_α не более 1 имп за 20 с.
- эффективность регистрации на линии $\text{CuK}_\alpha > 95\%$.

Охлаждаемый полупроводниковый детектор из монокристаллического кремния

- площадь чувствительной области 25 мм²
- энергетическое разрешение на линии 5,9 кэВ 125 эВ
- эффективность регистрации на линии $\text{CuK}_\alpha > 99\%$.

Дополнительные опции

- миниатюрный рентгеновский излучатель с Ag или Au-анодом прострельного типа для количественного рентгенофлуоресцентного анализа элементного состава образцов
- острофокусная рентгеновская трубка с биеlementным анодом для генерации 4 спектральных линий
- алмазный монохроматор для измерений в поляризованном излучении
- рентгеновское зеркало на базе многослойной Ni-C-структуры
- фокусирующая система на базе составной рефракционной линзы.

Средства управления и обработки данных

- встроенный автономный процессор интерфейса инструментального управления составными частями изделия
- многофункциональный универсальный контроллер инструментального контроля и управления электромеханическими элементами, позиционерами, затвором трубки, сцинтилляционными детекторами
- автономный контроллер системы блокировок, электропитания и радиационной безопасности
- программное обеспечение инструментального контроля и управления CDP Systems®
- программное обеспечение системы блокировок, электропитания и радиационной безопасности CompleXSafe®
- программный пакет обработки данных методов измерений CDP Systems®.

Конструкция **COMPLEFLEX** позволяет резко снизить требования к обеспечению радиационной защиты установки, используемому помещению и квалификации допускаемого к работе обслуживающего персонала.

Конструктивные и эксплуатационные параметры

Конструктивное исполнение – моноблок.

Габаритные размеры и масса

- | | |
|-----------|----------|
| - длина | - 143 |
| - глубина | - 103 |
| - высота | - 165 |
| - масса | - 280 кг |

Напряжение электропитания 220 В
50Гц ±5%

Потребляемая мощность не более 1,1 кВт

Диапазон изменения температуры от +10°C до +35°C

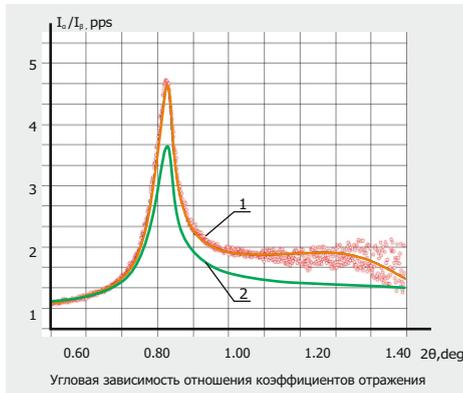
Относительная влажность до (80±3)% при 25°C без конденсации влаги

Устойчивость к механическим воздействиям

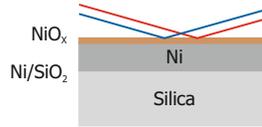
ГОСТ 17516-72 группа М4

Методы измерений

Относительная рентгеновая рефлектометрия



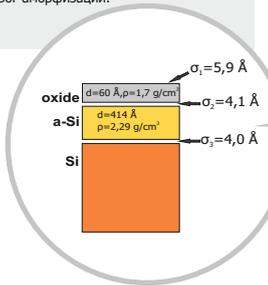
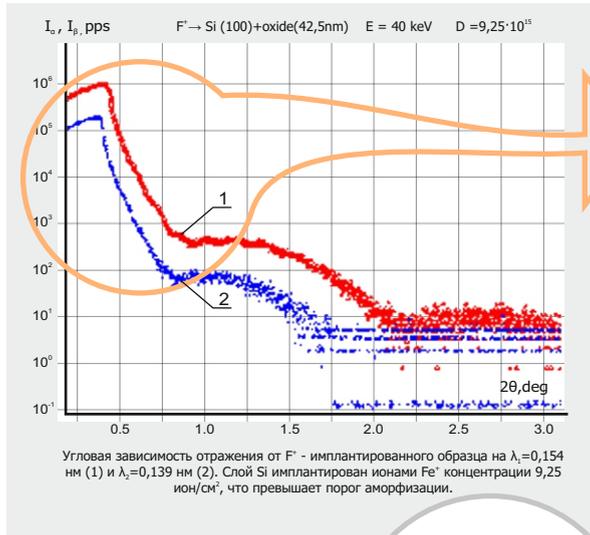
Определение параметров окисного слоя Ni



$\rho(\text{Ni}) = 8,9 \text{ г/см}^3$
 $\rho(\text{NiO}_x) = 5,5 \text{ г/см}^3$
 $x = 1,9$
 $\sigma_i = \sigma_s = 0,5 \text{ нм}$
 толщина NiO_x - 3,0 нм

Угловая зависимость отношения коэффициентов отражения для пленки Ni (900 нм) на подложке SiO₂ (2); сплошная линия: компьютерное моделирование для идеальной поверхности (1)

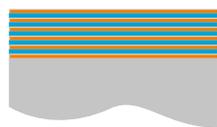
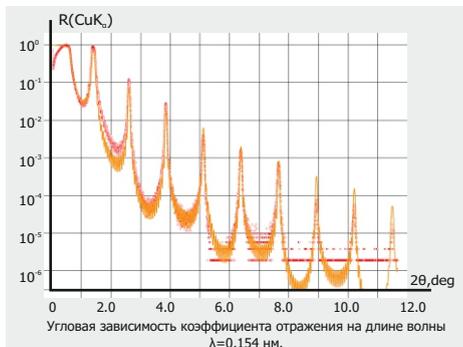
Метод проявления контраста интенсивности



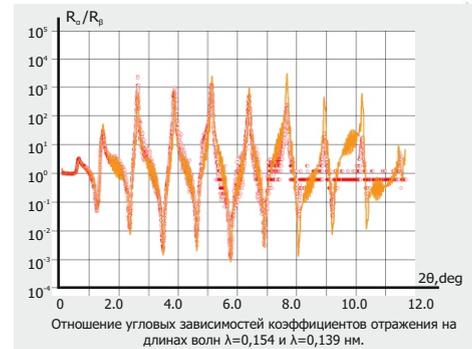
COMPLEFLEX: радикальное проявление контраста интенсивности

Методы исследования многослойных структур

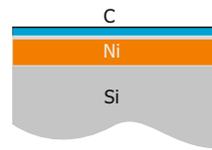
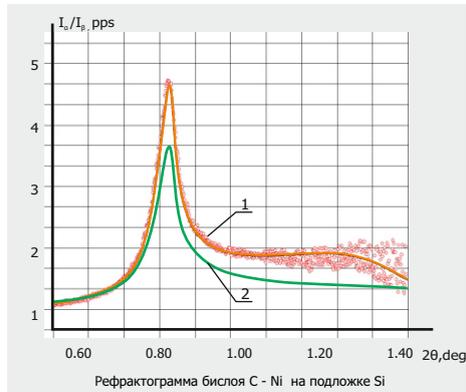
Угловые зависимости коэффициента отражения R(2θ) для наноструктуры Mo-Si/Si



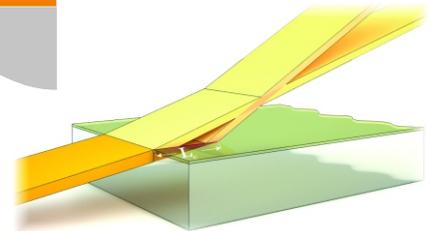
многослойная наноструктура **Mo-Si/Si**
 $N = 20$ $d = 6,90 \text{ нм}$
 $g = 0,38 \text{ нм}$ $s = 0,45 \text{ нм}$



Рентгеновская рефрактометрия

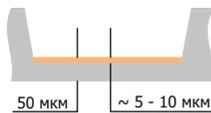


Бислой C - Ni на подложке Si
 C - 33 nm
 Ni - 120 nm
 шероховатость поверхности $s = 0,45$ nm
 осаждение термическим испарением

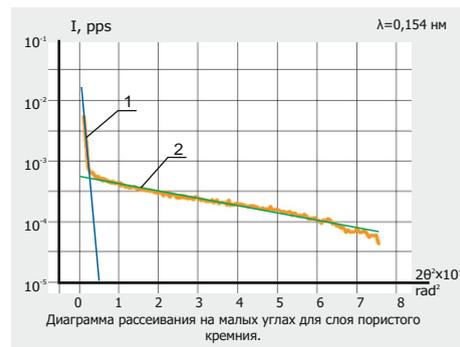


Малоугловое рентгеновское рассеяние

Образец: слой пористого кремния с мембранами толщиной в 50 мкм.

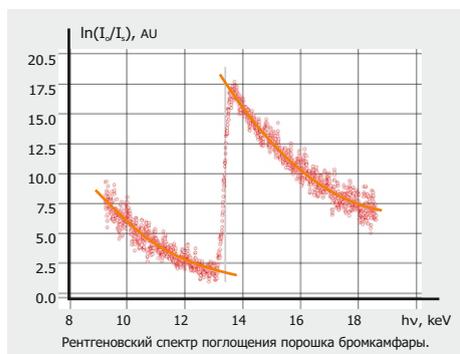


Типичный радиус пор:
 8,2 нм (1) и
 3,4 нм (2).



Измерение спектров поглощения

Образец: порошок бромкамфары
 Рентгеновская трубка с Cu-анодом, режим: 20 кВ, 10 мкА
 Полупроводниковый Si-детектор, 7 мм²



Измерение массы
 элемента в образце:
 Масса Br - 22 мкг
 $D_0 = 1$ мм

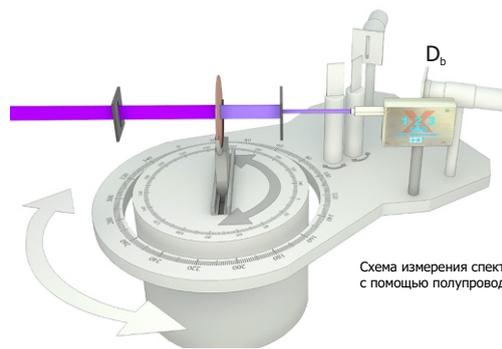
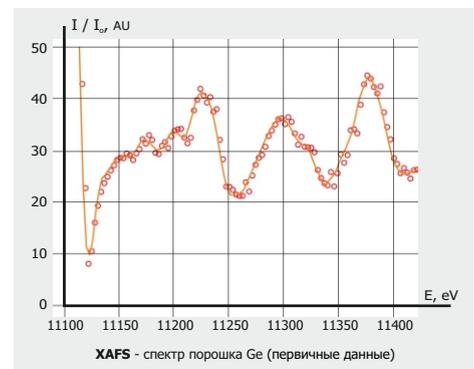


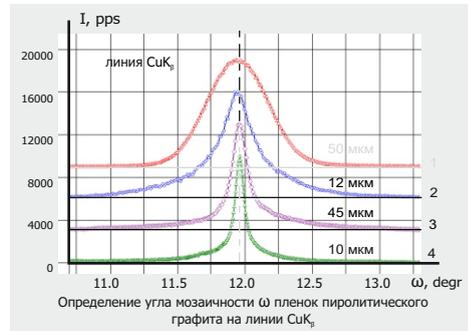
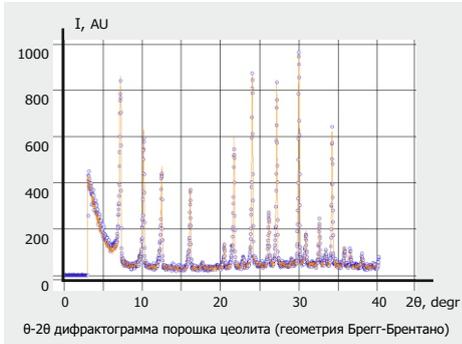
Схема измерения спектров поглощения с помощью полупроводникового спектрометра

XAFS спектроскопия

Измерения на тормозном излучении Cu-анода (300 Вт, 30 кВ) с фокусирующей схемой на базе пленочного HAPG-монокроматора.



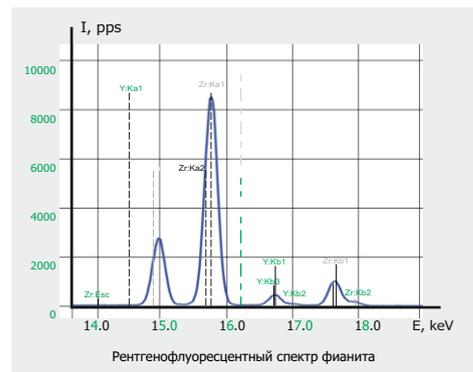
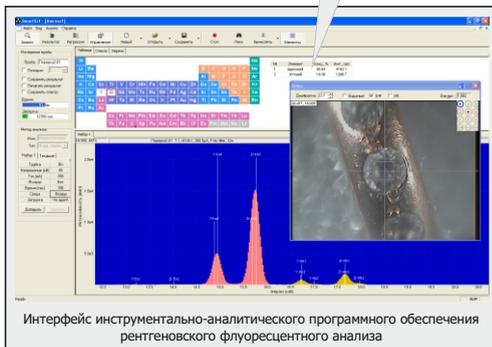
Рентгеновская дифрактометрия



Рентгеновский флуоресцентный анализ

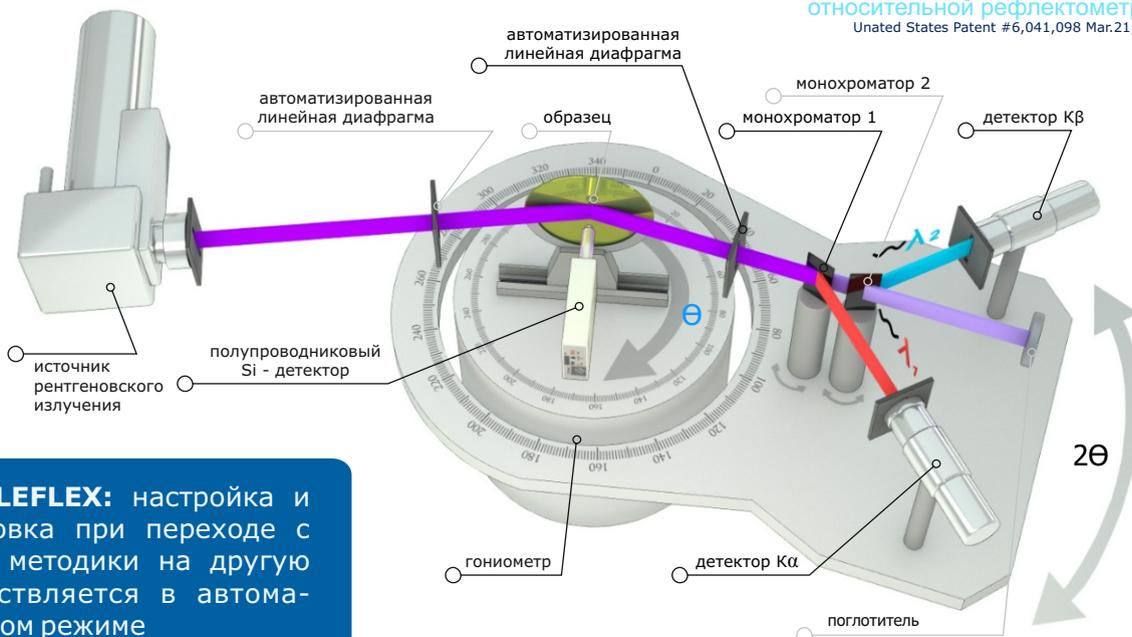
№	Элемент	Конц.,%	Инт.,cps
1	Палладий	15.81	7.7
2	Серебро	37.02	16.5

№	Элемент	Конц.,%	Инт.,cps
1	Цирконий	80.64	7.7
2	Иттрий	19.36	16.5



Образец: кристалл фианита
 Режим: 45 кВ, 200 мкА, без фильтрации
 Полупроводниковый Si-детектор, 7 мм²
 Время экспозиции: 26 сек.

Рентгенооптическая схема метода относительной рефлектометрии
 United States Patent #6,041,098 Mar.21,2000



COMPLEFLEX: настройка и юстировка при переходе с одной методики на другую осуществляется в автоматическом режиме



CDP Systems®

Общество с ограниченной ответственностью «КДП»
(ООО «КДП», правопреемник АО КДП)

Производитель

Компания Общество с ограниченной ответственностью «КДП»
ООО «КДП» (правопреемник АО КДП)

Адрес 119991, РФ, г.Москва, ул. Ленинский проспект, д.53
Address 53, Leninsky Prospect street, Moscow, Russia, 119991

email andru@cdpsystem.com
mfh@cdpsystem.ru

Phone/Fax +7 (499) 135-73-44
WEB <http://www.cdpsystem.ru>

