

Комплексное исследование наноматериалов

Разработка и получение наноматериалов становятся ключевым фактором в развитии нанотехнологии и nanoиндустрии. Качество получаемого наноматериала является важнейшим параметром, обеспечивающим его применение в промышленности и масштабирование технологического производства. К ключевым наноматериалам, имеющим важное производственное значение относятся:

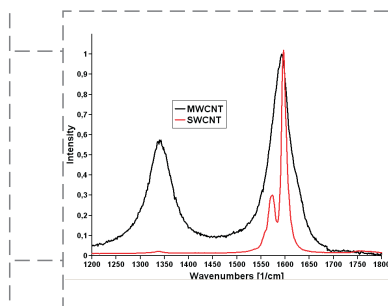
- углеродные нанотрубки;
- графен и его производные;
- нановолокна оксидов металлов (оксид цинка и др.);
- металлические наностержни.

Основными методами исследования наноструктур и материалов в Центре «Зондовая микроскопия и нанотехнология» являются:

- атомно-силовая микроскопия (АСМ);
- сканирующая туннельная микроскопия (СТМ);
- измерение удельной поверхности (сорбтометрия);
- термогравиметрический анализ (ТГА);
- рентгеноструктурный анализ (РСА);
- рентгенофлуоресцентный анализ (РФА);
- спектроскопия комбинационного рассеяния, включая SERS;
- фокусированная ионно-пучковая микроскопия (ФИП).

Метод	Свойства	Размер	Поверхность	Состав	Структура
Атомно-силовая микроскопия		☑			
Сканирующая туннельная микроскопия		☑	☑		
Сорбтометрия		☑	☑		
Термогравиметрический анализ				☑	
Рентгеноструктурный анализ					☑
Рентгенофлуоресцентный анализ				☑	
SERS				☑	
Фокусированный ионный пучок		☑			

Комбинационное рассеяние света



Комбинационное рассеяние света (КРС) является важным инструментом в исследовании состава наноматериалов, позволяя определять специфичные типы межатомных связей. Использование методики гигантского комбинационного рассеяния света (ГКР или SERS) на металлических поверхностях позволяет исследовать малое количество вещества, вплоть до одиночных молекул.

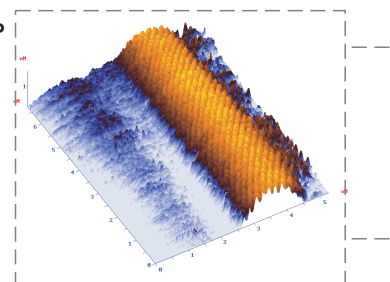
Спектр КРС однослойных (SWCNT) и многослойных (MWCNT) углеродных нанотрубок.

Сканирующая туннельная микроскопия

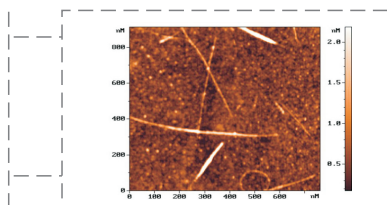
Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) позволяет получать информацию об электрических свойствах поверхности наноматериалов и визуализировать их «реальную» атомную структуру:

- атомное разрешение поверхности наноматериалов;
- локальная плотность состояний;
- работа выхода.

СТМ изображение поверхности углеродной нанотрубки (размер кадра 5x5 нм).



Атомно-силовая микроскопия



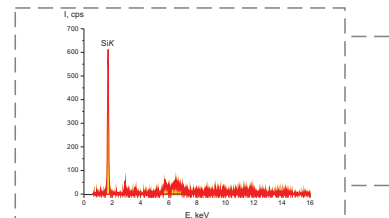
Атомно-силовая микроскопия (АСМ) позволяет определять следующие параметры наноматериалов:

- истинные геометрические размеры (длина, диаметр, высота);
- силу связи с поверхностью (адгезию).

АСМ изображение однослойных углеродных нанотрубок и их пучков

Рентгенофлуоресцентный анализ

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) позволяет проводить качественный и количественный элементный экспресс-анализ различных твердых, порошковых и жидких образцов с разрешением до 50 мкм.

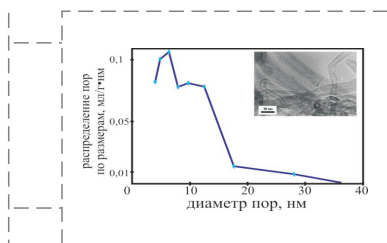


Рентгенофлуоресцентный спектр нанопорошка кремния.

Сорбтометрия

Сорбтометрия позволяет определять сорбционные свойства наноматериалов и композитов и параметры:

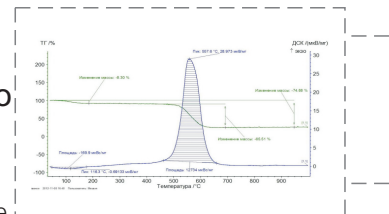
- удельная поверхность;
- пористость (количество пор);
- распределение диаметра пор по размерам.



Зависимость удельного объема пор многослойных УНТ от их среднего диаметра. Удельная поверхность 680 м²/г. Средний диаметр пор 16,4 нм.

Термогравиметрический анализ

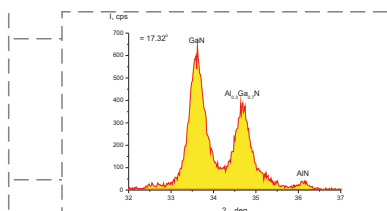
Термогравиметрический анализ (ТГА) позволяет определять термостабильность, состав наноматериала и степень его кристалличности по изменению массы и тепловых потоков при его нагреве до 2400 °С.



Временная зависимость массы (зеленый) и теплового потока (синий) функционализированных однослойных углеродных нанотрубок OCHT-COOH при нагреве.

Рентгеноструктурный анализ

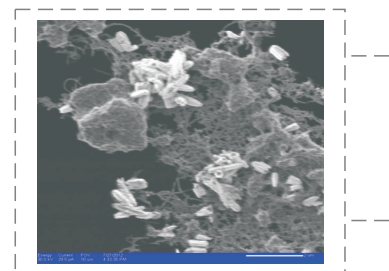
Рентгеноструктурный анализ позволяет изучать структуру, состав, дефектность различных кристаллических образцов, гетероструктур и тонкопленочных наноструктур, не разрушая образец.



Дифрактограмма гетероструктуры GaN/Al_xGa_{1-x}/AlN, выращенной на подложке сапфира.

Фокусированная ионная микроскопия

Фокусированная ионно-пучковая микроскопия (ФИП) обладает разрешением, сравнимым со сканирующей электронной микроскопией, но позволяет проводить удаление или вытравливание (создание срезов) образцов в процессе исследования. ФИП микроскопия позволяет повысить контраст изображений за счет увеличения количества генерируемых вторичных электронов.



ФИП изображение смеси углеродных нанотрубок и наностержней ZnO.