

# Растровая электронная микроскопия для изучения микроструктуры материалов:

## курс дополнительного профессионального образования в ИОНХ РАН

Д. А. Козлов<sup>1</sup>

В Институте общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова (ИОНХ РАН), начиная с 2022 года, реализуется программа дополнительного профессионального образования «Растровая электронная микроскопия для изучения микроструктуры материалов». Курс разработан сотрудниками Института и включает как теоретические основы метода, так и практические занятия, в том числе на специализированном симуляторе.

Сегодня все большее количество приборов для физико-химического анализа становятся доступны широкому кругу исследователей. Возрос спрос на достоверные и экспрессные методы идентификации и химической характеристики веществ. Растровая электронная микроскопия (РЭМ) – один из наиболее универсальных методов диагностики и визуализации, дающих полное представление о поверхностном рельефе изучаемых объектов на микро- и наноуровне. С помощью метода можно в достаточно короткие сроки получить информацию об элементном и фазовом составе образцов. Поэтому актуальной задачей является подготовка квалифицированных операторов-микроскопистов, обладающих хорошей теоретической подготовкой и практическими навыками, которые способны не только получить и интерпретировать результаты исследования, но и обеспечить работоспособность дорогостоящего оборудования. Помимо этого, понимание учеными возможностей растровой электронной микроскопии и родственных методов анализа позволяет им грамотно выстраивать стратегию проведения исследований веществ и материалов, что

важно при сотрудничестве с центрами коллективного пользования.

Курс «Растровая электронная микроскопия для изучения микроструктуры материалов» – новаторская разработка сотрудников одного из ведущих исследовательских химических институтов – ИОНХ РАН. Курс совмещает богатую теоретическую базу и накопленный многолетний практический опыт исследования различных материалов методами



Д. А. Козлов читает лекцию слушателям курса

<sup>1</sup> Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова.

электронной микроскопии. Цель курса – формирование у обучающихся систематизированных представлений о современных возможностях растровой электронной микроскопии и совмещенных с ней физико-химических методах анализа микроструктуры и состава широкого спектра веществ и материалов.

Теоретическая часть представлена в виде восьми лекционных занятий, на которых в первую очередь разбираются эффекты, возникающие при взаимодействии электронов с веществом, принципы формирования изображений в электронной микроскопии и современные возможности приборов. Отдельно рассматриваются сопряженные с РЭМ аналитические методы анализа, такие как рентгеноспектральный микроанализ (РСМА), дифракция отраженных электронов (ДОЭ). Основной упор в курсе сделан на современные возможности данных методов анализа и обработку получаемых в ходе исследования результатов. Заключительные лекции сфокусированы на демонстрации взаимосвязи физико-химических основ метода и его практического применения при исследовании различных неорганических материалов, функциональных наноматериалов, биологических объектов и др. В ходе лекций и практических занятий обучающиеся знакомятся с основами пробоподготовки, этапами настройки электронной оптики, режимами получения изображений и подходами к регистрации данных РСМА и карт ДОЭ.

Практический блок занятий включает в себя семинары и базовое знакомство с оборудованием. Суммарно практической работе посвящено десять академических часов. На семинарских занятиях подробно разбираются результаты исследования реальных образцов, обучающиеся осваивают программное обеспечение для обработки данных РЭМ и РСМА (Gwyddion, ImageJ, HyperSpy), получают представление об основных методах статистического анализа изображений, методах устранения артефактов съемки на РЭМ-изображениях.

Практические занятия организованы с привлечением электронных микроскопов высокого разрешения, которыми оснащена приборная база центра коллективного пользования Института общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН, а именно NVision 40 (CarlZeiss, Германия) и AMBER GMH (Tescan, Чехия). Наиболее распространенные объекты для исследования на данном оборудовании: дисперсные порошки неорганических веществ, керамические материалы, сплавы, композиционные покрытия, волокнистые структуры, биологические объекты и биоматериалы. Каждый из указанных микроскопов способен давать увеличение в несколько

сотен тысяч раз с хорошим пространственным разрешением, позволяет анализировать элементный состав образцов, оснащен различными детекторами (обратно отраженных и вторичных электронов), сочетание работы которых дает полное представление о топографическом и композиционном контрасте исследуемой поверхности. Оба микроскопа также способны работать при низких ускоряющих напряжениях (менее 1 кВ), что позволяет исследовать объекты, чувствительные к высокоэнергетическому воздействию или заряду на поверхности, например биологические объекты, диэлектрики, полимерные материалы. Важной составляющей микроскопов является приставка для травления поверхности образцов фокусированным ионным пучком, с помощью которой можно отделить фрагмент материала толщиной до ~10-100 нм.

Помимо указанных инструментальных возможностей для решения материаловедческих задач, каждый из приборов имеет собственные уникальные характеристики. В частности, растровый электронный микроскоп CarlZeiss NVision 40 оснащен детектором дифракции отраженных электронов Nordlys II S, с помощью которого можно определить взаимную кристаллографическую ориентацию отдельных зерен в различных сплавах или пленках. Особенностью растрового электронного микроскопа Tescan AMBER GMH является наличие просвечивающего режима съемки, необходимого для анализа ультратонких и ультрадисперсных материалов, например ламелей или золей, с высоким разрешением.

В результате прохождения практической части курса обучающиеся осваивают пробоподготовку образцов и базовую настройку растрового электронного микроскопа для получения изображений и данных рентгеноспектрального микроанализа, овладевают методами получения и обработки результатов измерений, учатся выбирать оптимальные режимы работы растрового электронного микроскопа при накоплении изображений и спектров, а также приобретают навыки интерпретации и оценки достоверности полученных данных. Для лучшего усвоения теоретической информации и практических навыков курс предполагает самостоятельную работу с рекомендуемой литературой, а также тренировку на специализированном симуляторе растрового электронного микроскопа, доступного по ссылке <https://myscope.training/>.

Полученные знания и навыки особенно полезны для молодых исследователей, начинающих знакомство с данными методами анализа и работающими преимущественно в областях разработки и исследования материалов.



Слушательница курса А. Д. Филиппова во время практического занятия

Курс не предусматривает входного контроля уровня подготовки, но успешное освоение программы предполагает наличие у обучающихся углубленных знаний в области электромагнетизма, неорганической химии и кристаллохимии, а также навыков пользования ПК, опыта работы в стандартных текстовых и графических редакторах. Итоговая аттестация проходит в формате тестирования с дополнительным заданием по обработке или

интерпретации результатов РЭМ/РСМА. Освоившим курс выдается удостоверение о повышении квалификации.

Курс «Растровая электронная микроскопия для изучения микроструктуры материалов» прошел успешную апробацию летом 2022 года на базе ИОНХ РАН, по итогам которой на основании запроса обучающихся была проведена частичная корректировка лекционного материала, призванная упростить и дополнить наиболее сложные для понимания слушателей разделы. При необходимости базовый курс может быть дополнен и адаптирован под профильные отраслевые задачи, такие как применение методов РЭМ в микроэлектронике, металловедении, исследовании функциональных наноматериалов или изделий, полученных с использованием аддитивных технологий.

Растровая электронная микроскопия – уникальный быстроразвивающийся и широкодоступный метод исследования, позволяющий не только визуализировать исследуемые материалы, но и проводить их химический анализ и оценку фазового состава. Развитие метода позволило значительно расширить спектр изучаемых объектов, делая его незаменимым при исследовании, например, керамических материалов, сталей и сплавов, функциональных наноматериалов, биоматериалов и биологических объектов, полимеров. α



## ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Юрген Бёккер  
**СПЕКТРОСКОПИЯ**

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2021. – 528 с., ISBN 978-5-94836-220-5

Цена 760 руб.

Спектроскопия как средство описания атомов, ионов и молекул с помощью типовых длин волн, измеряемых при возбуждении, принадлежит сегодня к важнейшим и самым распространенным методам инструментальной аналитики. Специальные измерительные устройства, в том числе абсорбционные и эмиссионные спектрометры, обеспечивают точное определение количественного и качественного состава газообразных, жидких и твердых веществ.

В книге дается обзор разных методов атомной и молекулярной спектрометрии и рассматриваются многие аналитические проблемы, решаемые в лабораториях промышленных предприятий, в естественнонаучных и технических учреждениях, а также проблемы изучения и защиты объектов окружающей среды. В книге представлена широкая гамма существующих методов исследования, а также перечень приборов с руководством по их применению.

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

125319, Москва, а/я 91; тел.: +7 495 234-0110; факс: +7 495 956-3346; e-mail: knigi@technosfera.ru; sales@technosfera.ru



# КОМПЗИТ-ЭКСПО

Пятнадцатая международная специализированная выставка

28 - 30 марта 2023

Москва, ЦВК «Экспоцентр»,  
павильон 1

## Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: смолы, добавки, термопластики, углеродное волокно и т.д.
- Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик, углепластик, графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК), т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Технологии производства композитных материалов со специальными и заданными свойствами
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Сертификация, технический регламент
- Компьютерное моделирование
- Утилизация

Специальный раздел выставки:  
**КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ**



выставка  
участник  
системы



независимый  
выставочный  
аудит

## Информационная поддержка:



## Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»

115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507

Тел.: 8 495 988-1620 | E-mail: info@composite-expo.ru | Сайт: www.composite-expo.ru



youtube.com/user/compoexporusia



@compoexporus



@ocompo

## Организатор:



# ПОЛИУРЕТАНЭКС

Тринадцатая международная специализированная выставка

28 - 30 марта 2023

Москва, ЦВК «Экспоцентр»,  
павильон 1

## Основные разделы выставки:

- Сырье для производства полиуретанов (добавки, красители, катализаторы, наполнители, и т.д.)
- Оборудование и станки для производства и переработки полиуретанов (расходомерия, шестереночные, оседагональные (шнековые), шлепперные насосные установки, обрабатывающие станки, и т.д.)
- Конечная продукция (контактное уплотнение при литье, фильтры и т.д.)
- Услуги (лабораторные испытания, охрана здоровья и безопасность, переработка, защита окружающей среды, научные разработки)
- Техническое обслуживание оборудования
- Тестовое оборудование

Специальный раздел выставки:  
**КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ**



выставка  
участник  
системы



независимый  
выставочный  
аудит

## Информационная поддержка:



## Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»

115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507

Тел.: 8 495 988-1620 | E-mail: info@polyurethanex.ru | Сайт: www.polyurethanex.ru



youtube.com/user/polyexporu



@polyexporus



@ocompo

## Организатор:

