

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

DOI: 10.31857/S0023476121040111

В настоящем выпуске журнала собраны обзоры и статьи, объединенные одной тематикой – исследованиями материалов методами электронной микроскопии и микроанализа. Такой выбор редакции связан с желанием представить те значительные изменения в технике и методах электронной микроскопии, которые произошли за последние 15 лет. Безусловно, развитие электронной микроскопии сопутствует прогрессу в разработках новых материалов, технологий и устройств в области материаловедения, химии, физики и, может быть еще в большей степени, молекулярной биологии, включающей в себя протеомику, вирусологию, генетику и цитологию.

В начале 2000-х годов разработкой международной группы TEAM началось производство просвечивающих и просвечивающих растровых электронных микроскопов (ПЭМ и ПРЭМ соответственно) TITAN 80-300 с коррекцией сферической аберрации осветительной (конденсорной) системы и объективной линзы. Это позволило улучшить пространственное разрешение ПЭМ и ПРЭМ до 0.047 нм. Такое разрешение достаточно для получения изображений с атомным разрешением практически всех неорганических кристаллов во всех низкоиндексных кристаллографических проекциях. Следующий значительный шаг – использование высококогерентных источников электронов, в частности монохроматоров электронной пушки. Кроме значительного повышения контраста и пространственного разрешения монохроматор позволяет улучшить энергетические характеристики аналитических методов, в том числе спектрометрии энергетических потерь энергии электронов. Исследования, выполненные этим методом, рассмотрены в статье Приходько и др. “Применение спектрометрии энергетических потерь энергии электронов для анализа микроструктуры реакторных материалов”. Используя современные приборы, стало возможным, например, определять не только сорт атомных колонок, но и их электронные характеристики, в частности валентность. Благодаря разработке новых быстродействующих пленочных кремниевых детекторов большой площади и новой электронной оптики пространственное разрешение энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии также достигло атомного разрешения. Необходимо отметить и развитие широкоугольных циф-

ровых камер с высоким быстродействием. Использование таких камер позволило полностью отказаться от “мокрой” химии в электронной микроскопии, применяемой с момента разработки электронного микроскопа Э. Руской и М. Кноллем в 30-х годах прошлого века. Высокая чувствительность и быстродействие камер оказались необходимыми параметрами в микроскопии биологических объектов, главным образом в криоэлектронной микроскопии, определяющими пространственное разрешение и размеры исследуемых биологических объектов.

Технические достижения подтолкнули к разработке нескольких новых методов, один из которых – определение точечных дефектов и оценка их плотности. Появились возможности трехмерной реконструкции объектов исследования с атомным разрешением. Такие работы выполняются в НИЦ “Курчатовский институт”.

Еще один новый метод – времяразрешающая электронная микроскопия. Достижения в этой области подробно рассмотрены в обзоре Асеева и др. “Ультрабыстрая электронная микроскопия – инструмент XXI века”. По-прежнему актуальной остается отражательная электронная микроскопия, представленная в обзоре Рогило и др. (Институт физики полупроводников СО РАН) “*In situ* отражательная электронная микроскопия для анализа на поверхности кремния: сублимации, электромиграции, адсорбции примесных атомов”. К сожалению, объем и направленность на оригинальные исследования настоящего выпуска не позволяют представить все новые методы, используемые мировым научным сообществом. Так, в отдельном выпуске будут собраны работы по криоэлектронной микроскопии, которая сейчас стремительно развивается: пространственное разрешение достигло атомного уровня (0.19 нм), количество расшифрованных белков, согласно данным банка данных трехмерных структур, подбралось к 7000.

Еще одним импульсом развития исследований в области электронной микроскопии послужили разработка и коммерческое производство двухлучевых электронно-ионных микроскопов, в которых растровая электронная микроскопия (РЭМ) сочетается с растровой ионной микроскопией (РИМ). Оказалось, что такие приборы часто необходимы и незаменимы для прецизионного

приготовления образцов для ПЭМ/ПРЭМ. В частности, метод фокусированного ионного пучка (ФИП) в РИМ–РЭМ используется для изготовления образцов из многофазных, неоднородных образцов, пористых, волокнистых объектов, т.е. материалов, подготовка которых другим методом практически невозможна. В представленном вашему вниманию выпуске такая методика подготовки образцов применялась и описана, например, в работах Мохова и др. “Электронная микроскопия в исследованиях лунного реголита”, Шкловера и др. “Исследование морфологии и кристаллической структуры природных кремнеземов методами электронной микроскопии и электронографии”, в ряде других статей.

Технологические достижения значительно повлияли и на РЭМ. Благодаря источникам электронов с полевой эмиссией, новой электронной оптике и появлению разнообразных детекторов стало возможным проводить исследования материалов с пониженным ускоряющим напряжением. Это существенно расширило спектр исследуемых материалов. Одна из представленных работ (Орехов и др.) представляет результаты исследования методом РЭМ при пониженном ускоряющем напряжении микроструктуры композиционного гидрогеля поли-*n*-винилпирролидона. Ра-

нее такие образцы изучать методом РЭМ было невозможно. Безусловно, нельзя обойти стороной традиционные методы исследования, связанные с РЭМ. Е.Б. Якимовым представлен обзор “Исследования широкозонных полупроводников методом наведенного тока”, в котором обсуждается классический метод исследования электрически активных дефектов в полупроводниках. В работе Мальцева и др. “Применение метода EBSD для исследования механизмов разрушения сталей корпусов реактора под действием эксплуатационных факторов” обсуждается использование метода дифракции обратно рассеянных электронов в РЭМ для исследования конструкционных сталей.

Надеемся, что выпуск вызовет интерес у читателей широкой научной направленности, а авторов призываем к участию в подобных изданиях журнала “Кристаллография”.

*Главный редактор журнала “Кристаллография”
член-корреспондент РАН
Профессор М.В. Ковальчук
Приглашенный редактор
кандидат физико-математических наук
А.Л. Васильев*