

## **МЕТОДЫ СОВРЕМЕННОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ В ИССЛЕДОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ\***

Электронная микроскопия была изобретена Э. Руской и М. Ноллом в 1931 году [1]. Первый электронный микроскоп работал в режиме просвечивания. Однако четыре года спустя М. Нолл с коллегами разработал прототип современного сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) [2]. Основной целью их исследований было изучение взаимодействия электронов с поверхностью образца, поэтому фокусировке пучка электронов не уделялось должного внимания, что привело к пространственному разрешению около 100 мкм.

В 1938 году профессор фон Арденн использовал две магнитные линзы и сканирующие катушки для сканирования сфокусированным электронным пучком диаметром 50–100 нм по образцу [3]. Это был первый эксперимент по обнаружению сигналов от сфокусированного электронного пучка. Отсутствие эффективных детекторов для вторичных и обратноотраженных электронов в то время означало, что оборудование в основном использовалось в качестве сканирующего просвечивающего электронного микроскопа (STEM), детектирующего прошедшие электроны с использованием фотопленки.

В конце XX столетия Ч. Оутли с коллегами из Кембриджского университета работали над физической интерпретацией процессов, протекающих при исследовании материалов с помощью СЭМ [4]. Предложенные ими усовершенствования оборудования, включая детектор Эверхарта – Торнли, позволили СЭМ достичь коммерческого уровня применения.

Достижения в области нанотехнологий за последнее десятилетие сделали сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) незаменимым и мощным инструментом для анализа и конструирования новых наноматериалов. Разработка

наноматериалов требует передовых методов и навыков для получения изображений высокого качества, понимания наноструктур и улучшения стратегий синтеза. Ряд достижений в СЭМ, таких как полевые источники электронов, обнаружение обратного рассеяния электронов (EBSD) и построение карт химических элементов, позволили улучшить анализ наноматериалов. В дополнение к характеристике материалов, СЭМ может быть интегрирован *in-situ* с новейшими технологиями для разработки и изготовления наноматериалов. Некоторые примеры этой интегрированной технологии включают наноманипуляцию, электронно-лучевую нанолитографию и методы фокусированного ионного пучка (FIB). Хотя эти методы все еще разрабатываются, они широко применяются во многих сферах исследований наноматериалов.

Предлагаемый доклад познакомит с некоторыми новыми достижениями в методах сканирующей электронной микроскопии и продемонстрирует их возможные применения.

*Результаты исследований, представленных в докладе, получены с использованием оборудования УЦКП «Современные нанотехнологии» ИЕНиМ УрФУ.*

### **Список литературы**

1. *Ruska E.* The development of the electron microscope and of electron microscopy // Biosci. Rep. – 1987. – V. 7. – P. 607–629. DOI: 10.1007/BF01127674
2. *Knoll M.* Charging potential and secondary emission of bodies under electron irradiation // Z. Tech. Phys. – 1935. – V. 16. – P. 467–475.
3. *Ardenne M. von.* The scanning electron microscope: practical construction // Z. Tech. Phys. – 1938. – V. 19. – P. 407–416.
4. *Oatley C.W.* The early history of the scanning electron microscope // J. Appl. Phys. – 1982. – V. 53. – P. R1–R13. DOI: 10.1063/1.331666