

Выполнил: Белявский М.А.

Научный руководитель: Кузнецова Ю.В.

Ранее проведены исследования микроструктуры сплавов  $R(Co,Cu)_5$ , где  $R - Sm$ , методами атомно-силовом микроскопии (АСМ) на установке сканирующей зондовой микроскопии SOLVER P47 контактным методом [1]. В результате были получены изображения распределения ликвационных неоднородностей на поверхности образца и при помощи инструмента программы микроскопа «Grain Analysis» была оценена их форма и распределение по размерам.

Однако при применении программного обеспечения микроскопа исследователю необходимо обрабатывать большое число сканов на различных участках образца. Для полноценного режима автоматического поиска объектов и определения их размеров был разработан Web-сервис ParticlesNN [2], на основе нейронной сети CascadeRCNN. Обученная нейронная сеть способна распознавать наночастицы как четкие контуры. Web-сервис производит обработку полученных результатов, определяя размеры контуров и их статистические параметры – степень покрытия, концентрацию, средний размер, распределение частиц по размерам. Web-сервис ParticlesNN отличается от других программных продуктов следующими особенностями: 1) возможна обработка изображений, которые содержат шумы, артефакты, характерные для изображений зондовой микроскопии, без дополнительной обработки; 2) пользователь может проводить корректировку автоматически определенных контуров с помощью внешних программных продуктов; 3) реализована статистическая обработка нескольких изображений; 4) результаты обработки выдаются в виде гистограммы и таблиц, в которых доступна информация по всем идентифицированным объектам; 5) реализовано уточнение контуров частиц с помощью процедуры фиттинга гауссовым 2D-распределением.

Для исследований были отобраны квазибинарные соединения  $GdCo_4Cu$ . Исходные сплавы были получены методом индукционной плавки с последующим гомогенизирующим отжигом. Температуры отжигов выбирались порядка 1000-1200°C, а время выдержки составляло 5-50 часов. Отжиги производились в вакууме не ниже  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  мм. рт. ст..

Для АСМ-исследований изготавливались металлографические шлифы образцов соединения  $GdCo_4Cu_1$ , которые подвергались электрохимическому травлению. Морфология поверхности исследуемых образцов представлены на рис. 1.

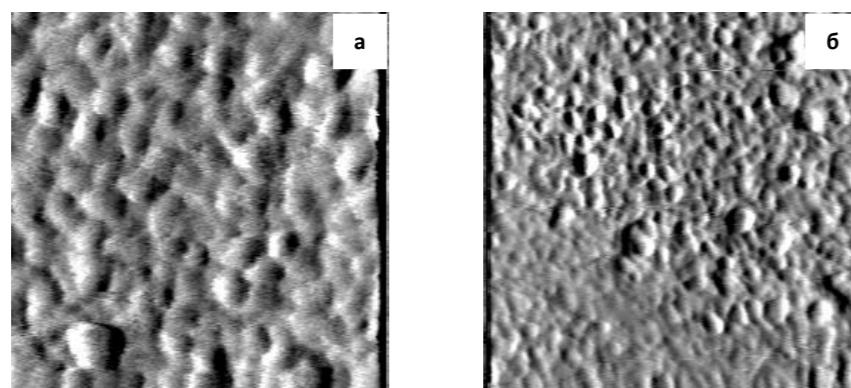


Рис.1. Изображение рельефа поверхности образцов  $GdCo_4Cu$ . Размеры сканов: 500x500 нм (а), 1000x1000 нм (б)

Далее полученные изображения обрабатывались Web-сервисом ParticlesNN для оценки среднего размера микронеоднородностей. Результаты обработки изображений представлены на рис. 2.

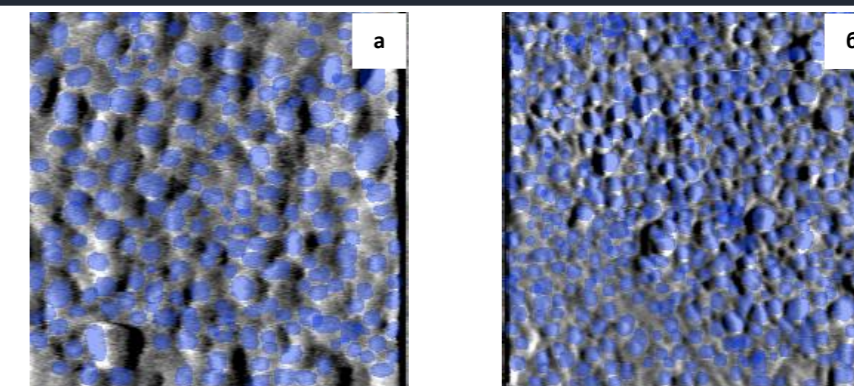


Рис.2. Изображения рельефа поверхности образца  $GdCo_4Cu$  с учетом обработки ParticlesNN. Размеры сканов: 500x500 нм (а), 1000x1000 нм (б)

В результате построены гистограммы распределения ликвационных неоднородностей по размерам, представленные на рис. 3. Результаты обработки изображений поверхности представлены в таблице 1.

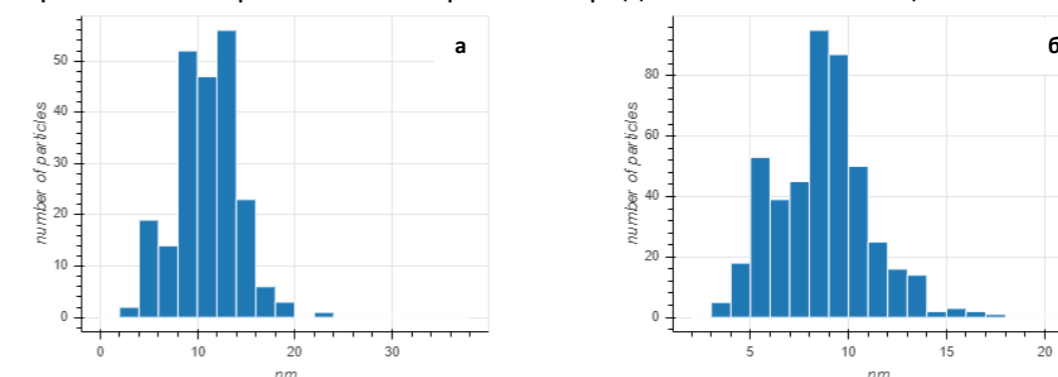


Рис.3. Гистограммы распределения числа частиц по размерам для сканов: 500x500 нм (а), 1000x1000 нм (б)

Табл. 1. Полученные данные после обработки Web-сервисом ParticlesNN

	Образец 1	Образец 2
Число частиц	223	455
Площадь частиц, %	34.732	42.489
Средний диаметр, pix	22.94	18
Средний диаметр, нм	11.24	9.8
Плотность частиц (на 1000 pix)	3.4027	6.9427

Показано, что в результате работы программного продукта Web-сервис ParticlesNN полученные данные коррелируют с данными, полученными с помощью инструмента программного обеспечения микроскопа «Grain Analysis» и обнаружено, что наиболее вероятные значения размеров микронеоднородностей сопоставимы с шириной доменной границы из работы [3]. Установлено, что использование Web-сервиса ParticlesNN позволяет ускорить статистическую обработку изображений за счет параллельной обработки большого числа АСМ-сканов в автоматическом режиме.

Список литературы:

- Кузнецова Ю.В., Супонев Н.П. Анализ рельефа поверхности монокристаллов сплавов  $Sm(Co,Cu)_5$  методами атомно-силовой микроскопии / Ю.В. Кузнецова, О.Б. Дегтева, Н.П. Супонев, Э.Л. Айриян // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2012. - № 4. – С. 143-147.
- <http://particlesnn.nsu.ru/>
- Кузнецова, Ю.В. Исследование рельефа поверхности монокристаллов  $Gd(Co,Cu)_5$  методами атомно-силовой микроскопии / Ю.В. Кузнецова, О.Б. Дегтева, Н.П. Супонев, П.С. Салев // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2011. – № 11. – С. 89-94.