

УДК 53

ФОРМИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ СМЕЩЕНИЯ ОБРАЗЦА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НАНОЧАСТИЦ В СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

П. В. ГуляевИнститут механики УрО РАН,
г. Ижевск

Описаны основные принципы применения детекторов частиц, программ взаимной привязки перекрывающихся изображений, устройств позиционирования и датчиков для исследования наночастиц в сканирующей зондовой микроскопии.

Ключевые слова: сканирующая зондовая микроскопия, координатная привязка, характерные точки изображения, сдвиг, поворот изображений.

При контроле дисперсности частиц методами сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) возникает задача поиска траектории изменения положения сканируемого участка поверхности (скана) или всего образца в поле зрения микроскопа, обеспечивающей:

- координатную привязку всех полученных изображений друг к другу;
- минимальную продолжительность процесса контроля.

В процессе контроля дисперсности [1,2] поверхность исследуется посредством получения перекрывающихся сканов (рисунок 1). Задачами навигации при смещении сканов в пределах поля зрения являются:

- детектирование особых (опорных) точек на изображении [2], в качестве которых, как правило, выступают центры частиц; вычисление их размеров и координат, внесение этих данных в файл статистики; фильтрация файла статистики с целью удаления дублирующей информации о частицах, расположенных в зоне перекрытия сканов;
- определение дальнейшего смещения скана с учетом попадания в область перекрытия достаточного количества особых точек;
- выполнение последующего скана; определение взаимной ориентации изображений (взаимный сдвиг, поворот), полученных при перекрывающихся сканах поверхности, определение положения особых точек (частиц) в единой системе координат.

Решение данных задач позволяет автоматизировать задачу получения корректной статистики размеров исследуемых частиц. Однако при значительном разбросе частиц по

поверхности продолжительность процесса контроля может быть существенной. Для сокращения этой продолжительности рекомендуется

- первоначальный выбор участка поверхности с помощью оптического микроскопа;
- уменьшение областей перекрытия в зависимости от количества обнаруживаемых частиц.

Для вычисления планируемой величины перекрытия кадров используются координаты особых точек (частиц) на периферии изображения, определяемый с помощью специализированных программ – детекторов частиц [3]. Вычисление оптимального смещения последующего скана следует осуществлять, учитывая особенности методов определения взаимной ориентации перекрывающихся изображений [3,4].

К данным особенностям относятся способ выделения особых точек (привязанный к кривизне поверхности или к плоскому изображению окрестности частицы [5]), наличие методов и средств комплексирования показаний датчиков перемещения и алгоритмов вычисления взаимного смещения изображений.

Анализ кривизны поверхности чувствителен к шумам изображения и элементам фона (подложки), поэтому при его применении величину перекрытия увеличивают. Применение датчиков перемещений или других средств комплексирования оценки перекрытия изображений дает возможность снизить величину перекрытия.

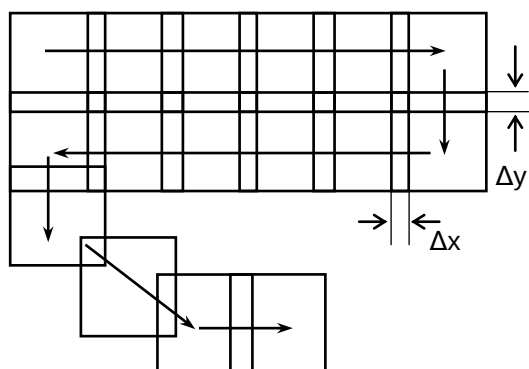


Рисунок 1 – Последовательность перекрывающихся сканов

Для координатной привязки перекрывающихся изображений используются пары похожих особых точек. Величины сдвига и поворота множества похожих пар формируют гистограммы сдвига и поворота изображений [5].

Предварительная обработка исходного изображения детекторами частиц или выделение на изображении особых точек и их координат позволяет определить оптимальную область перекрытия (с точки зрения обеспечения достаточного количества особых точек для координатной привязки и сокращения времени на повторное сканирование областей перекрытия). Положение этой области задает выполняемое приводом позиционирования смещение образца, а также используется впоследствии для уточнения результатов алгоритма координатной привязки.

Если перекрытие изображений обеспечивается изменением управляющих напряжений сканера, то реальное и планируемое перекрытие будут отличаться вследствие наличия температурных дрейфов конструкции на величину, не превышающую 5-10%.

Если для получения перекрывающихся изображений используется шаговый привод, то реальное и планируемое перекрытия могут отличаться на десятки процентов вследствие погрешности позиционирования. В этом случае следует повышать минимальную величину коэффициента перекрытия либо использовать приводы с интегрированными датчиками перемещения (скорости), показания которых использовать для фильтрации некорректных результатов координатной привязки.

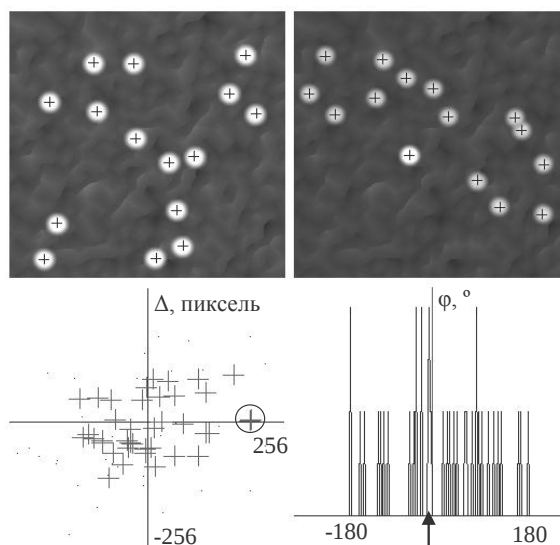


Рисунок 2 – Результаты работы алгоритма координатной привязки изображений с малым коэффициентом перекрытия и выраженным фоновым рельефом (центры частиц отмечены крестами, экстремумы на двумерной гистограмме сдвига отмечены крестиками, а на гистограмме угла поворота стрелкой)

Слишком малая величина перекрытия может привести к тому, что имеющиеся в области перекрытия особые точки могут «потеряться» на фоне посторонних шумов или незначительных элементов фона. Тогда в гистограмме смещения будет ложный максимум или несколько максимумов (рисунок 2). В этом случае наличие предполагаемого смещения (перекрытия) позволяет отсеять ложные экстремумы гистограммы смещения.

Основные причины появления ошибок координатной привязки.

- при большой плотности частиц на изображении сокращение площади перекрытия может привести к тому, что программа координатной привязки выдаст смещение близкое к нулю.

- на координаты центра частиц влияют помехи; визуальный центр одной и той же частицы на соседних изображениях может не совпадать, поэтому при попадании в область перекрытия малого числа частиц экстремум гистограммы смещения, может «потеряться» на фоне ложных экстремумов.

При наличии нескольких равноценных максимумов в гистограмме показаний перекрытия (перемещения) Δx и Δy , вычисленные по результатам детектирования частиц, позволяют выбрать наиболее достоверный экстремум (на рисунке 2 обведен). Для этого область поиска истинного экстремума в гисто-

ФОРМИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ СМЕЩЕНИЯ ОБРАЗЦА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НАНОЧАСТИЦ В СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

грамме сдвига ограничивается согласно предполагаемой величине смещения.

Первоначально сканирование осуществляется по траектории «змейка» [6] с постоянными коэффициентами перекрытия Δx Δy до тех пор, пока детектор частиц показывает их отсутствие или малое количество. При этом координатная привязка перекрывающихся изображений осуществляется с помощью метода статистической дифференциации изображений [5], использующего для определения особых точек плоское изображение окрестности частицы. Как только детектор показывает достаточное количество частиц на изображении может устанавливаться «следящая» траектория смещения образца. Величина перекрытия Δx устанавливается на

уровне $2r_{ср}$, где $r_{ср}$ – средний радиус частиц, определенных детектором. Величина Δy сначала устанавливается на уровне 100%. Затем Δy может быть уменьшена, при условии попадания в уменьшающуюся область достаточного числа частиц. Координаты особых точек устанавливаются с помощью детекторов частиц по кривизне поверхности. Пример изображений, полученных подобным способом представлен на рисунке 3. Области перекрытия отмечены пунктирной линией. При последующем вычислении параметров ориентации данных изображений, использование предварительно вычисленных оценок величин смещения Δx и Δy является обязательным вследствие присутствия в гистограмме смещения множества «ложных» экстремумов

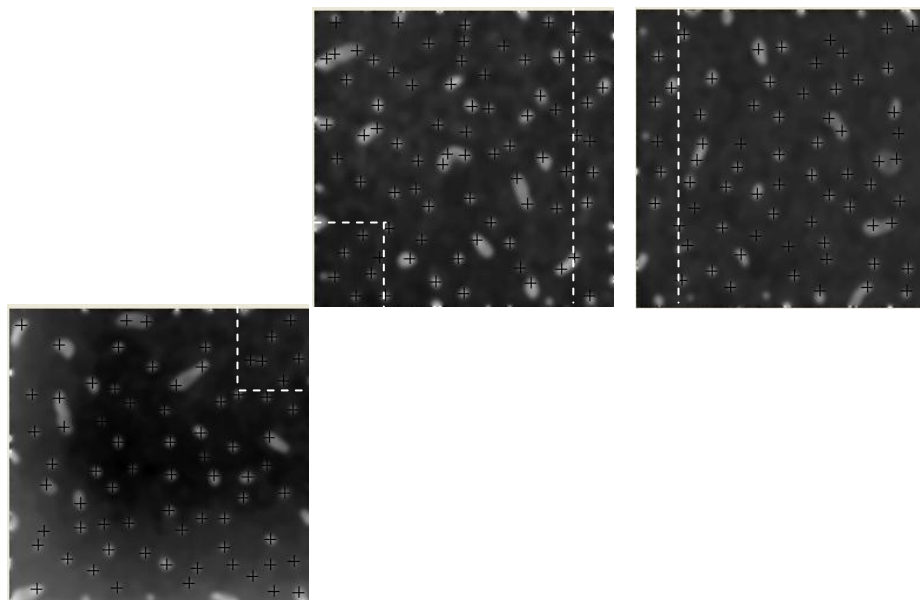


Рисунок 3 – Пример перекрывающихся изображений

Таким образом, для определения оптимальной траектории перемещения образца необходимо комплексное применение детекторов частиц, программы вычисления взаимного смещения перекрывающихся изображений с программой управления приводом позиционирования образца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев П.В., Гафаров П.В., Шелковников Ю.К. и др. Применение зондовой микроскопии для контроля размеров и анализа дисперсности наночастиц // Вестник ИжГТУ. 2011. №4. С.119-122.
2. Шелковников Е. Ю., Гафаров М. Р., Гуляев П. В., Тюриков А. В., Суворов А. С. Сегментация и идентификация СТМ-изображений модифицируемой поверхности

электрохимическим туннельным микроскопом // Химическая физика и мезоскопия, Т. 14, № 1, С. 143-146, 2012.

3. Гуляев П.В., Шелковников Е.Ю., Тюриков А.В., и др. Особенности применения детекторов кривизны поверхности для анализа размеров наночастиц // Химическая физика и мезоскопия. 2013. Т. 15. № 1. С. 138-143.

4. Гуляев П.В., Шелковников Ю.К., Ермолин К.С. Применение систем позиционирования для получения и обработки перекрывающихся изображений наночастиц при контроле дисперсности // Химическая физика и мезоскопия. 2015. Т. 17. № 2. С. 313-318.

5. Шелковников Ю.К., Гафаров М.Р., Гуляев П.В. и др. Построение изображений поверхности при многокадровом режиме сканирующего туннельного микроскопа // Химическая физика и мезоскопия. 2008. Т.10, № 4. С.514-520.

6. Липанов А.М., Гуляев П.В., Шелковников Е.Ю. Адаптивная система развертки изображения и формирования измерительной информации в сканирующем туннельном микроскопе // Датчики и системы. 2004. № 7. С. 14-17.

Гуляев Павел Валентинович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИМ УрО РАН, e-mail: lucac@e-izhevsk.ru