

## Исправление искаженных дрейфом СЗМ-изображений

*Р. В. Латшин*  
(НИИ Физических проблем)

В измерениях, имеющих дело с элементами поверхности, физические размеры которых лежат в диапазоне от нескольких десятков нанометров до нескольких ангстрем, остро встает вопрос компенсации<sup>1,2,3</sup> дрейфа прибора или исправления<sup>4,5</sup> его влияния на результаты сканирования. Как правило, дрейф микроскопа включает в себя две основные компоненты: термокомпоненту, связанную с неравномерным нагревом частей прибора, и компоненту, вызванную крипом пьезоманипуляторов.

Привлекательность способов, исправляющих изображение, к которым относиться и способ, предлагаемый в данной работе, в сравнении с компенсирующими состоит в том, что искажения можно скорректировать, не модернизируя сам микроскоп. Однако, это возможно только в случае, когда скорость дрейфа изменяется настолько медленно, что может рассматриваться как постоянная. Причем, чем лучше выполняется данное условие, тем выше окажется степень исправления изображения.

Анализ искажений, вызываемых дрейфом образца относительно зонда, показывает, что в латеральной плоскости дрейф приводит к растяжению/сжатию изображения вдоль осей раstra, а также к сдвигу строк (столбцов) изображения относительно друг друга (перекос картинки), то же самое, но в отношении высоты рельефа, происходит в вертикальной плоскости. Здесь неверно изображаются перепады высот, и появляется добавочный несуществующий тренд.

Таким образом, используя линейное преобразование полученного изображения, возможно скорректировать искажения, вызванные дрейфом. Наиболее просто коэффициенты трансформации извлекаются из пары встречно-сканированных изображений: строки прочерчиваются в противоположных направлениях, а перемещения от строки к строке в одном изображении происходят в направлении противоположенном направлению перемещения в другом.

Следующий после сканирования шаг - распознавание особенностей<sup>6</sup> в каждом из полученных изображений. Основная функция процедуры распознавания состоит в том, чтобы автоматически находить в изображении особенности поверхности типа "холм" или "яма" и определять их координаты. Поскольку особенности поверхности определены довольно общо, то в большинстве встречающихся на практике случаев подходящую особенность обнаружить удастся. В целом, для успешного исправления достаточно выявить в изображении хотя бы одну особенность.

Однако, для того чтобы ослабить влияние шумов и локальных сбоев в искаженных дрейфом сканах на результаты коррекции, рекомендуется найти коэффициенты трансформации для нескольких пар особенностей, после чего

полученные значения усреднить.

Наибольший эффект от применения описанного способа коррекции достигается при его использовании совместно с методом, базирующемся на локальном распознавании и связывании особенностей поверхности.<sup>7</sup> В этом случае появляется возможность исправления дрейфа в средних и больших изображениях.

Дело в том, что, начиная с определенного размера скана, обязательно нарушается основное предположение о неизменности скорости дрейфа в течение времени измерения. Хотя точно такое же условие должно выполняться и для сканов, получаемых по методу [7], но из-за того, что большая площадь в этом методе сканируется по частям - малыми сегментами, возникающее противоречие может быть снято. Чтобы окончательно убедиться в этом, следует сравнить время измерения двух сканов графита, скажем, размером  $(100 \times 100) \text{ \AA}^2$ , которое составляет около 1.3 мин (скорость сканирования вдоль строки  $850 \text{ \AA}/\text{с}$ , разрешение микроскопа около  $0.3 \text{ \AA}$ ), с временем измерения и распознавания трех сегментов пары особенностей (один цикл скиппинга), которое составляет около 300 мсек.

В заключении отметим, что корректность предложенного способа может быть косвенно оценена путем определения по исправленной картинке калибровочных коэффициентов и угла косости.<sup>6</sup> При разных по величине и направлению дрейфах данные величины должны изменяться незначительно. Указанный критерий нашел подтверждение на практике при проведении серии проверочных измерений.

---

<sup>1</sup>J. E. Griffith, G. L. Miller, C. A. Green, D. A. Grigg, P. E. Russell, A scanning tunneling microscope with a capacitance-based position monitor, *J. Vac. Sci. Technol. B* **8**, 2023 (1990).

<sup>2</sup>R. C. Barrett, C. F. Quate, Optical scan-correction system applied to atomic force microscopy, *Rev. Sci. Instrum.* **62**, 1393 (1991).

<sup>3</sup>H. Zhang, F. Huang, T. Higuchi, Dual unit scanning tunneling microscope-atomic force microscope for length measurement based on reference scales, *J. Vac. Sci. Technol. B* **15**, 780 (1997).

<sup>4</sup>V. Y. Yurov, A. N. Klimov, Scanning tunneling microscope calibration and reconstruction of real image: Drift and slope elimination, *Rev. Sci. Instrum.* **65**, 1551 (1994).

<sup>5</sup>J. F. Jørgensen, L. L. Madsen, J. Garnaes, K. Carneiro, K. Schaumburg, Calibration, drift elimination, and molecular structure analysis, *J. Vac. Sci. Technol. B* **12**, 1698 (1994).

<sup>6</sup>R. V. Lapshin, Automatic lateral calibration of tunneling microscope scanners, *Rev. Sci. Instrum.* **69**, 3268 (1998).

<sup>7</sup>Р. В. Лапшин, Способ измерения рельефа поверхности сканирующим зондовым микроскопом, Заявка на патент РФ № 99112623 (1999).