

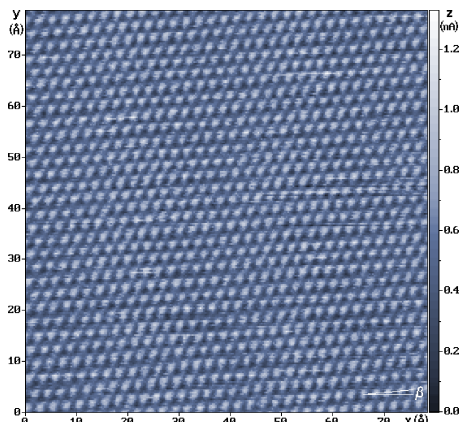
# Периодические изменения латеральных размеров элементарных ячеек на СТМ-изображениях пиролиитического графита

Р. В. Лапшин<sup>1,2</sup>

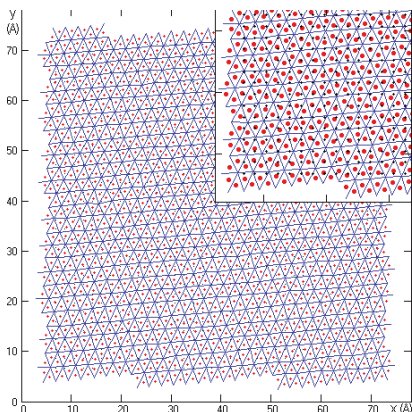
<sup>1</sup>НИИ Физических проблем им. Ф. В. Лукина, 124460, г. Зеленоград, Россия

<sup>2</sup>Московский институт электронной техники, 124498, г. Зеленоград, Россия

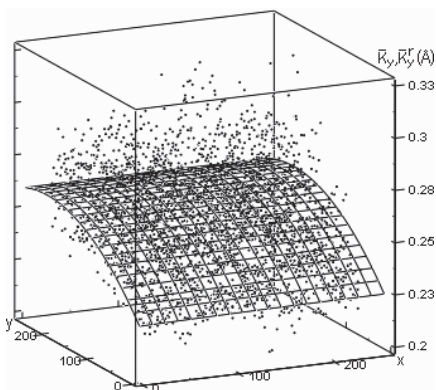
В ходе выполнения виртуальной распределённой калибровки по СТМ-изображению высокоориентированного пиролиитического графита (ВОПГ, см. Рис. 1-3) [1] были обнаружены периодические изменения латеральных размеров элементарных ячеек (локальных калибровочных структур, ЛКС) в направлении “медленного” сканирования. Виртуальная распределённая калибровка выполнялась с применением методов особенность-ориентированного сканирования (ООС) [2]. Периодические изменения латеральных размеров ЛКС обнаружены по “осцилляциям” локального калибровочного коэффициента (ЛКК)  $\bar{K}_y$  (Рис. 4). Осцилляции наблюдались как на прямом, так и на встречном изображениях, полученных в ходе обычного растрового сканирования.



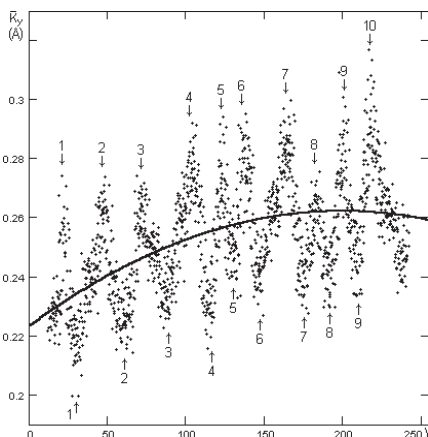
**Рис. 1.** СТМ-скан атомной поверхности пиролиитического графита (256×256 точек). Усреднённая постоянная кристаллической решётки 2.7 Å (относительная погрешности измерения 11%).



**Рис. 2.** Позиции ЛКС (“•”), для которых в ходе виртуальной распределённой калибровки получены ЛКК. Сплошной линией изображена траектория “перемещения зонда”. Исходная кристаллическая сетка 36×36 узлов (изображена символами “+”), шаг 6 позиций. Используемые особенности – атомы углерода.



**Рис. 3.** Регрессионная поверхность 2-го порядка, проведённая через ЛКК  $\bar{K}_y$ .



**Рис. 4.** Периодические осцилляции ЛКК  $\bar{K}_y$  в направлении медленного сканирования.

Появление осцилляций обусловлено двумя причинами. Первая причина заключается в биениях (муаре), которые возникают при наложении периодической строчной структуры раstra на периодическую структуру атомного рельефа поверхности. Вторая причина обусловлена силовым взаимодействием между иглой СТМ и сканируемой поверхностью. В ходе реального ООС латеральные погрешности измерения рельефа, вызываемые упомянутыми биениями и взаимодействиями, устраняются операцией скиппинга особенностей [2].

Измерения выполнены на СТМ Солвер™ Р4 (НТ-МДТ, Россия) на воздухе при комнатной температуре. В качестве иглы использовалась проволока NiCr диаметром 0.3 мм, срезанная механически.

Метод виртуальной распределённой калибровки позволяет обнаружить, охарактеризовать и удалить биение из СТМ-изображения. Метод может применяться для определения механических, температурных и др. деформаций в кристаллах. В частности, с помощью данного метода возможно определения рабочих параметров сканирования (туннельный ток и напряжение смещения), при которых силовое латеральное воздействие зонда на поверхность будет минимальным.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (15-08-00001) и Министерства образования и науки РФ (14.429.11.0002, RFMEFI57814X0009).

1. R. V. Lapshin, Drift-insensitive distributed calibration of probe microscope scanner in nanometer range: Approach description, Virtual mode, Real mode, 2015 (статьи отправлены в редакцию, [www.niifp.ru/staff/lapshin/#articles](http://www.niifp.ru/staff/lapshin/#articles)).
2. R. V. Lapshin, Nanotechnology, 2004, 15, 1135-1151 ([www.niifp.ru/staff/lapshin/#articles](http://www.niifp.ru/staff/lapshin/#articles)).