

## К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛИНЕЙНОСТИ ПОЛЕЙ СКАНИРОВАНИЯ

Ковалев А.В.<sup>1</sup>, Комков О.Ю.<sup>1</sup>, Гольдаде А.В.<sup>1</sup>, Акимов А.И.<sup>2</sup>, Чижик С.А.<sup>1</sup>, Шевченко В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого НАНБ, г. Гомель

<sup>2</sup> Институт физики твердого тела и полупроводников НАНБ, г. Минск

Проблема нелинейности процесса сканирования определяется особенностью поведения пьезокерамики и является одной из ключевых в сканирующей зондовой микроскопии. Особенно важно учитывать эффекты искажения измеряемых полей при больших размерах скана (несколько десятков микрометров). Наиболее распространены два подхода к устранению нелинейности полей сканирования: программный и аналоговый [1]. Программный подход основан на коррекции полученного изображения поверхности по специально разработанному алгоритму на основе теоретических положений описывающих процесс искажения изображения [2, 3]. При аналоговом подходе корректировка происходит во время сканирования и положение пьезокерамического сканера контролируется независимыми датчиками [4, 5].

Нами предпринята попытка скорректировать СЗМ-изображение на основе данных о характере нелинейности сканера, полученных с помощью испытательного стенда для калибровки пьезодвижителей.

Рассмотрим результат сканирования детерминированной топографической структуры. На рис. 1а показано изображение тест-образца, полученное на атомно-силовом микроскопе без применения каких-либо методов корректировки искажений.

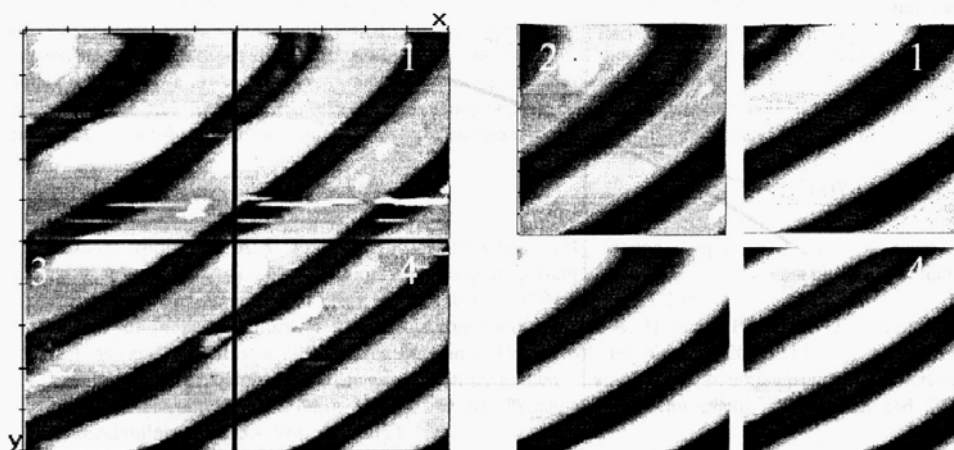


Рис.1 а) изображение тест-образца; б) изображения, полученные при сканировании в различных квадрантах. В первом квадранте напряжение изменяется по X от 0 до -150, а по Y от +150 до 0, во втором - от +150 до 0 и от +150 до 0, в третьем - от +150 до 0 и от 0 до -150, в четвертом - от 0 до -150, и от 0 до -150. Скан 15x15 мкм

Изображение условно разбито на четыре квадранта. Точка соприкосновения квадрантов соответствует месту, где на пьезокерамический сканер подается нулевое напряжение на все обкладки. Назовем эту точку нулевой точкой. Сканирование начинается с верхнего левого угла и далее происходит движение сканера вдоль оси X. Общий размах напряжений составляет диапазон  $\pm 150$  V. Наибольшее искажение изображения происходит во втором квадранте, где на пьезокерамический сканер подается максимальное напряжение по обоим осям сканирования. В четвертом квадранте искажения минимальны, так как там сканирование происходит с нулевой точки. На рис. 1б показаны изображения тест-образца полученные в различных квадрантах сканирования. Сравнив эти изображения с соответствующими квадрантами на рис. 1а можно убедиться, что величина искажения зависит от места начала сканирования. Общая кривизна полос на изображениях, по-видимому, вызвана гистерезисными явлениями в пьезокерамике, т.е. запаздывание в перемещении сканера относительно приложенного напряжения. Сильное искажение в верхней части изображения вызвано «подплыванием» пьезокерамики. Исключить данное искажение можно, если начинать сканирование после некоторой временной задержки.

Оценка нелинейности процесса сканирования производилась с помощью специального

измерительного стенда (рис.2).

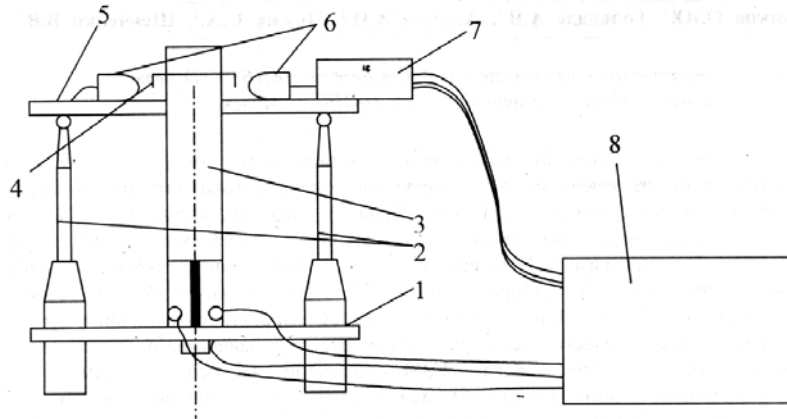


Рис. 2. Эскиз испытательного стенда: 1- нижняя плита; 2 -стойки; 3 -пьезокерамическая трубка; 4 - П-образная пермаллоевая пластина; 5 -верхняя плита; 6 - измерительные головки; 7 - первичный преобразователь; 8 -блок электроники.

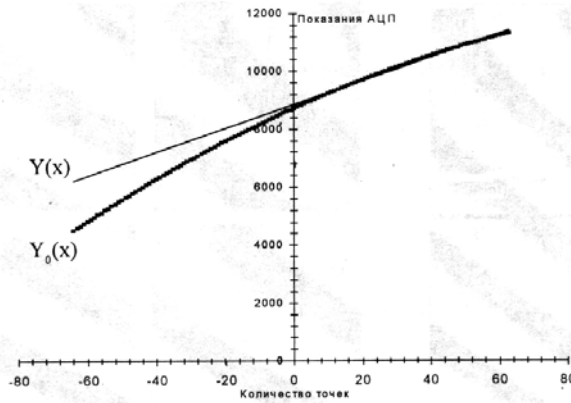


Рис. 3. Экспериментальная  $Y_0(x)$  и теоретическая  $Y(x)$  функции положения сканера.

На рис. 3 показан график, полученный на основе экспериментальных данных ( $Y_0(x)$  – функция реального положения сканера от текущей точки сканирования; мы аппроксимировали кривую полиномом второй степени). Прямая линия на рис. 3 получена путем аппроксимации точек в интервале от 0 до 64, так как на этом участке искажения минимальны ( $Y(x)$  - функция зависимости ожидаемого положения сканера от текущей точки сканирования). Предполагается, что можно скорректировать изображение путем перераспределения точек матрицы сканирования зная функции  $Y(x)$  и  $Y_0(x)$ .

Найти новую координату положения пьезокерамического сканера можно по следующей простой формуле:

$$x' = \frac{x}{Y(x)} \cdot Y_0(x)$$

В направлении  $y$  сканирования графики оказались идентичными, поэтому в обоих направлениях мы использовали аналогичную функцию.

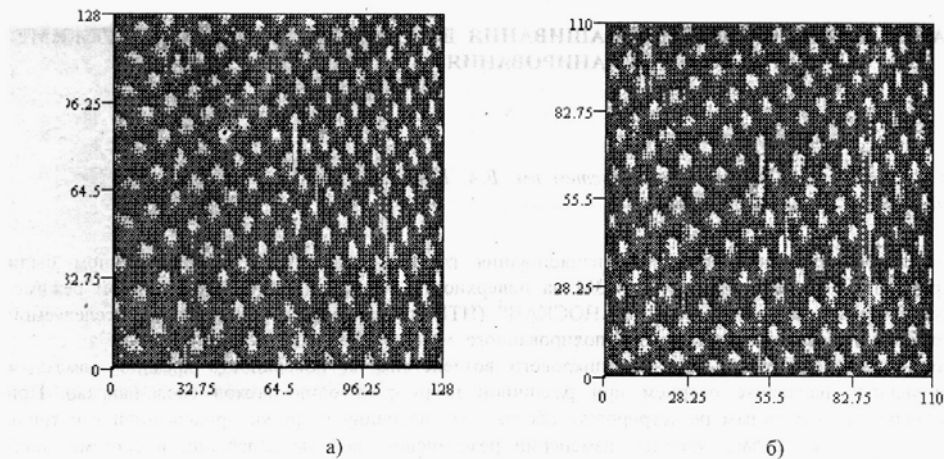


Рис. 4. Исходное (а) и скорректированное (б) изображения тест-образца. Скан 15x15 мкм.

На рис. 4 приведен результат корректировки изображения тест-образца. Очевидно, что результаты корректировки удовлетворительные и данный подход можно использовать как для программной так и аппаратной корректировки изображений. К сожалению, в центре изображения оказалось дополнительное искажение. По-видимому, этот эффект является следствием того, что экспериментальные данные тестирования пьезотрубчатого сканера и изображение тест-образца (рис.4) были получены на различных сканерах из одной произведенной партии сканеров и может быть устранен.

#### Литература

1. Пьезоэлектроника / А.А. Ерофеев, А.И. Проклин, В.Н. Уланов и др. – М.: Радио и связь, 1994.-240 с.
2. Yurov V.Yu., Klimov A.N. Scanning tunnelling microscope calibration and reconstruction of real image: Drift and slope elimination // Rev. Sci. Instrum.- 1994.- Vol. 65 №5.- P.1551-1557.
3. Analysis of piezo actuators in translation constructions / A. E. Holman, P. M. L. O. Scholte, W. Chr. Heerens, and F. Tuinstra // Rev. Sci. Instrum.- 1995.- Vol. 66 №5.- P.3208-3215.
4. Three-dimensional displacement measurement of a tube scanner for a scanning tunneling microscope by optical interferometer / T. Fujii, M. Suzuki, M. Yamaguchi, R. Kawaguchi, H. Yamada and K. Nakayama // Nanotechnology- 1995.- Vol. 6.- P.121-126.
5. Akila J. and Wadhwa S.S. Correction for nonlinear behavior of piezoelectric tube scanners used in scanning tunneling and atomic force microscopy // Rev. Sci. Instrum.- 1995.- Vol. 66 №3.- P.2517-2519.