

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СЗМ ПРИ КОНТРОЛЕ ДИСПЕРСНОСТИ НАНОЧАСТИЦ

П.В. Гуляев

Институт механики УрО РАН

г. Ижевск

Работа посвящена методам определения величины смещения образца системой позиционирования сканирующего туннельного микроскопа с инерционными пьезоэлектрическими приводами. Показано, что комплексирование результатов вычисления смещения, полученных с помощью программных средств и датчиков, позволяет повысить достоверность конечных результатов.

Ключевые слова: сканирующий туннельный микроскоп, анализ изображений, контроль дисперсности, системы позиционирования, пьезоэлектрический привод.

В настоящее время известно множество случаев применения сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) для изучения поверхностей, значительно превосходящих по размеру поле зрения микроскопа. Например, в процессе контроля дисперсности наночастиц, нанесенных на поверхность подложки, СЗМ позволяет получать ряд перекрывающихся изображений, формирующихся путем перемещения образца относительно сканера с помощью системы позиционирования. Совокупность перекрывающихся изображений позволяет осуществлять анализ участка поверхности, значительно превышающего по площади поле зрения микроскопа. Величина перекрытия изображений (наряду с размерами самих изображений) может использоваться для привязки зонда микроскопа и обнаруженных частиц к единой системе координат. Величина перекрытия зависит от множества факторов (точность приводов позиционирования, температурный дрейф конструкции), поэтому разработка средств ее контроля является важной задачей.

Одним из таких средств могут быть датчики, установленные на инерционных пьезоэлектрических приводах (ИПП) позиционирования образца. Однако не всегда (например, в случае температурных дрейфов конструкции) датчики могут установить реальную величину перекрытия. В этом случае могут применяться программные методы определения параметров ориентации (сдвиг, поворот) перекрывающихся изображений.

Использование инерционных приводов для позиционирования в процессе контроля

дисперсности [1-4] обусловлено тем, что они отличаются простотой и разнообразием конструкций при высокой точности перемещений, не превышающей половины диапазона перемещений сканера микроскопа [5-7]. При этом ИПП могут устанавливаться на существующие винтовые системы позиционирования [8]. На рисунке .1а схематично представлена такая система, состоящая из основания 1, на котором с помощью упругих элементов 2 установлена платформа образца 3. Перемещение платформы 3 осуществляется с помощью винтовой подачи (винт 4, стойка-гайка 5) вручную или с помощью навесного ИПП (актуатора) 6. В простейшем случае актуатор (рисунок 1б) состоит из основания 7 (с магнитом для крепления к винту 4), нескольких биморфных элементов 8 и инерционных элементов 9 [5,6,8].

Применение ИПП осложняется наличием обратного хода, а также немонотонными зависимостями величины перемещения от массы, момента инерции элементов конструкции и амплитуды управляющих сигналов [9-11]. В связи с этим интеграция в ИПП датчиков перемещения или иных средств мониторинга перемещений становится актуальной задачей. Например, в ИПП с биморфными элементами, имеющими достаточно большие прогибы (доли мм), может применяться датчик ускорения ММА6261Q, который размещается в месте наибольших ускорений. Также могут применяться индукционные датчики [12]. Для актуатора, представленного на рисунке 1, опробован датчик ММА6261Q, который после интегрирования позволяет опре-

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СЗМ ПРИ КОНТРОЛЕ ДИСПЕРСНОСТИ НАНОЧАСТИЦ

делить перемещение конца актуатора Δl по круговой траектории. Величина Δl переводится в угловое перемещение винта $\Delta\varphi$ согласно:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta l}{r}, \quad (1)$$

где r – радиус крепления датчика. Перевод величины углового $\Delta\varphi$ перемещения винта в поступательное Δz и наоборот осуществляется с помощью выражения:

$$\Delta z = \frac{\Delta\varphi \cdot h}{2 \cdot \pi}, \quad (2)$$

где h – шаг резьбы.

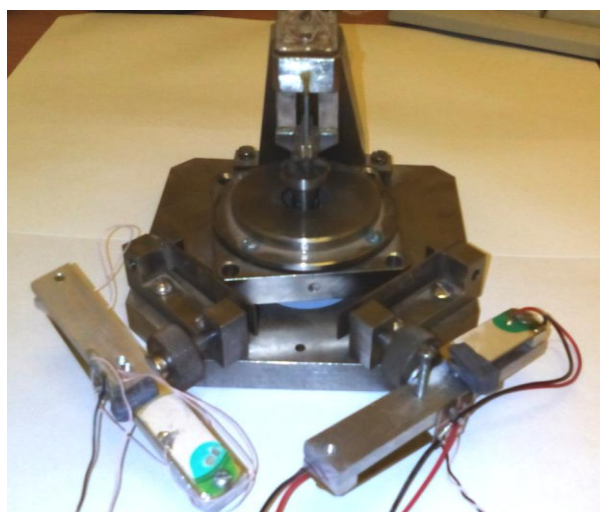
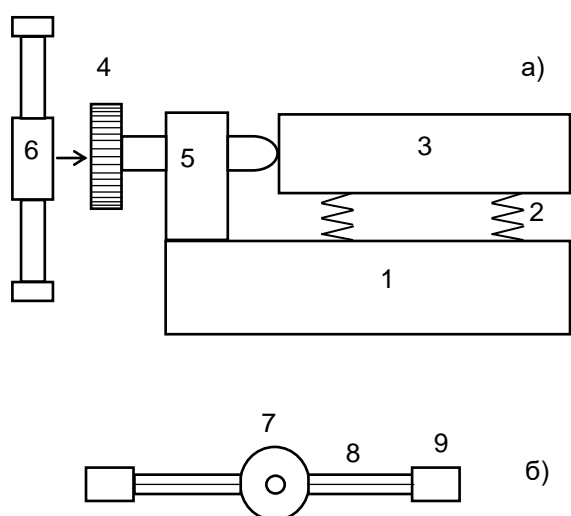


Рисунок 1 – Схема перемещения образца в плоскости: а – схема; б – конструкция ИПП; в – внешний вид двухкоординатной системы позиционирования СЗМ

Датчик, интегрированный в ИПП, кроме основного назначения может применяться для уточнения данных координатной привязки перекрывающихся изображений, полученных программным путем.

К программным методам определения параметров ориентации (сдвиг, поворот) перекрывающихся изображений можно отнести метод статистической дифференциации изображений [4]. Он основан на выделении особых точек изображения, формировании из них пар и последующем вычислении смещений для всех пар особых точек равной длины. Результат работы метода – двумерная гистограмма смещений, размерность которой соответствует размерности изображений, а координаты ячейки с максимумом соответствуют величине перекрытия (сдвига) изображений [4]. На рисунке 2а представлены два перекрывающихся изображения, на которых крестиками отмечены особые точки. На рисунках 2б, в представлены гистограммы смещения 256x256 точек, на которых крестиками отмечены экстремумы.

Метод статистической дифференциации дает хорошие результаты на качественных изображениях со значительным коэффициентом перекрытия (более 20 %) и множеством особых точек [4]. В противном случае (рисунок 2а) амплитуда максимума гистограммы может составить всего несколько единиц, а количество максимумов превысит 1 (рисунок 2б). Это может считаться признаком необходимости уточнения результатов вычисления смещения и координатной привязки.

Для уточнения могут использовать априорные данные о величине смещения, полученные с датчиков, интегрированных в приводы системы позиционирования. Вследствие недостаточной точности таких датчиков при наноразмерных перемещениях, наличия ошибок интегрирования, наличия температурных дрейфов конструкции, не отслеживаемых датчиками, прямое использование их показаний невозможно. Эти показания могут использоваться для ограничения области гистограммы, где расположены наиболее достоверные экстремумы. На рисунке 2б представлена исходная гистограмма смещения для изображений рисунка 2а (получены перемещением образца по оси Y), на которой имеется несколько равнозначных экстремумов с амплитудой 3 единицы. После ограничения области гистограммы по оси X значениями от -25 до 25, по оси Y от 200 до 250, в гистограмме остался один экстремум с амплитудой 1. Координаты данного экстремума

полностью соответствуют реальному смещению изображений. Диапазон ограничения по оси X сосредоточен около нулевой отметки вследствие того, что образец перемещался по оси Y. Диапазон по оси Y, обусловлен величиной перемещения, определенной с помощью датчика, и допуском на ошибку измерения.

Таким образом, представленные результаты позволяют заключить, что комплексирование показаний датчиков и результатов программной обработки изображений позволяет существенно повысить достоверность координатной привязки изображений в процессе контроля дисперсности частиц.

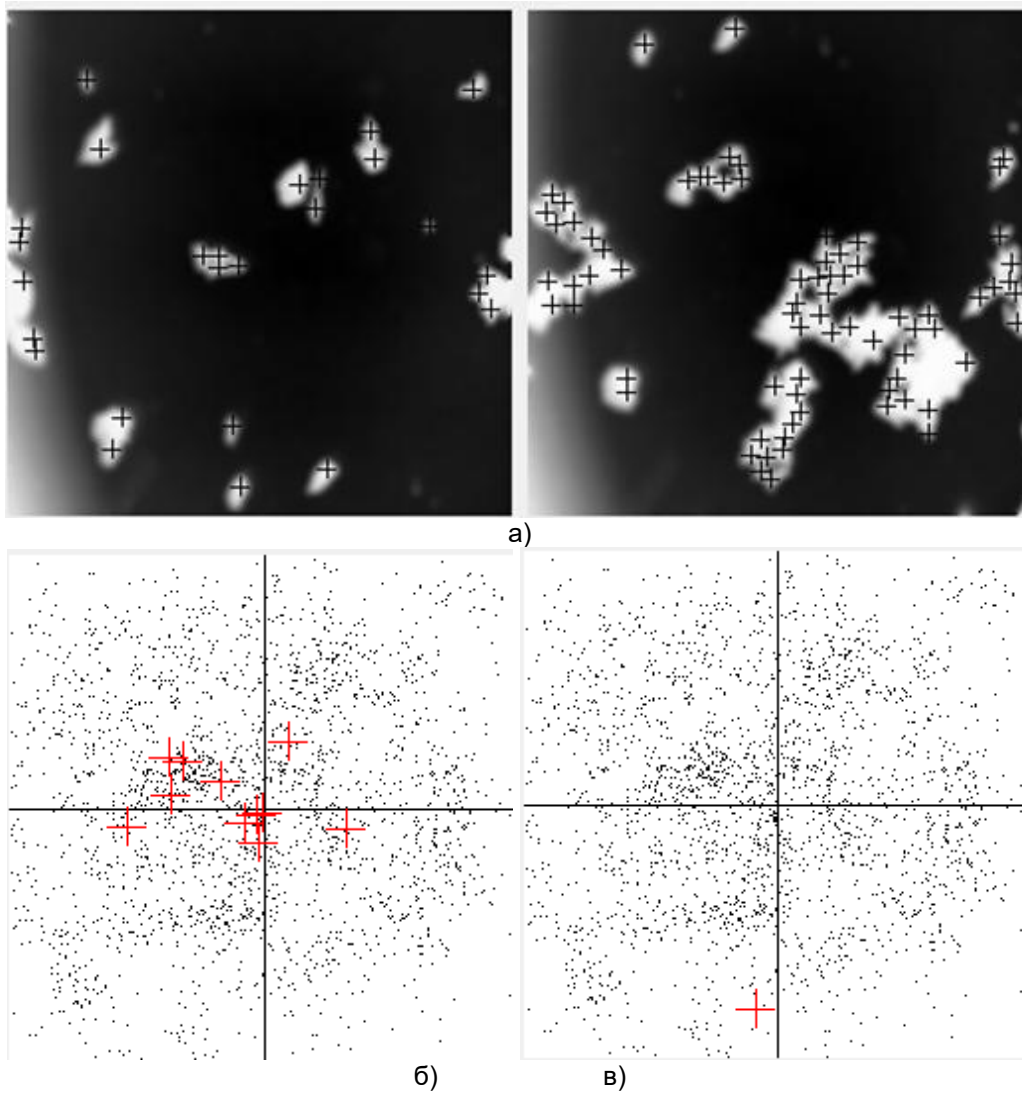


Рисунок 2 – Результаты работы алгоритма статистической дифференциации изображений с малым коэффициентом перекрытия и выраженным фоновым рельефом: а – перекрывающиеся изображения; б – гистограмма смещения без комплексирования; в – гистограмма смещения с комплексированием

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелковников Е.Ю., Тюриков А.В., Гуляев П.В. Методы и средства контроля дисперсности наночастиц в сканирующей зондовой микроскопии // Химическая физика и мезоскопия.- 2014.- Т. 16. № 2. С. 314-318.

2. 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.

3. Быков В.А., Голубок А.О., Котов В.В. и др. Инерционный двигатель: пат. Рос. Федерация:

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СЗМ
ПРИ КОНТРОЛЕ ДИСПЕРСНОСТИ НАНОЧАСТИЦ

2297072 / В.А. Быков, А.О. Голубок, В.В. Котов [и др.]; заявл. 08.11.2005; опублик. 10.04.2007, Бюл. № 10.

4. Гуляев П.В., Шелковников Е.Ю., Тюриков А.В., Кириллов А.И. Многопроходный метод определения взаимного смещения перекрывающихся изображений наночастиц // Химическая физика и мезоскопия. 2015. Т.17. № 4. С. 651-656.

5. Gulyaev P.V. A low-voltage inertial piezoelectric drive of rotationally forward type // Russian Electrical Engineering. 2014. Т. 85. № 7. С. 429-433.

6. Гуляев П.В. Высокоточный инерционный пьезоэлектрический привод вращательно-поступального типа // Электротехника. 2010. №10.- С. 8-11.

7. Липанов А.М., Гуляев П.В., Шелковников Е.Ю. и др. Формирование наноперемещений пьезоэлектрическим осциллятором и кинематической парой вращения // Письма в Журнал технической физики. 2011. Т. 37. № 15. С. 55-61.

8. ZHIGANG YANG, GUANGMING CHENG, SHUNMING HUA. Piezo electric inertia impact type multi-freedom degree precision driver: China Patent

CN1434563A, H02N2/04, заявл. 25.02.2003: опублик. 06.08.2003.

9. Гуляев П.В. Особенности применения схем замещения при проектировании инерционных пьезоэлектрических приводов.- Электротехника. 2011. № 10. С. 8-13.

10. Гуляев П.В., Шелковников Е.Ю., Тюриков А.В. Влияние нагрузки на переходные процессы в инерционных пьезоэлектрических приводах вращательно-поступального типа // Ползуновский вестник. 2013. № 2. С. 102-105.

11. Гуляев П.В., Шелковников Ю.К., Тюриков А.В. Дополнительные элементы управления инерционными пьезоэлектрическими приводами наноперемещений // Ползуновский вестник. 2014. № 2. С. 223-226.

12. Липанов А.М., Гуляев П.В., Шелковников Е.Ю. и др. Инерционный пьезоэлектрический привод с магнитоиндукционным датчиком скорости // Датчики и системы. 2012. № 5. С. 52-54.

Гуляев П.В. – к.т.н., с.н.с. ИМ УрО РАН, тел.: 8 (3412) 21-45-83, доб. 210, e-mail: lucac@e-izhevsk.ru.