

Улучшение системы позиционирования в сканирующей зондовой микроскопии

Т.Ю.Крупкина, Е.С.Пьянков, А.А.Алексеев

Московский государственный институт электронной техники (технический университет)

Д.А.Измайлов

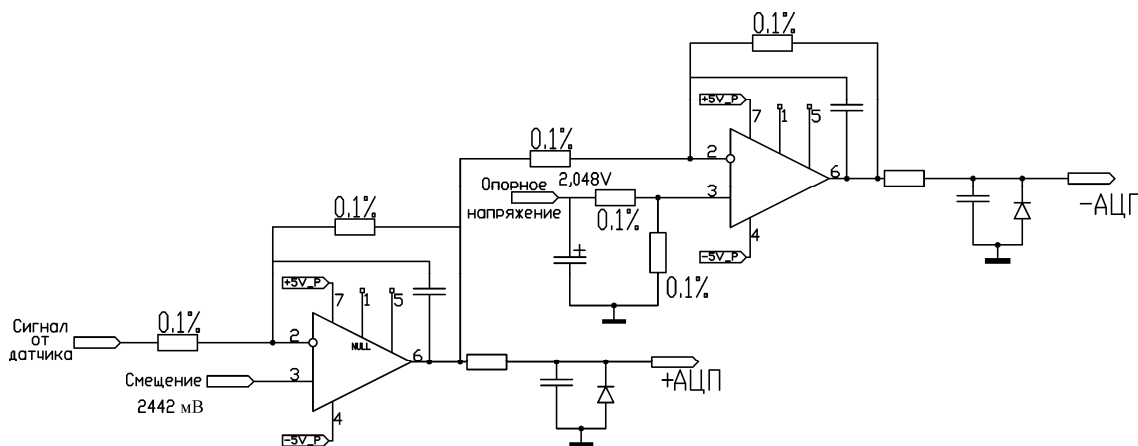
ЗАО «Нанотехнология МДТ» (г.Москва)

Сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ) позволяют как измерять рельеф поверхностных структур с атомарным разрешением [1], так и модифицировать его [2, 3]. Однако существует ряд проблем физического характера, накладывающих ограничения на функциональные возможности прибора. Например, одним из критических узлов современных СЗМ является система позиционирования зонда, на работу которой оказывают влияние многочисленные негативные факторы: акустические и механические вибрации; факторы, связанные с неидеальностью пьезоэлектрического сканера, а также температурные дрейфы.

Предлагаемый метод улучшения системы позиционирования дополняет уже известные аппаратные методы коррекции температурного дрейфа [4]. В основе метода лежит принцип температурной стабилизации электронной системы считывания данных, которая поддерживает температуру на образце.

В силу конструктивных особенностей внутри электронной системы управления и считывания данных возникают непостоянные градиенты температуры. Источниками нестабильности температуры внутри электронной системы управления и считывания данных являются блок питания и нагревательная часть прибора. Температура во время работы может изменяться от 27 до 52 °С. Так как в конструкции прибора помимо части, осуществляющей нагрев образца, присутствует высокоточная аналоговая часть, регистрирующая показания датчиков на образце, изменяющийся градиент температуры внутри измерительного блока влияет на электрические сопротивления, используемые в цепях обратной связи операционных усилителей (рисунок).

Каждое электрическое сопротивление имеет помимо конечной точности номинала в использованных резисторах 0,1% еще и температурный коэффициент, который составляет ± 50 ppm/°С. Поэтому в условиях переменной температуры окружающей среды значение



Принципиальная схема преобразования электрического сигнала от датчика в дифференциальный сигнал для АЦП

номинала резистора изменяется. Так как данные резисторы установлены в цепях обратной связи операционных усилителей, используемых для преобразования показаний датчиков, это сказывается на интерпретации полученных значений в АЦП.

Листинг моделирования ситуации в среде Cadence 5.4.1 приведен ниже:

-АЦП	Температура, °С	+АЦП	Температура, °С
0,3214551	27	1,7265391	27
0,3217361	30	1,7262614	30
0,3218581	33	1,7260761	33
0,3221412	36	1,7258864	36
0,3223812	39	1,7256962	39
0,322,5139	42	1,7254811	42
0,3227759	45	1,7252767	45
0,3230462	48	1,7250481	48
0,3232527	52	1,7247482	52

Из приведенных результатов можно рассчитать изменение дифференциального сигнала для АЦП при 27 и 52 °С:

$$\Delta U_{27^{\circ}\text{C}} - \Delta U_{52^{\circ}\text{C}} = 3588,5 \text{ мкВ.}$$

Для того чтобы узнать, на сколько должно измениться значение дифференциального сигнала при изменении показаний АЦП на 1 единицу, необходимо разделить максимальный сигнал на число, соответствующее 18 бит АЦП:

$$2,048 \text{ В} - 3FFFF = 2,048 \text{ В} - 262143 \approx 8 \text{ мкВ.}$$

Используя это выражение, получим, что при изменении дифференциального сигнала на 3588,5 мкВ выходные данные АЦП изменятся на 449 единиц АЦП, что соответствует изменению температуры примерно на 0,582 °С. Следовательно, в алгоритм поддержания обратной связи поступают некорректные сведения о текущей температуре, а значит, он не обеспечивает должную точность постоянства температуры на образце.

Для реализации метода разработана система специализированных микросхем. Проведенные эксперименты показали, что введение температурной стабилизации электронной системы управления и считывания данных при температуре 60 °С уменьшило температурный дрейф зонда относительно образца с 5,4 до 2,5 нм/ч.

Литература

1. **Быков В.А.** Приборы и методы сканирующей зондовой микроскопии для исследования и модификации поверхностей: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2000. – 393 с.
2. **Barrett R.C., Quate C.F.** Charge storage in a nitride-oxide-silicon medium by scanning capacitance microscopy // J. Appl. Phys. – 1991. – Vol. 70. – P. 2725.
3. **Kado H., Tohda T.** Nanometer-scale recording on chalcogenide films with an atomic force microscope // Appl. Phys. Lett. – 1995. – Vol. 66. – P. 2961.
4. **Magonov S.N., Whangbo M-H.** Surface analysis with STM and AFM: experimental and theoretical aspects of image analysis. – WeinHeim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo: VHC, 1996. – 318 p.

Поступило
14 октября 2010 г.

Крупкина Татьяна Юрьевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой интегральной микроэлектроники и микросистем (ИЭМС) МИЭТ. *Область научных интересов:* моделирование технологических процессов и интегральных приборов, методы проектирования интегральной элементной базы и микросистем.

Пьянков Евгений Сергеевич – аспирант кафедры ИЭМС МИЭТ. *Область научных интересов:* сканирующая зондовая микроскопия, воздействие температуры на работу прецизионных приборов, теория передачи и обработки цифровых сигналов. **E-mail:** zugus@mail.ru

Алексеев Алексей Алексеевич – аспирант кафедры ИЭМС МИЭТ. *Область научных интересов:* системы–на–кристалле, микроконтроллерная техника, проектирование, тестирование.

Измайлов Дмитрий Андреевич – инженер ЗАО «Нанотехнология МДТ» (г. Москва). *Область научных интересов:* сканирующая зондовая микроскопия, приборостроение.