

# ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ\*

И.Магазов, С.Савинов, И.Яминский  
yaminsky@nanoscopy.ru

Используемые в нанотехнологиях электронные системы должны позволять обрабатывать большие потоки экспериментальных данных и управлять сложным оборудованием. В частности, для реализации всего потенциала приборов сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) необходимо иметь систему, способную регистрировать и обрабатывать огромное количество информации на высокой скорости, при этом не должна страдать точность измерений.

В статье описано устройство электронного модуля поколения ФемтоСкан, теоретически позволяющего увеличить скорость сканирования до 64 кадров/с при количестве измерений в строке – 128, причем изображение в 1 Мпиксель можно получить за 1 с.

При работе СЗМ ФемтоСкан решаются следующие задачи:

- оцифровка и обработка данных, поступающих с регистрирующего фотодиода;
- управление пьезокерамическим манипулятором;
- управление системой грубого позиционирования;
- поддержание температуры биологической ячейки;
- передача данных, полученных в результате измерений на консоль оператора.

Логично разделить реализацию этих алгоритмов, однако использование отдельного микроконтроллера для каждой подзадачи не целесообразно, поскольку порождает множество проблем, связанных с синхронизацией между действиями электронных модулей. По этой причине была выбрана современная программируемая логическая интегральная схема производства Xilinx (рис.1).

Это решение позволяет управлять параллельно алгоритмами сканирования, обратной связи, коррекции нелинейности растра, осуществлять высокоскоростную потоковую передачу данных на главный сервер ФемтоСкан.

Входные и выходные сигналы для микросхемы ПЛИС обеспечиваются платой цифроаналоговой обработки дан-

ных, в которой использована элементная база последнего поколения, включающая:

- трехканальный контроллер шаговых двигателей с микрошагом 1/32 оборота;
- три канала дифференциальных высоковольтных усилителей с диапазоном выходного напряжения +/- 200 В;
- четыре канала цифроаналоговых преобразователей с ли-



Рис.1. Устройство электронного модуля

Управляющая плата на основе ПЛИС Spartan-6 с логической емкостью 45000 слайсов фирмы Xilinx. Тактовая частота - 400 МГц:

- 128 Мб оперативной памяти DDR3 со временем доступа 3,3 нс;
- 8 МВ флешпамяти с интерфейсом SPIx4;
- 32 МВ флеш памяти ВРІ с параллельным интерфейсом;
- интерфейс отладки USB JTAG;

- микросхема селективной загрузки конфигурационных данных SystemACECF;
- видеоинтерфейс HDMI;
- аппаратный модуль Tri-Speed Ethernet 10/100/1000 Мбит/с;
- высокоскоростные трансиверы передачи данных GTPportx4;
- тактовый генератор с дифференциальным выходом 200 МГц;
- мезонинный разъем с пропускной способностью 32Гбит/с VITA 57.1 FMC;
- интерфейс PCIe Gen1;
- интерфейс UART для отладочной информации;
- микросхема ЭСППЗУ с интерфейсом I2C;
- коммутационные компоненты для отладки;
- схема мониторинга питания.

\* Центр перспективных технологий.

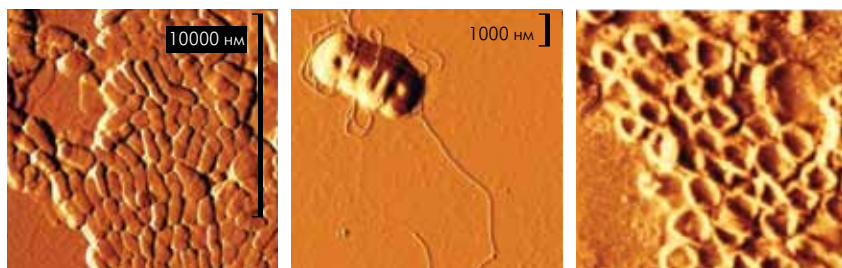


Рис.2. СЗМ-изображения бактериальных клеток

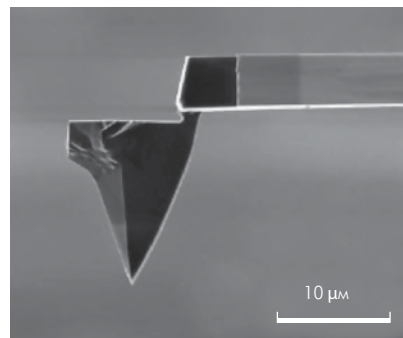


Рис.3. Кантилевер с модифицированным основанием иглы [1]. Резонансная частота – 2,5 МГц

нейностью 20 бит и временем преобразования 1 мкс;

- четыре канала дифференциальных цифроаналоговых преобразователей с линейностью 16 бит, время преобразования 10 мкс;
- два синхронизированных канала цифровых синтезаторов частоты с разрядностью управляющего слова 32 бит;
- два дифференциальных канала аналого-цифрового преобразования с частотой дискретизации 1 МГц и линейностью 18 бит;
- два дифференциальных канала аналого-цифрового преобразования с частотой дискретизации 1 МГц, линейностью 18 бит и входным аналоговым коммутатором на 8 входов;
- синхронный детектор, позволяющий во всем частотном диапазоне проводить измерение амплитуды и фазы с погрешностью 5%.

Существует три основных класса приборов для исследования объектов микромира – оптические, электронные и СЗМ. Из этих приборов для биомедицинских исследований наилучшие возможности предоставляют именно СЗМ. На рис.2 представлены изображения клеток, полученные с его помощью.

Современные зондовые микроскопы обладают значительными преимуществами по отношению к другим классам исследовательских приборов:

- высокой разрешающей способностью вплоть до атомарного уровня;
- в отличие от других методик перед исследованием и в ходе него не требуется значительная модификация биологического объекта, которая может

привести к изменению его свойств;

- СЗМ позволяют изучать физико-химические свойства образца при прямом контакте с его поверхностью.

В биомедицинских приложениях СЗМ в высшей степени необходима быстродействующая электроника, позволяющая получать изображения с предельно высоким пространственным разрешением. Однако в медицинской диагностике требуются не только скорость и высокое разрешение, но и сверхвысокая точность, которую могут обеспечить цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи с разрядностью 18–20 бит.

Для быстродействующей СЗМ необходимы высокочастотные кантилеверы. Для этого можно модернизировать коммерческие изделия (рис.3) или создавать принципиально новые решения.

Можно с уверенностью утверждать, что быстродействующая и точная многофункциональная электроника класса ФемтоСкан найдет широкое применение в СЗМ, нанотехнологиях и медицине.

*Авторы выражают глубокую признательность А.Филонову, С.Евстифееву, В.Кожину и А.Скурихину за постоянную помощь в работе и конструктивное обсуждение полученных результатов.*

Использованы материалы международной конференции "Современные достижения бионаноскопии", МГУ, 2010 год. <http://www.nanoscopy.org/conf/2010/Materials/Bionanoschool%202010.pdf>