

HIROX. То, что нужно исследователю

Андрей Ляпин, К.Г.М.Н.
Andrey.Lyapin@ostec-smt.ru

Впервые на русском языке подробное описание хорошо известного в настоящее время измерительного видеомикроскопа Hirox было опубликовано в 2007 г. На протяжении трех прошедших лет производитель многократно вносил изменения как в аппаратную, так и в программную составляющие системы для добавления новых возможностей и улучшения существующих. В статье описаны эти новые возможности наряду с уже имеющимися. Автор надеется, что публикация будет интересна не только тем, кто впервые прочтет данный материал, но и тем, кто хорошо знаком с более ранними версиями системы.



Рис. 1. Оптические приборы Hirox

ВВЕДЕНИЕ

Пожалуй, лет уже 30–40 словосочетание Made in Japan вызывает доверие или даже некоторое почтение к изделиям, на которых эту надпись можно встретить. Такие имена как Toyota, Honda, Suzuki, Nissan, Subaru, Fuji, Hitachi, Sony, Panasonic, Nikon, Canon, Yamaha, NEC, Toshiba, Sharp, Olympus или более экзотические — Omron, JEOL, Nakamichi, Alpine, Espes, Shimadzu и т.д., прочно вошли в нашу жизнь. Мы их знаем с детских лет, и для многих изделия под одним из этих брендов — это неоспоримый эталон качества, надежности, или даже предмет мечты. Видеомикроскоп Hirox, имеющий на панели гордую надпись «Сделано в Японии», это осознанный выбор одних и предмет желаний других потребителей высокотехнологичного оборудования.

Компания HIROX Co. (произносится «Хай-Рокс», созвучно с «высокогорьем» по-англ.), производитель оптики класса hi-end (см. рис. 1), объединив усилия с компанией Omron (известный производитель медицинского оборудования), выпустила в 1999 г. уникальный цифровой видео-

микроскоп КН-3000 с высоким видео разрешением, оснащенный функциями бесконтактных измерений по трем координатам. Качество увеличенного изображения и до тех пор невиданные новые функциональные возможности системы имели следствием то, что новинка практически сразу же нашла потребителей в самых разных областях человеческой деятельности — от научных исследований до использования в производственных задачах самого сложного технологического уровня. Новинку выбрали фармацевты и медики (Boston Scientific, Medtronic, Guidant, Abbott Lab, Dentsply, US Surgical, Philips Medical, Hoffman La Roche, Roche, Diagnostic, Pfizer, Schering Plough, Merck & Co); материаловеды и химики (Dow Chemical, Expro Chemicals, Hosogawa Micron, Eastman Kodak, Xerox, 3M, Milliken, Church & Dwight, Corning, GE); производители в автомобильной и аэрокосмической промышленности (Boeing, McDonell Douglas, NASA, Lockheed Martin, Northrop Grumman, Raytheon, Toyota, Honda, GM, Denso, Visteon); известные университеты (MIT, UCLA, Wichita State, Univ. of

Alabama, University of Texas Austin, Georgia Tech); криминалисты, судмедэксперты, известные мировые музеи. В электронике и микроэлектронике потребителями Hirox стали Motorola, Intel, IBM, Sun Micro, Solectron, Lucent, Sony, HP, LG, Philips и др.

Являясь пионером в создании измерительного видеомикроскопа высокого разрешения, компания, следуя концепции постоянного совершенствования, все это время оставалась на переднем крае новых технологий, значительно опережая конкурентов. В конце 2006 г. Hirox выпустила новую систему с еще более фантастическими возможностями, а именно, измерительный микроскоп КН-7700 (см. рис. 2).

Представляя новинку на рынке, производитель торжественно заявил, что данный микроскоп — не просто прибор для наблюдения, а надежный интеллектуальный партнер, кладезь новых уникальных возможностей. Познакомившись с КН-7700 поближе, без большого преувеличения можно согласиться со столь восторженной оценкой. Задача данной статьи — рассказать читателю о возможностях видеомикроскопа КН-7700 производства Hirox сделанного в Японии.



Рис. 2. Измерительный видеомикроскоп HIROX KH-7700

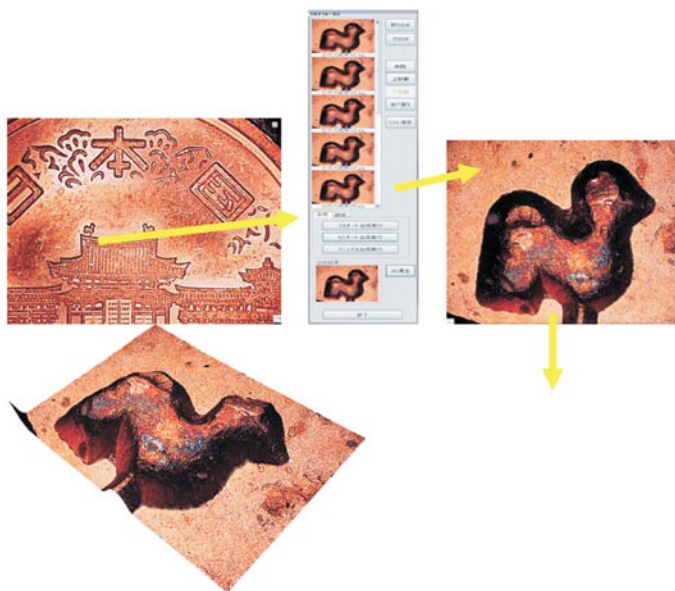


Рис. 3. Этапы построения трехмерной модели

ПОЛУЧЕНИЕ, АНАЛИЗ И СИНТЕЗ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЙ
Синтез сфокусированного объемного изображения

Известным ограничением в микроскопии является малая глубина резкости сильно увеличенных изображений. В общем случае, чем выше увеличение, тем меньше глубина резкости. Преодолеть это ограничение позволила программно-аппаратная разработка, реализованная в микроскопе HIROX. Ее сутью является процедура построения математической

трехмерной модели рельефа из серии захваченных плоских изображений на разном уровне фокусировки. Программа позволяет обрабатывать до 100 плоских слоев и синтезировать на их основе трехмерную модель. Дискретность захвата слоев в режиме высокой точности достигает 0,25 мкм, при этом используется пятикратное усреднение шага двигателя равного 0,05 мкм. Предусмотрена возможность построения модели как вручную, так и в автоматическом режиме. При моделировании оператор может задать: шаг

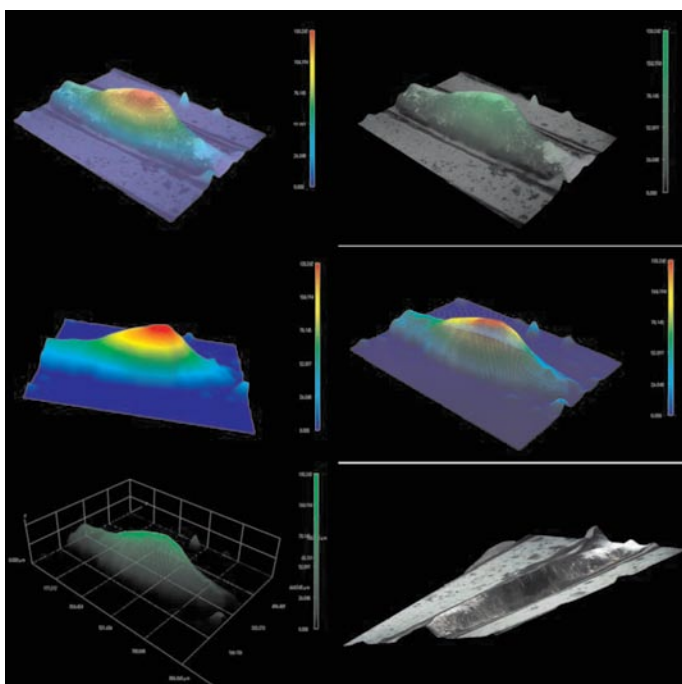


Рис. 5. Варианты отображения рельефа

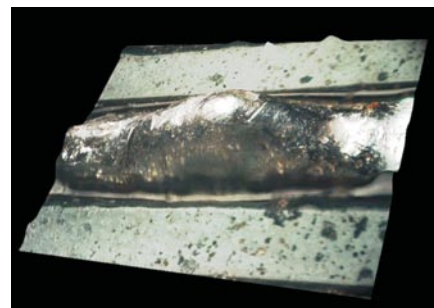


Рис. 4. Синтезированное трехмерное изображение

хода по вертикали; количество слоев; качество захваченных изображений и определить верхнюю и нижнюю ограничивающие плоскости (см. рис. 3).

Построенную модель можно отобразить в нескольких вариантах. На рисунке 4 показано синтезированное трехмерное изображение объекта в виде полноцветной текстуры в естественном цвете. На рисунке 5 та же модель представлена в виде градиента цветов, подобно тому, как принято отображать рельеф на физических географических картах, и в виде градиента яркостей выбранного цвета. Еще один способ отображения — объект в виде проволочного каркаса, на поверхности которого хорошо видны формы участков, имеющих низкую контрастность и плохо заметных при других вариантах отображения. Полученную модель можно свободно поворачивать в пространстве, перемещать, масштабировать, перекрашивать, увеличивать, или уменьшать амплитуду рельефа, изменять цвет фона, менять углы виртуальной подсветки.

Для смоделированной трехмерной модели можно построить гистограмму высот в вертикальной секущей плоскости для измерения высот, дистанций и углов (см. рис. 6). Положение секущей можно произвольно задавать в координатах XY. Для этого достаточно захватить мышью ограничивающие секущую плоскость точки и перетащить их в желаемую позицию. Результаты измерений, выполненных на модели, можно экспортировать в формат электронных таблиц и в дальнейшем использовать для обработки в специализированных программах математической обработки.

Сравнительный анализ изображений

В системе имеется возможность разделить экран на 2, 4, 9 или 16 фрагментов, каждый из которых представ-

ляет собой полноценный текущий вид наблюдаемого объекта в уменьшенном виде. Такой режим позволяет одновременно видеть варианты одного и того же объекта, наблюдаемые при разном освещении, с разной детализацией или с разных сторон.

Полезной функцией системы является возможность сравнения двух схожих изображений. Если поместить рядом два таких изображения и дать системе команду провести их сравнение, на третьем экране появится синтезированное изображение, образованное наложением одного на другое. Различающиеся участки будут полупрозрачными. Четвертый экран предназначен для отображения различий. Цвет их представления можно настраивать. Совмещение сравниваемых изображений проводит оператор посредством выбора точек и манипулирования программным вектором позиционирования. Помимо сравнения целых изображений, данную процедуру можно использовать применительно к отдельно выбранным участкам. Метод позволяет выявлять такие дефекты как загрязнения, трещины, царапины, наличие посторонних примесей, отсутствие компонентов в готовом изделии и т.д. (см. рис. 7).

Контроль фокуса

Еще одной полезной функцией новой системы является ее способность запоминать и в дальнейшем использовать несколько точек фокусировки. Реализация опции базируется на применении моторизованного привода для перемещения объектива по оси Z. Положение объектива над образцом записывается в память системы как точка фокуса и используется в дальнейшем для того, чтобы легко и быстро вернуться к желаемой позиции объектива (см. рис. 8).

3D-инспекция в режиме реального времени

Инженеры Niqox разработали и реализовали функцию 3D-инспекции. Используя специальный моторизованный zoom-объектив и адаптер вращения, оператор микроскопа получает возможность осматривать объект со всех сторон (0...360°) под разным углом зрения (см. рис. 9). Принцип инспекции основан на вращении призм высококого класса (Ньютон 1) вокруг оси

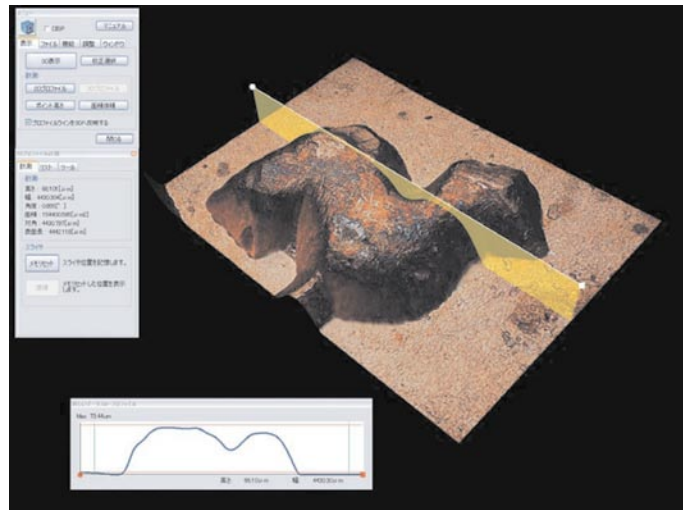


Рис. 6. Построение гистограммы высот в секущей плоскости модели

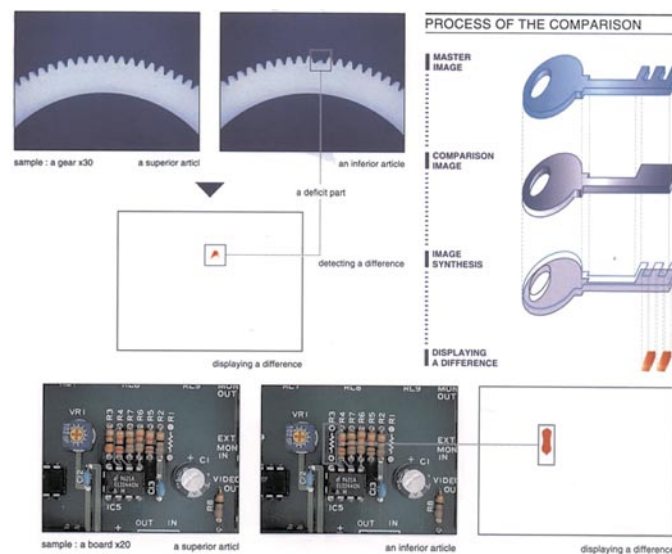


Рис. 7. Сравнение изображений

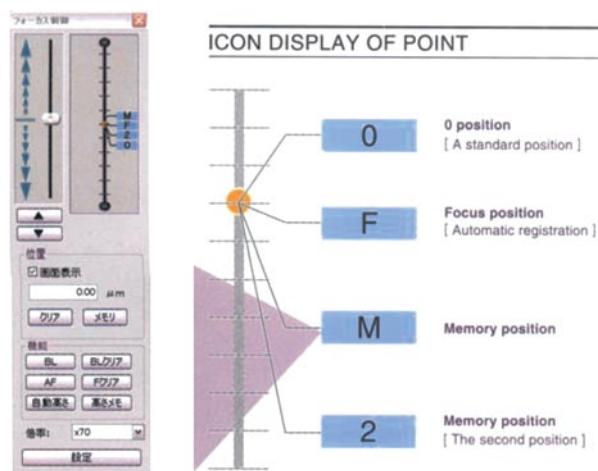


Рис. 8. Контрольные точки фокусировки

наблюдения непосредственно над неподвижно расположенным образцом (см. рис. 10). Угол наклона призм можно изменять в пределах 25...55°, наблюдая объект в темном поле. Головка вращения легко защелкивается на кольце zoom-объектива, что позволяет быстро переходить от 2D- до 3D-

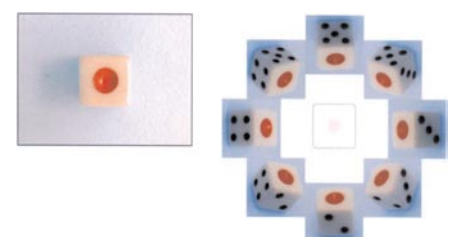


Рис. 9. Пример кругового обзора

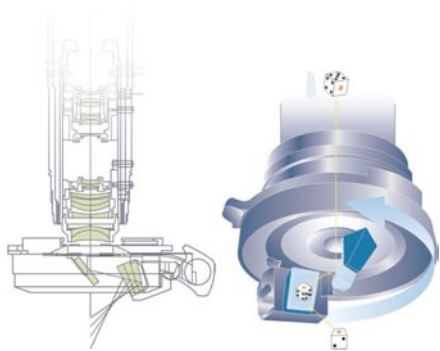


Рис. 10. Принцип 3D инспекции

инспекции. Направление и скорость вращения регулируются на внешнем блоке управления.

Инспекция BGA

Приспособление для инспекции BGA внешне чем-то напоминает краба и представляет собой zoom-объектив с тонкой призмой в качестве основного инструмента инспекции. Призма опускается на уровень выводов BGA, в то время как «щупальца», являющиеся гибкими

оптоволоконными световодами и снабженные тонкими прожекторами различной формы, позволяют проводить инспекцию рядов паяных соединений на просвет и в отраженном свете. Для крепления BGA-объектива Niqox выпускает специальную удобную станину, в основание которой помещаются салазки для фиксации печатного узла, позволяющие перемещать его по осям XY и поворачивать в горизонтальной плоскости. Качество получаемых изображений очень высокое и при надлежащем навыке удастся просматривать все ряды шариков припоя в проходящем свете, оценивать повторяемость пайки и качество галтелей (см. рис. 11).



Рис. 11. Инспекция BGA

Освещение – ключевой фактор

Известно, что залогом получения высококонтрастного изображения в микроскопии является качество освещения. При просмотре образца на одной системе метод освещения может полностью преобразить видимое изображение и выявить скрытые особенности. Используемые в микроскопии методы освещения определились давно, и мало что можно привести сегодня в эту область практического знания. Однако и в этом случае японские инженеры продемонстрировали интересный подход. В микроскопе Niqox, наряду с традиционными методами, использованы: метод обзора с переменным углом освещения; комбинированный метод с «подсветкой фона»; комбинированный метод с направленной изменяемой подсветкой поверхности. Стоит сказать, что практически все широко применяемые как рутинные, так и более экзотичные методы освещения опционально доступны для новой модели КН-7700. Это наблюдение в светлом и темном поле, в проходящем свете, эпическопическое и диффузное освещение, поляризованный свет, фазовый контраст, дифференциально-интерференционный контраст по Номарскому, задачи с флуоресценцией (см. рис. 12).

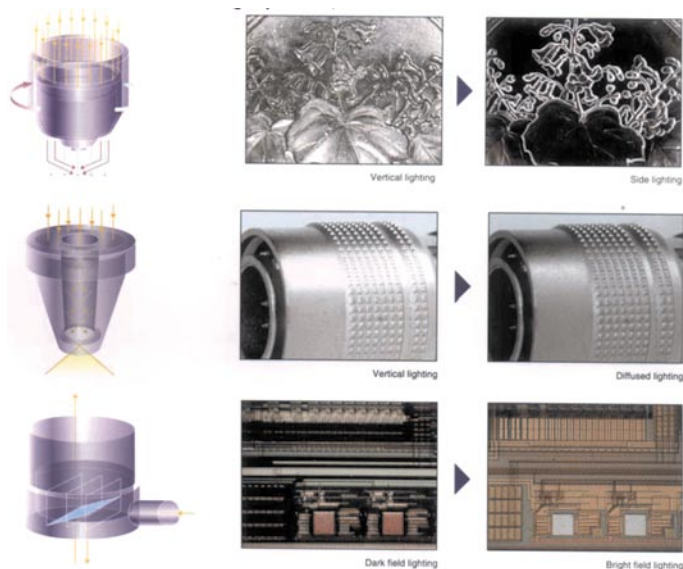


Рис. 12. Примеры различных вариантов освещения

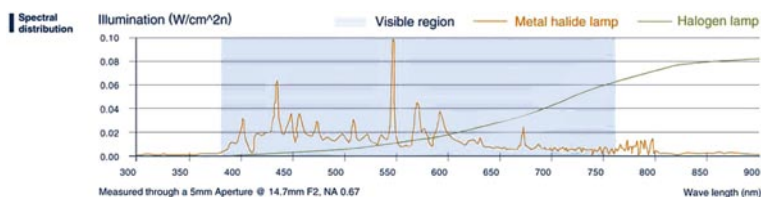


Рис. 13. Распределение спектра излучения

В качестве основного источника освещения используется металлогалоидная лампа, спектр излучения которой обеспечивает правильную цветопередачу, близкую к той, что имеет место при освещении в ясную солнечную погоду. На рисунке

13 приведен график распределения спектра излучения осветителя. Видно, что мощность излучения в ближнем ИК диапазоне невысокая и практически не приводит к нагреву образца.

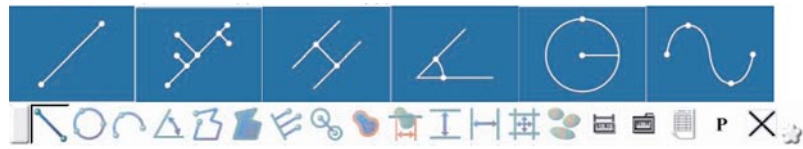


Рис. 14. Плоскостные геометрические измерения

Функции обработки изображений

Помимо чисто оптических методов освещения, в систему встроены программные функции для улучшения качества получаемых изображений. Широко применяемые в современной цифровой видеотехнике методы настройки изображений доступны и для КН-7700. Оптимизация яркости, контрастности, регулировка температуры цвета, программное снижение шумов, настраиваемая выдержка, автоматический баланс белого, усиление контраста и др. расширяют арсенал исследователя. Из программных функций оптимизации изображения отдельного внимания заслуживают следующие.

Расширенный динамический диапазон (HDR). Программное обеспечение микроскопа позволяет синтезировать, просматривать, настраивать и сохранять изображения сложнейших по контрасту объектов в формате HDR, наиболее близком для восприятия человеческим глазом. В формате HDR пересвеченные (бликующие) и недоэкспонированные (темные) участки изображений отображаются на экране микроскопа в наиболее естественном виде.

Функция «антиблик». Данная функция разрешает характерную для микроскопии проблему плохого отображения сильно отражающих металлических поверхностей и гладких объектов округлой формы. Качественному отображению таких объектов мешает сильное бликование. Теперь, выбрав требуемую команду, можно легко избавиться от бликов.

Функция программной подсветки. Используя эту функцию, пользователь может в деталях увидеть плохо просматриваемые места. Направление «потока лучей» виртуального осветителя можно менять в пределах $0...359^\circ$ по горизонтали и $-90...90^\circ$ — по вертикали.

Встроенные функции **модуляции контраста, усиления резкости, снижения шумов и цветовой коррекции** весь-

ма полезны при коррекции оптически сложных изображений.

ИЗМЕРЕНИЯ БЕЗ ОШИБОК. ФУНКЦИЯ ACS

Автоматическое определение увеличения и автокалибровка

Поскольку элементом изображения в цифровых системах является пиксел, задача калибровки сводится к определению размера одного пиксела для текущего увеличения. При измерении размеров объекта изображение разбивается на пикселы, и задача измерения сводится к подсчету количества откалиброванных пикселов. В микроскопе Nirox КН-7700 можно использовать два метода калибровки. В первом случае размер пиксела автоматически вычисляется системой как результат обработки изображения эталонной градуировочной шкалы, входящей в комплект поставки. Второй метод использует функцию выбора значений из калибровочных таблиц, хранящихся в памяти системы. И в том, и другом случае системе требуется сообщить текущее увеличение. Для стандартного объектива эту информации системе сообщает оператор. Альтернативная модель zoom-объектива оснащена системой ACS (система автоматической калибровки), которая без участия оператора, сообщает микроскопу о текущем увеличении и тот автоматически выбирает из базы данных подходящие калибровочные данные.

Высокоточные плоскостные измерения. Избыточность вариантов

Встроенный программный комплекс позволяет выполнять плоскостные измерения. Измеряемые параметры следующие: длина прямой линии; длины окружности и дуги, их радиусы, диаметры и площади; величины углов; длина периметра и площадь многоугольника произвольной формы; расстояния от базовой линии; расстояния между центрами окружностей; дистанции по вертикали, горизонтали и диагонали; рас-

стояния между параллельными линиями, идущими под любым углом; измерения площадей, ограниченных контуром (см. рис. 14). Кроме того, имеются функции автоматических 2D-измерений, а именно, автоматическое измерение ширины, автоматическое определение периметра с оценкой его длины и площади.

Измерение высоты и вычисление объемов

Пожалуй, правильнее было бы описывать эти возможности в первом разделе, поскольку механизм измерений высоты принципиально отличается от плоскостных измерений и более связан с 3D-моделированием, чем с калибровкой пикселов. Принцип измерения высоты основан на учете количества «шагов хода» двигателя, управляющего перемещением объектива между точками фокусировки. Дискретность шага двигателя лежит на субмикронном уровне и составляет приблизительно $0,05$ мкм при разрешении $0,25$ мкм (с пятикратным усреднением для повышения точности). В простейшем случае измерения высоты система первоначально автоматически или вручную фокусируется на уровне, который принимается за основание, затем автоматически или вручную фокусируется на том участке, высоту которого следует измерить. В более сложном варианте для измерений высоты строится полноценная 3D-модель, а абсолютные значения высот относительно базовой плоскости отображаются при наведении курсора мыши на интересующий участок.

Для вычисления объема трехмерного изображения имеется специальный инструмент, позволяющий задать положение горизонтальной секущей плоскости, проходящей через модель на желаемом уровне. После определения пространственного положения плоскости вычисляется ограниченный ею объем. Алгоритм обработки позволяет вычислять объемы как выпуклых (объем над секущей плоскостью), так



Рис. 15. Отображение высот и расчет объема

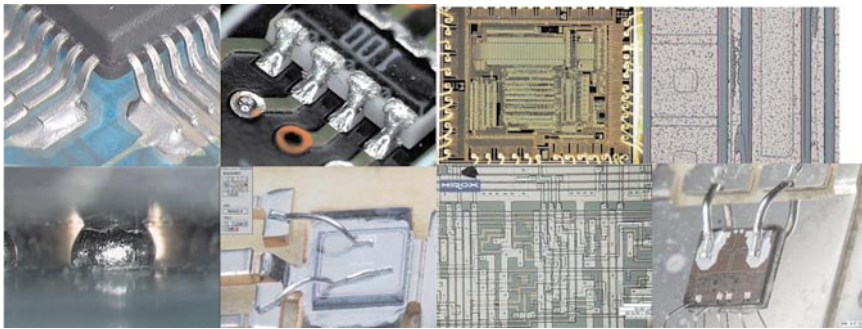


Рис. 16. Некоторые примеры применения в электронике

и вогнутых (объем под секущей плоскостью) трехмерных объектов (см. рис. 15).

Подсчет объектов

В системе очень удобно реализована функция подсчета однотипных объектов. У пользователя имеется возможность пометить и объединить в группы до 16 типов разных объектов и управлять ими с помощью листа группировки.

ИНТЕРФЕЙСЫ И РАБОТА С СИСТЕМОЙ

Стоит отметить, что управление системой организовано очень удобно. Для выполнения ключевых операций обычно имеются два или более способов. Например, записать текущее изображение можно, используя кнопку управления на передней панели или через меню операционной системы. Сохранить данные можно либо в формате TIFF, либо в JPEG с четырьмя степенями сжатия. Для записи видео использован формат AVI в полном качестве или с различными степенями сжатия. Начать видеозапись можно также кнопкой на панели микроскопа либо выбрав требуемую опцию из меню. Максимальный размер видеокadra равен разрешению CCD-камеры — 1600×1200 пикселей, минимальный — 640×480. Пользователь может накладывать поверх

изображений любого типа свои комментарии, подписи с именем файла, градуировочные сетки, шкалы, информацию о дате и времени.

Подключив внешний микрофон, можно записать звуковые комментарии или же другие звуки. Система имеет встроенный жесткий диск объемом 160 Гбайт, устройство для записи на CD/DVD и снабжена интерфейсом Ethernet для интеграции в компьютерную сеть. Для подключения внешних устройств в распоряжении пользователя шесть USB-портов. Кроме перечисленного, можно упомянуть: настраиваемое меню пользователя, управление библиотекой изображений, редактор отчетов, вывод результатов на печать по спецификации PictBridge, zoom-навигатор, возможность вывода изображений на внешние видеоустройства (проектор, панель, монитор, VCR).

Использование микроскопа для задач мониторинга

Программное обеспечение микроскопа предоставляет возможность выполнять задачи мониторинга. Настройки позволяют производить фотографирование с заданным качеством и размером изображения через задаваемый интервал времени. Минимальный интервал равен 1 с, максимальный — 200 мин с дискрет-

ностью задания интервала в 1 с. Количество захваченных изображений: 2–999.

Для любителей коротких формулировок и детальных технических характеристик приведем их подробный список.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

CDD-камера

- 1/1,8", 2,11 Мп;
- прогрессивная развертка;
- общее количество пикселей: около 2,11, 1688×1248;
- количество эффективных пикселей: около 2,01, 1628×1236;
- частота кадров: 15 с двойной буферизацией;
- электронная выдержка: автоматическая, регулируемая, от 1/15 до 1/15000;
- медленная выдержка: 1/7,5; 1/4; 1/2; 1; 2; 4; 8; 16;
- усиление: ручное или отключаемое;
- баланс белого: автоматический, ручной (R, B).

ЖК-монитор

- гамма-коррекция, цветовая коррекция, усиление контрастности края; цветной 15" ЖК-монитор с разрешением UXGA;
- размер пиксела: 0,1905×0,1905 мм;
- количество пикселей: 1600×1200 с;
- яркость: 200 кд/м²;
- контрастность: 500:1;
- угол обзора: 170° (по горизонтали), 170° (по вертикали).

Осветитель

- лампа: металлогалоидная, 60 Вт;
- срок службы: 4000 ч (в среднем);
- температура цвета: 5500 ±100 К.

Интерфейсы вывода/вывода

- RGB, UXGA, SXGA, XGA;
- порт принтера USB 2.0 (тип B), совместимый с PictBridge;
- LAN 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T;
- ACS-терминал: 10 pin;
- управление вводом/выводом: RS-232C.
- порт для подключения клавиатуры и мыши: USB 2.0 (тип A);
- порт USB 2.0 (тип A): в количестве 6;

– вход микрофона: MIC Jack.

Запись информации

– поддерживаемые устройства: HDD 160 Гбайт, CD-R/RW; DVD±R/+R; DL/±RW/-RAM;
 – форматы записи изображений: TIFF (несжатый); BMP; JPEG (сжатый);
 – сжатие JPEG: (1/5; 1/10; 1/30; 1/60 от несжатого TIFF);
 – разрешения (стандарт): 1600×1200; 1280×960; 1024×768; 800×600; 640×480; 320×240;
 – высокие разрешения: 6400×4800; 4800×3600; 3200×2400; 2400×1800;
 – формат видео: avi;
 – видеоразрешение: 1600×1200 (7,5 FPS); 1280×1024 (7,5 FPS); 1024×768 (15,00 FPS); 800×600 (15,00 FPS); 640×480 (15,00 FPS);
 – настройки изображения: HDR, «Антиблик», программная подсветка, модуляция контраста, усиление резкости, снижение шумов, цветовая коррекция, двоичное преобразование.

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

– автоматический баланс белого;
 – настройка и сохранение установок CCD-камеры;
 – управление фокусом;
 – индикатор фокуса;
 – мультифокусировка (ручная, полуавтоматическая, автоматическая);
 – память положения фокуса;
 – плавное увеличение;
 – функция высокого разрешения (4 уровня);
 – установка и настройка сетки;
 – настройка яркости (128 уровней);
 – гамма-коррекция;
 – настройка контраста;

– коррекция оттенков (7 уровней);
 – коррекция цветности (5 уровней);
 – сшивка прилегающих изображений;
 – настройка степени выделения края (8 уровней);
 – двоичные преобразования;
 – расширение динамического диапазона (HDR);
 – фильтр пересвеченных участков изображений («антиблик»);
 – многоуровневая регулировка подсветки;
 – фильтр шумов;
 – анализ и сравнение изображений;
 – система автоматического определения текущего увеличения;
 – автоматическая калибровка;
 – измерение при высоком разрешении;
 – измерение высоты в режиме реального времени;
 – плоскостные и объемные измерения;
 – выбор профиля (высоты, длины, угла и т.д.);
 – измерение объема 3D-объекта;
 – функция сбора и учета статистических данных;
 – 2D- и 3D-отображение в режиме реального времени;
 – отображение каркаса 3D-изображения;
 – разбиение экрана на 2/4/9/16 зон;
 – повороты и зеркальные перевороты изображений;
 – отображение сеток, линейки шкал на экране;
 – вывод дат, времени, комментариев и свойств изображений;
 – настройка форматов изображений и видео;

– управление библиотекой изображений;
 – редактор отчетов;
 – сетевые функции;
 – многофункциональная настройка системных установок;
 – встроенная система помощи;
 – индивидуальное меню пользователя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Видеомикроскоп Nirox можно смело назвать новым поколением инструментов для визуального анализа. С его появлением уходят в прошлое те времена, когда отдельный исследователь, работая с микроскопом и желая поделиться увиденным, подзывал по одному из коллег к окуляру, пытаясь объяснить каждому, на что именно требуется обратить внимание. Теперь все одновременно и одинаково видят качественное изображение, могут на месте обмениваться впечатлениями, замечаниями, оценивать размеры видимых структур, анализировать причины дефектов, генерировать идеи по совершенствованию качества и т.д. В новом микроскопе реализован принцип «все в одном». Теперь система отвечает практически всем потребностям исследователя и позволяет разделять ресурсы с удаленными пользователями по сети.

В заключение хочется пожелать, чтобы высокие стандарты качества и мощный интеллектуальный потенциал, заложенные в системе, нашли практическое воплощение в массовом внедрении данной модели в исследовательскую практику в России. Подтверждением тому служат высокие оценки отечественных потребителей, использующих микроскоп для самых разных задач. Это ФГУП НПП «Исток», ФГУПНПП «Пульсар», Институт механики сплошных сред РАН, Санкт-Петербургский Государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова-Ленина, ФГУП «Государственный лазерный центр им. И.С. Косьминова», ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова, Сибирский Федеральный университет (СФУ), ГОУ ВПО Нижневартовский ГГУ, Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН и др.

В статье использованы материалы фирмы Nirox.

Рабочее напряжение	АС 100...240 В; 50/60 Гц
Потребляемая мощность, Вт	250
Рабочий диапазон температур, °С	5...40
Температура хранения, °С	-15...50
Относительная влажность, %	25—85
Вес основного блока, кг	12
Размеры, мм	420,4×154,0×342,6
Измерения	2D и 3D
Оптическое увеличение системы	до 7000×
Цифровой зум	4×