



ЛАЗЕРНАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ МИКРОСКОПИЯ ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

И.Атаходжаев, П.Игнатъев, К.Индукаев, П.Осипов,
ООО "Лаборатории АМФОРА", ips@amphoralabs.ru

Лазерные модуляционные интерференционные микроскопы семейства МИМ-300 предназначены для измерений геометрических параметров трехмерного микрорельефа поверхности объектов. При этом достигнуто разрешение по поверхности до 15 нм, а по вертикали – 0,1 нм. Чувствительность интерференционных измерений к физическим и механическим характеристикам позволяет получать с помощью микроскопов МИМ-300 еще и количественные данные материаловедческого характера, причем на основе информации, полученной в единой измерительной процедуре. В промышленности микроскопы МИМ-300 могут найти применение при производстве электронных компонентов, в том числе МЭМС, элементов оптических систем, магнитных и оптических устройств хранения информации. Микроскопы семейства МИМ-300 – это и отличный инструментарий для исследований в биологии и биотехнологиях, включая динамику процессов в биологических структурах.

Высокое качество микроскопов семейства МИМ-300 было недавно продемонстрировано в Сингапуре на конференции Focus on Microscopy 2012. Группа разработчиков доложила о тех возможностях модуляционной интерференционной микроскопии, которые расширяют инструментарий исследователя нанодинамики живых клеток. Экспериментальным материалом для доклада послужили данные, полученные с помощью микроскопа МИМ-320.

Профессионалы, работающие в области точной механики и машиностроения, занимающиеся прецизионной механообработкой, отлично понимают, сколь сложна задача контроля геометрических размеров с субмикронными погрешностями. Еще большие проблемы с измерениями геометрических характеристик возникают в таких отраслях, как микроэлектроника и биотехнологии. Задача приобретает весьма "жесткие очертания" – измерять нужно структуры с размерами в десятки и менее

нанометров. "Местные" технологи требуют от средств контроля "геометрии" расширения диапазона измерений в область субмикронных размеров и соответствующих абсолютных значений погрешностей.

Попытка фронтального наступления на проблему контроля геометрических характеристик наноструктур с использованием "тяжелой артиллерии" – рэстровой электронной микроскопии (РЭМ) и, позже, через пару десятков лет, атомно-силовой микроскопии (АСМ) – не заменила достоинства интерференционной микроскопии.

Оборудование, безусловно, инновационное, но...

"Неоспоримым" преимуществом электронной микроскопии перед оптической некоторое время считалась возможность достижения геометрического разрешения по площади образца, равного диаметру электронного зонда, т.е. до нескольких нанометров. Однако очевидность этого "преимущества" легко рушится при рассмотрении физики взаимодействия электронного пучка с веществом



и особенностей системы детектирования отраженных (проходящих) электронов. К тому же РЭМ имеет ряд эксплуатационных недостатков – большие, как правило, габариты, сложность конструкции (необходимость вакуумирования, электронная оптика, сложная электроника управления) и высокие расходы на приобретение (типичное значение – около 500 тыс. долл.) и эксплуатацию. Кроме этого электронная микроскопия требует специальной подготовки объектов (порой весьма специфической), которая может приводить к существенным нарушениям естественной структуры и состояния измеряемых структур. К тому же сам по себе электронный пучок, в отличие от света видимого диапазона, способен оказывать деструктивное воздействие на полупроводниковые и органические материалы.

АСМ дешевле РЭМ, в среднем 2-15 миллионов рублей, работает "на воздухе", однако есть ряд недостатков в приборной реализации атомно-силовой микроскопии. Нельзя считать законченной и построение модели формирования изображения в АСМ.

При этих обстоятельствах взоры разработчиков средств измерений геометрических характеристик вновь обратились к оптической микроскопии. Тем более, что традиционная оптика предлагает ряд вариаций этого метода, в т.ч. лазерную интерференционную микроскопию (ЛИМ).

Измерения геометрии с помощью ЛИМ – это т.г. так называемый непрямой метод. То есть соответствующие методики не так просты, как совмещение границ объекта с риской в поле зрения "просто микроскопа" и определение разности между координатами подвижного стола, на котором закреплен контролируемый объект.

Собственно результат измерений в интерференционной лазерной микроскопии – это измерения деталей картины интерференции лазерных пучков, отраженных от опорного зеркала и от зеркала, на котором помещен контролируемый объект. Разность хода, вносимая микроструктурами, измеряется с точностью до 1/300 от длины волны света. Для длины волны, например, 405 нм это составляет 1,35 нм. Столь высокая точность измерений разности хода обеспечивает дальнейшее вычисление геометрических характеристик с погрешностью около десятка нанометров и меньше (в зависимости от особенностей контролируемой структуры).

Предельные возможности, например, модуляционного интерферометрического микроскопа МИМ-320 наглядно иллюстрируются изображением частицы железа диаметром 30 нм (рис.1), измеренным с его помощью.

Микроскоп МИМ-320 – это один из представителей семейства лазерных модуляционных интерференционных микроскопов МИМ-300. Это уже третье поколение систем оптической микроскопии компании "Лаборатории АМФОР" (рис.2). Это оборудование предлагается для нужд микроэлектроники, материаловедения, биотехнологий, для исследований в области медицины и биологии.

К достоинствам микроскопов семейства МИМ-300 относятся разрешение по поверхности до 15 нм, разрешение по вертикали – 0,1 нм, возможность контроля изделий с глубиной рельефа до 600 нм. Микроскопы МИМ-300 позволяют измерять рельефы, находящиеся под прозрачным покрытием, в толще материала. При этом модуляционные интерференционные микроскопы МИМ-300 – это не только

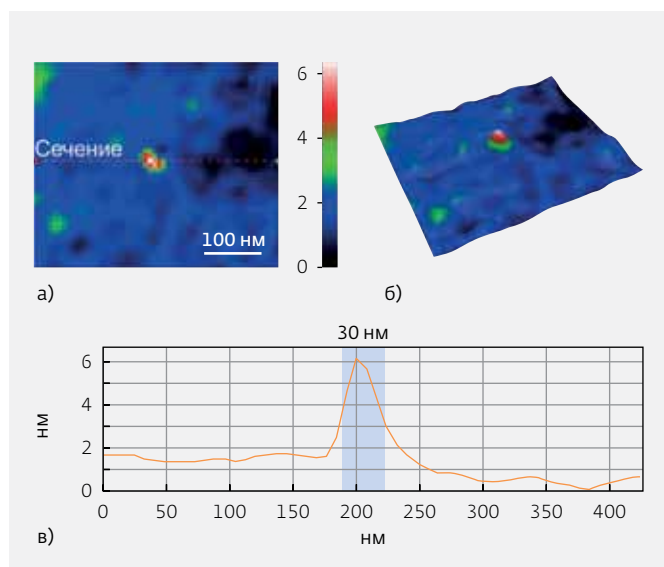


Рис.1. Изображение наночастицы железа диаметром 30 нм, полученное на лазерном модуляционном микроскопе МИМ-320: а) фазовый портрет наночастицы железа, б) 3D-визуализация фазового портрета; в) профиль сечения фазового портрета

3D-профилометры, но и системы для анализа в контролируемых объектах распределения показателей преломления, анизотропии, фазового состава, механических напряжений.

Конструктивно микроскопы МИМ-300 выполнены на основе двухканальной схемы. Один из каналов реализует возможности обычного оптического микроскопа, используя при этом электронную систему отображения. Второй канал поддерживает интерференционные измерения. Компьютерная система управления МИМ-300 позволяет проводить прецизионные комплексные измерения, причем время съемки "кадра" с данными об объекте составляет доли секунд. Измерительные процедуры с помощью микроскопов семейства МИМ-300 – это бесконтактные процессы, не приводящие к изменениям геометрической и физической структуры объектов.

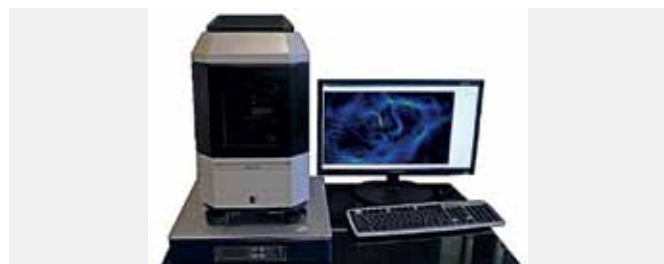


Рис.2. Общий вид модуляционного интерференционного микроскопа МИМ-320

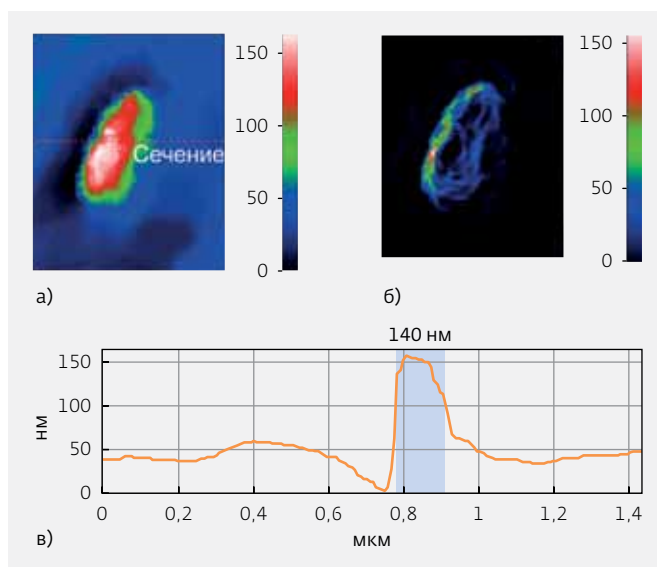


Рис.3. Изображение вируса гриппа, полученное с помощью микроскопа МИМ-320: а) фазовый портрет вируса гриппа; б) результат градиентной фильтрации фазового портрета; в) профиль сечения фазового портрета

Одной из "изюминок" микроскопов МИМ-300 является оригинальный алгоритм обработки интерферограмм. В рамках единого измерительного процесса МИМ-300 определяет геометрические и материаловедческие характеристики объекта.

Повышает точностные параметры микроскопов МИМ-300 возможность применения лазерного излучения с длиной волны 405 нм, а также использование косого падения света. Как уже говорилось, точность интерференционной микроскопии повышается с уменьшением длины волны света (вспомните параметр "1/300 от длины волны"), а косое падение увеличивает вклад в интерференционную картину той части интенсивности излучения, которая отвечает за точность определения размеров мелких деталей топологии образца.

Работа с конкретными объектами выявила, по мнению ряда партнеров ООО "Лаборатории АМФОРА", преимущества модуляционных интерференционных микроскопов семейства МИМ по сравнению с атомно-силовой микроскопией. Это касается, в частности, изучения буферных слоев MgO и YSZ на лентах сверхпроводящего материала ВТСП-2, параметров шероховатости пластин сапфира для последующего эпитаксиального наращивания нитрида галлия.

Микроскопы семейства МИМ компании "Лаборатории АМФОРА" могут работать с различными классами образцов, в т.ч. с биологическими (рис.3). При особых требованиях заказчика базовая



платформа оптических микроскопов МИМ может быть модифицирована применительно к конкретному классу образцов. Например, специально для контроля структур на полупроводниковых пластинах разработана модификация микроскопов МИМ, оснащенная прецизионным (дискретность перемещения 0,2 нм) координатным столом с длиной хода до 400 мм. Естественно, что подобные приборы могут использоваться и в других областях промышленности для прецизионных измерений объектов с большими габаритами.

Анализ рыночных предложений в области оптической микроскопии показывает, что представители семейства модуляционных интерференционных микроскопов МИМ-300 компании "Лаборатории АМФОР" превосходят ближайшие аналоги по техническим показателям на 1-3 порядка при меньшей стоимости, иногда в 2 раза.

ВЫВОДЫ

Главное достоинство лазерной модуляционной интерференционной микроскопии – возможность

исследования геометрической и физической структуры материалов и биологических объектов в естественных условиях или в условиях, максимально приближенным к ним. Чувствительность интерференционных измерений к физическим и механическим характеристикам позволяет получать одновременно и количественные данные материаловедческого характера.

Оптическое измерительное оборудование удобно для использования в целевых заводских лабораториях (ЦЗЛ), в том числе и для экспресс-измерений, а также в научно-исследовательских подразделениях при проведении НИОКР.

Лазерные модуляционные интерференционные микроскопы семейства МИМ-300 позволяют исследовать реальные промышленные изделия на разных этапах производства, проводя с ними последующие технологические процессы и вновь подвергая те же объекты новым процедурам измерений и исследований. Такая возможность открывает широкие перспективы управления качеством в промышленности, оптимизируя при этом затраты на производство. ■