

Перспективы совмещения методов СЗМ и техники спектроскопии для исследования вещества.

Саунин С.А., Быков В. А., Волков А.Д., Жижимонтов В.В., Иконников А.В.
*Государственный научно-исследовательский институт физических проблем
им. Ф.В. Лукина, компания НТ- МДТ, 103460 Москва-Зеленоград, Гос.НИИФП*
<http://www.ntmdt.ru>

В настоящее время сканирующие зондовые методы исследования различных физико-химических свойств поверхности находят все более широкое применение в научно-технической практике. Обладая разрешением вплоть до атомарного, микроскопы этой группы позволяют не только получать изображения нанометрового диапазона, но и производить различную модификацию поверхности в столь малом масштабе размеров.

Область применения СЗМ сегодня охватывает практически все области науки - от биологии и медицины до сверхвысоковакуумных технологий. Однако общим недостатком этих приборов оставалось невозможность получения информации о качественном составе поверхности, протекании быстрых процессов, являющихся прерогативой спектроскопии.

Современная оптическая спектроскопия за последние годы получила значительное продвижение в связи с успехами развития лазерной техники, достижения фемтосекундного временного разрешения, фантастического увеличения чувствительности многоканальных оптических приемников, создания уникальных голографических спектральных элементов, широкого применения оптоволоконных средств для подвода и сбора света, интенсивного использования микропроцессорных электронных устройств для обработки данных в реальном времени и т.д.

При этом в спектроскопии всегда актуальными оставались задачи локального распределения спектральных характеристик вдоль поверхности или по глубине образца. Решение таких задач достигалось применением высокоапертурных оптических объективов в сочетании с различными методами сканирования либо сфокусированного луча (сканирующие лазерные микроскопы и спектроскопы), либо перемещения образца при неподвижной оптической схеме. В первом случае для сканирования луча обычно применяют вращающиеся зеркала или призмы, оптоэлектронные или пьезоэлементы. Во втором - различные механические системы на шаговых двигателях. Пространственное разрешение определяется фактически размером фокусного пятна и составляет около 300 нм. Увеличить разрешение до 200 нм можно путем установки очень маленькой диафрагмы (несколько микрон) в задней плоскости изображения собирающего анализируемый свет объектива.

Из всех сканирующих зондовых методов ближе всего к традиционной спектроскопии находится ближкопольный оптический сканирующий микроскоп, когда зондом служит острое оптоволокно с оптической апертурой порядка 50 нм . Если удерживать такой зонд над поверхностью на расстоянии нескольких нанометров, та за счет ближкопольного эффекта свет из волокна (или наоборот) будет взаимодействовать с веществом. Применяя различные комбинации облучения и сбора света можно таким образом получать спектральную информацию с разрешением несколько десятков нанометров. Однако существенным и, пожалуй, главным недостатком метода являются большие оптические потери в волокне и на его апертуре.

Здесь необходимо отметить , что обычно спектроскопия (в частности рамановская) имеет дело с очень маленькими сигналами и уменьшение анализируемого объема или участка поверхности радикально уменьшает количество света, дошедшего до приемника. Именно поэтому приходится использовать охлаждаемые приемники, ловить отдельные фотоны и накапливать минутаи сигнал. Становится ясно при этом, что вся система должна обладать предельно малыми тепловыми дрейфами и высокой стабильностью в целом.

Из вышеизложенного видно, что методы СЗМ и сканирующей спектроскопии имеют общие проблемы, связанные с относительным сканированием образца и зонда или фокусного пятна , измерением очень слабых сигналов (туннельный или фототок), формированием изображения и т.п.. Что касается сканирования, то известны специальные сканирующие пьезоэлектрические приставки к оптическим микроскопам для перемещения образцов в плоскости изображения. Наиболее известным производителем таких устройств является немецкая фирма PI, выпускающая сканеры до 150x150 мкм с системой обратной связи перемещения на основе специальных тензо- или емкостных датчиков. Цифровая обработка и прецизионная схема измерения позволяют обеспечить точность перемещения лучше 1 нм. В качестве пространственных манипуляторов такие системы идеальны, однако в случае использования их в спектроскопии возникает очень существенная проблема синхронизации сканирования и измеренного сигнала (например сигнала с фотоумножителя , счетчика фотонов или линейного спектра с многоканальной матрицы (CCD или ICCD). Эта проблема достаточна трудоемка и полностью должна решаться силами пользователя.

В данной работе предлагается описание полной оптической спектральной системы, разработанной фирмой НТ-МДТ совместно с японской фирмой Tokyo Instruments для получения изображений распределения по поверхности или вдоль образца различных спектральных характеристик (интенсивности или положения линий) с нанометровым пространственным разрешением. 100 микронный XY-сканер представляет собой прямо-

угольный держатель образца с отверстием в центре для возможности работать в проходящем и отраженном свете. Весь сканер выполнен из цельного куска сплава алюминия, центральная часть подвижна в двух перпендикулярных направлениях и перемещается через рычажную систему от пьезотрансляторов со встроенными тензодатчиками фирмы PI управляемых от модифицированного типового электронного блока для сканирующих микроскопов серии «Солвер» фирмы НТ-МДТ. Z-сканер для перемещения микрообъектива имеет диапазон 30 мкм и выполнен конструктивно на том же принципе. Оба сканера специально адаптированы под оптический микроскоп «Olympus», считающийся одним из лучших и наиболее часто применяемым в спектроскопии.

Модификация электроники заключалась в дополнении стандартного блока схемой управления высоковольтными усилителями в режиме обратной связи с датчиками перемещения. Это позволило сохранить полное управление обычным СЗМ и дополнительно управлять XY-сканером, который снабжен специальным держателем-перемещателем для стандартной СЗМ головки «СМЕНА». Такая конструкция позволяет независимо сканировать образец в его плоскости либо трубочным пьезосканером «СМЕНЫ» либо XY сканером. Обратная связь по рельефу поддерживается Z-сканером «СМЕНЫ». При этом возможно работать во всех стандартных режимах - контактном, теппинге, магнитных силах и т.д.

Технические характеристики XY сканера:

1. Диапазон сканирования	100 на 100 мкм $\pm 20\%$.
2. Скорость сканирования (вкл/выкл обр. связь)	2/20 гц.
3. Разрешение (вкл/выкл обр. связь)	2/1 нм.
4. Линейность не хуже	0.1%
5. Повторяемость не хуже	0.2%
6. Максимальная нагрузка	2 кг
7. Вес	1.45 кг

Технические характеристики Z сканера:

1. Диапазон сканирования	30 мкм $\pm 20\%$.
2. Скорость сканирования (вкл/выкл обр. связь)	2/20 гц.
3. Разрешение (вкл/выкл обр. связь)	2/1 нм.
4. Линейность не хуже	0.1%
5. Повторяемость не хуже	0.2%
6. Максимальная нагрузка	0.3 кг
7. Вес	80 г

На рис. 1 показано изображение калибровочной решетки фирмы НТ-МДТ, полученное при сканировании XY-сканером в сочетании с СЗМ «СМЕНА-Б». Изображение де-

монстрирует высокую линейность и доказывает особую ценность применения этого сканера там, где метрологическая точность особенно важна - например в микроэлектронике, где размер отдельных элементов приблизился к нанометровому интервалу.

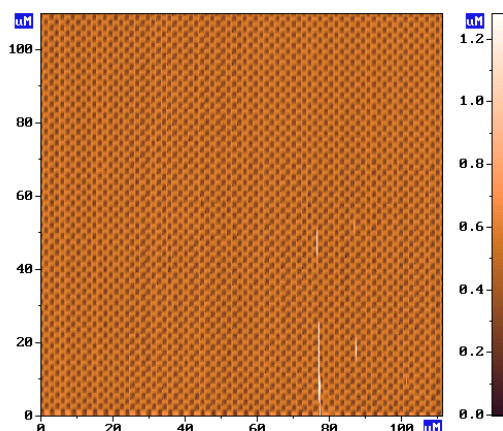


Рис. 1. Изображение калибровочной «шахматной» решетки с шагом 3мкм.

Для управления XY и Z сканерами и получением «спектральных» изображений в рамках совместного с японской фирмой Tokyo Instruments проекта Nanofinder нами было разработано единое программное обеспечение для управления всей спектральной системой. Оптический микроскоп Olympus -70x состыкован с одинарным монохроматором, позволяющем работать в различных режимах (прямом или с дифракционной решеткой), с набором различных приемников - многоканальными матрицами (ICCD DH501,

CCD DV434-BU) или фотоумножителями (PMT943-02, MCP-PMT), счетчиком фотонов PMS-300 или SPC-500. Лазер с длиной волны 473 или 390 нм для люминесцентных и 488 для рамановских измерений. Для фокусировки лазера на образец использовались 100х-объективы. В зависимости от режима производилось либо XY сканирование образца, либо сканирование объектива вдоль Z. В каждой точке скана измерялся сигнал с одного из приемников, который обрабатывался и строился как элемент изображения. В случае матриц предварительно производилась настройка на спектральный участок с характерными линиями. Выделялось до 20 участков линейного спектра и в дальнейшем в каждой точке скана вычислялись различные спектральные характеристики (интенсивность линий, их положение, интеграл спектра и др.).

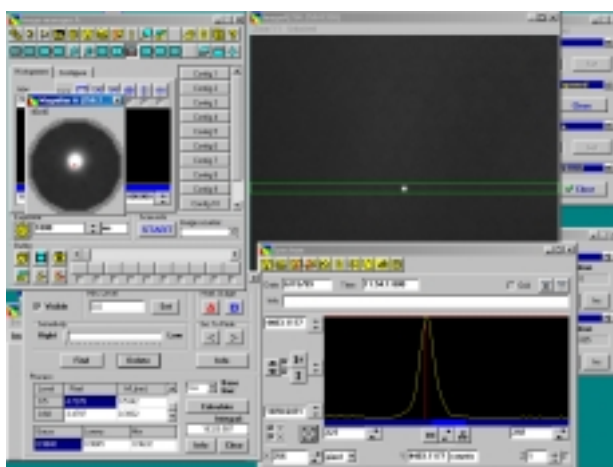


Рис. 2. Внешний вид программы управления всей спектральной системы.

Таким образом за один скан можно было получить до 20 изображений. Кроме того, можно снять серию изображений по Z координате и построить послойные изображения или аналог конфокального при комбинации с пин-холлом. Только одно перечисление различных элементов от различных производителей может охарактеризовать сложность задачи управления всем комплексом.

Программа написана на языке Delphi с применением объектно-ориентированного подхода и разбиения всего программного проекта на отдельные компоненты. Один из интерфейсов приведен на рис. 2., а примеры изображений, полученных на системе приведены на рис.3.

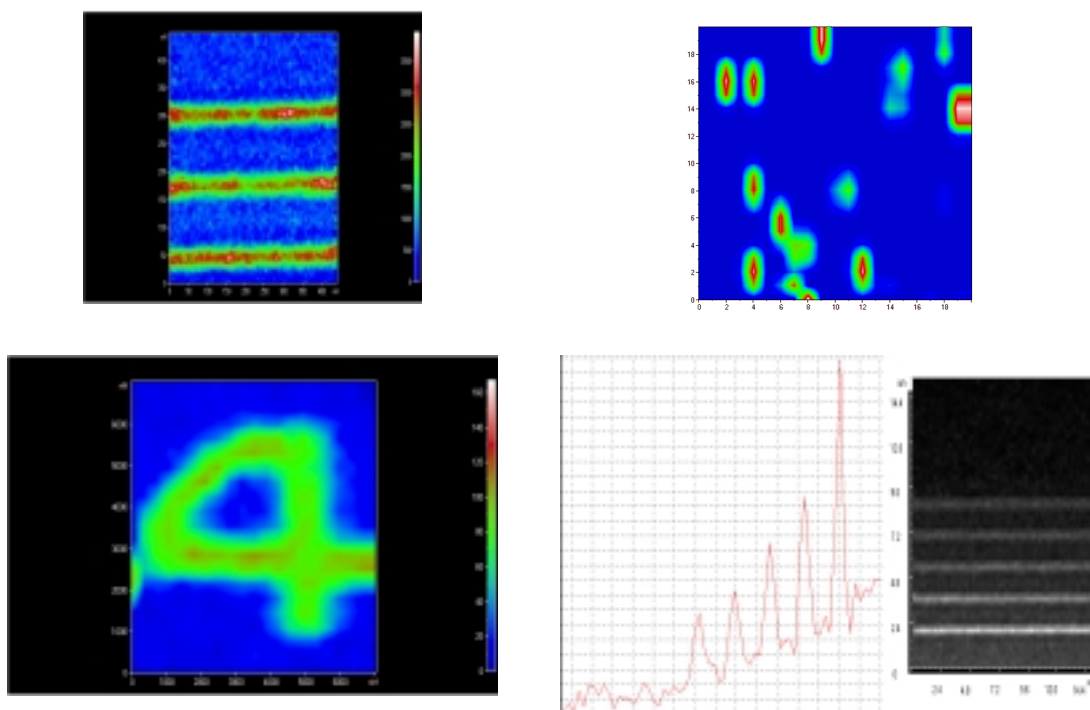


Рис.3. Примеры различных изображений, полученные на системе

Полученные результаты на двух первых системах вызвали очень большой интерес к данной разработке, что позволяет уверенно предположить успешное ее развитие.

Литература

1. Быков В.А., Иконников А.В., Кацур С.Ф., Саунин С.А., Соколов Ю.И. Новый базовый электронный блок для управления СЗМ линии «Солвер»//в данном сборнике.
2. Алексеев С.М., Быков В.А., Волков А.Д., Жданов М., Саунин С.А., Соколов Ю.И., Щеголев А.Г.. Новая концепция программного обеспечения СЗМ компании НТ-МДТ//в данном сборнике.
3. Быков В.А. Микромеханика для сканирующей зондовой микроскопии и нанотехнологии// Микросистемная техника №1 2000 год. (в печати)
4. Быков В.А, Душкин И.В.. Многомодовый Ближнепольный Зондовый Сканирующий Микроскоп и основные области его применения. //в данном сборнике.