

УДК 535.511

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ И СВЕРХТОНКИХ ПЛЕНОК

Гуревич В.Л.¹, Белова Е.А.²¹Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В 2013 году во исполнение Плана мероприятий по реализации положений Концепции формирования и развития наноиндустрии в Республике Беларусь, утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18 февраля 2013 г. № 113, и плана мероприятий по созданию и оснащению инфраструктурных объектов для развития наноиндустрии на 2017–2020 годы, было разработано задание «Создать и оснастить лабораторию эталонов в нанометровом диапазоне измерений» подпрограммы «Эталонные Беларуси» ГНТП «Эталонные и научные приборы». В то время предполагался спрос на рутинные измерения объектов в нанометровом диапазоне с помощью сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Поэтому, помимо наноизмерительной машины, применяемой для калибровки эталонных мер высоты ступени и ширины шага в нанометровом диапазоне измерений, планировалось укомплектовать лабораторию сканирующим зондовым микроскопом. С помощью которого предполагалось удовлетворять спрос предприятий на рутинные измерения методом сканирующей зондовой микроскопии. В настоящее же время большинство предприятий, нуждающихся в измерениях с помощью СЗМ, имеют собственные сканирующие зондовые микроскопы. Поэтому большую актуальность приобретает обеспечение метрологического контроля самих сканирующих зондовых микроскопов и мер высоты ступени, ширины шага.

Развитие нанотехнологий стимулирует развитие методов исследования тонких пленок и пленочных покрытий. При этом особый интерес представляют пленки, толщины которых составляют несколько нанометров (сверхтонких пленок). Такие пленки широко используются в микроэлектронике, нанофотонике, вычислительной технике и промышленности, оптике и оптоэлектронике, космической и бытовой промышленности, в разнообразных технических отраслях. Основным параметром пленки является толщина, которая играет важную роль в формировании их электрических и оптических свойств, поэтому при получении требуется измерять данный параметр.

В настоящее время начали поступать запросы от предприятий, в частности письмо Министерства промышленности (Минпром) Республики Беларусь №13-10/6618 от 22.12.2018 г. по поводу метрологического контроля приборов, производящих измерения параметров тонких пленок.

На сегодняшний день существует много способов определения толщины тонких пленок такие как, эллипсометрия, интерферометрия, профилометрия, электронная и атомно-силовая микроскопия, но чаще всего применяются первые два метода.

Однако при измерении толщины пленок с помощью интерференционных средств измерений возникает ряд проблем. В частности, затруднение вызывает анализ интерференционных полос и определение порядка интерференции по разные стороны ступеньки, что приводит к получению неверных значений толщины пленки. В то время как эллипсометрия является наиболее точным и чувствительным методом измерений тонких пленок.

Спектральная эллипсометрия – чувствительная к состоянию поверхности, неразрушающая, неинтрузивная оптическая технология, широко применяемая для определения характеристик тонких и прозрачных слоев. Данная методика анализа основывается на изменении состояния поляризации света, когда он отражается под углом от образца тонкой пленки. Спектральная эллипсометрия позволяет определить целый ряд свойств тонких пленок:

- толщина пленки;
- толщина границы раздела;
- оптические постоянные (n , k);
- состав пленки;
- оптическая ширина запрещенной зоны;
- кристалличность;
- градация;
- анизотропия;
- однородность по глубине и площади.

Спектральная эллипсометрия является неинвазивной, неконтактной, неразрушающей технологией, в отличие от других методов, таких как ТЕМ (просвечивающая электронная микроскопия), SEM (растровая электронная микроскопия), SIMS (времяпролетная вторично-ионная масс-спектрометрия), ESCA (электронная спектроскопия для химического анализа), которые являются разрушающими и дорогостоящими технологиями.

Эллипсометрия позволяет определять несколько свойств пленки одновременно, быстро и без пробоподготовки. Кроме того, она точнее к тонким пленкам менее 10 нм, и покрывает спектральный диапазон от 190 до 2100 нм. В зависимости от типа материала, с помощью эллипсо-

метрии можно измерять толщину от нескольких долей нанометров до десятков микрометров, в том числе и многослойных пленок. Эллипсометрия позволяет измерять образцы толщины тонких пленок с точностью до сотых долей нанометров, что очень важно для микроэлектронной промышленности.

Материалы, которые можно исследовать с помощью спектральной эллипсометрии, включают полупроводники, диэлектрики, полимеры, органические материалы и металлы. Эллипсометрия также может использоваться для изучения границ раздела между твердым веществом и жидкостью и между двумя жидкостями.

Среди материалов, измеряемых методом эллипсометрии и используемых в выше названных применениях, можно назвать, к примеру, c-Si, a-Si, p-Si, mc-Si, CdTe, CIGS, CdS, SiN, SiO₂, SiC, GaAs, AlGaAs, AlN, InGaN, SnO₂, PET, ZnO, PbS, PbSe, TiO₂, Al, Ag, Au и углеродные нанотрубки.

На предприятиях Минпрома имеются спектральные эллипсометры, которые метрологически не обеспечены в Республике Беларусь. Также есть потребность предприятий в измерениях тонких пленок. Диапазон толщин пленок, в измерении которых нуждаются отечественные предприятия, составляет от 1 нм до 10 мкм, что несомненно является областью нанометрового диапазона измерений. Эллипсометры имеются на таких предприятиях как: ОАО «ИНТЕГРАЛ», ОАО «КБТЭМ-ОМО», ОАО «ПЕЛЕНГ». Меры толщины тонких пленок имеют и проводят метрологический контроль в России ОАО "Нафтан" и ОАО "Мозырский НПЗ".

В целях метрологического обеспечения измерений основной задачей является разработка программы и методики калибровки. Это необходимо для обеспечения достоверности результатов измерений, осуществления прослеживаемости к международным единицам Si.

Цель проведения метрологической аттестации является установление соответствия метрологических характеристик установленным тре-

бованиям технического задания. Основными задачами метрологической аттестации являются:

- рассмотрение и проведение экспертизы технической документации;
- установление метрологических характеристик в процессе аттестации;
- установление требований к условиям проведения исследований;
- установление точек, в которых определяют значения метрологических характеристик и количества наблюдений;
- установление исходных данных и условий определения погрешности эллипсометра;
- обработка данных наблюдений;
- установление межкалибровочного интервала;
- оформление результатов аттестации.

Методика калибровки включает в себя следующие операции:

- внешний осмотр;
- процедуру измерений;
- обработку результатов измерений;
- оформление результатов измерений.

При проведении калибровки одним из главных показателей соответствия является оценка неопределенности, которая влияет на достоверность результатов измерений. Для проведения оценки необходимо составить математическую модель измерения и определить все влияющие параметры. Провести анализ входных величин и составить бюджет неопределенности измерений.

На основании вышеизложенного, в рамках задания «Создать и оснастить лабораторию эталонов в нанометровом диапазоне измерений» подпрограммы «Эталон Беларуси» ГНТП «Эталон и научные приборы», приобретен эталонный эллипсометр и атомно-силовой многофункциональный микроскоп, что позволит расширить возможности области применения лаборатории.

Таким образом, сформулирована задача для метрологического обеспечения средств измерений, работающих на принципах спектральной эллипсометрии.

УДК 537.871.3

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ С ПОМОЩЬЮ БЕЗЭХОВЫХ ЭКРАНИРОВАННЫХ КАМЕР

Евсюк Е.А.¹, Волюнец А.С.², Гуревич В.Л.², Серенков П.С.¹

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

В повседневной жизни мы все больше и больше используем разнообразную носимую электронику, бытовую технику, применяем раз-

личные средства связи, появляются новые разработки в области медицины, военном деле. Но мало кто из нас задумывается что при работе,