**53.086**

**Создание калибровочных образцов меры с элементами рельефа менее 100 нм**

**Ю. Р. ЕФИМЕНКОВ, Ю. М. ЗОЛОТАРЕВСКИЙ, В. Л. ЛЯСКОВСКИЙ, К.Н. МИНЬКОВ А. А. САМОЙЛЕНКО**

*Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений, Москва, Россия, e-mail:* [*ymz@vniiofi.ru*](mailto:ymz@vniiofi.ru)*,* [*vlyask@vniiofi.ru*](mailto:vlyask@vniiofi.ru)

Представлены результаты разработки экспериментального образца меры с элементами рельефа менее 100 нм для калибровки оптических, ближнепольных и электронных микроскопов на основе металлизированого электронного резиста (покрытия).

***Ключевые слова*:** мера рельефа, калибровка, ближнепольная, оптическая и электронная микроскопия.

The results of development experimental sample of mesure with relief elements size less than 100 nm for calibration of optical, near-field and electron microscopy are presented.

***Key words*:** relief mesure, calibration, near-field microscopy, optical microscopy, electron microscopy.

В современных технологиях все чаще используются наноструктурированные материалы, геометрические параметры которых определяют основные свойства выпускаемой продукции. Автоматизация промежуточного контроля этих параметров при производстве наноструктурированных компонентов инновационной продукции является одной из актуальных задач повышения качества выпускаемой продукции и снижения ее себестоимости. Автоматизированные системы должны обеспечивать бесконтактность измерений, высокие производительность и стабильность обнаружения наноразмерных дефектов, возможность интеграции в производственную линию. Для измерений такого рода в технологических линиях используют, как правило, оптические методы: интерферометрию, в том числе голографическую и спекл-интерферометрию, элипсометрию, конфокальную и сканирующую (Through-focus Scanning Optical Microscopy (TSOM) Imaging) микроскопию и др., которые имеют высокую оперативность измерений и являются бесконтактными.

Допустимость применения методов оптической интерференционной микроскопии связана, в первую очередь, с ограничением разрешающей способности оптических систем. В настоящее время разрешение интерференционных микроскопов в аксиальном направлении (продольное) достигает нескольких нанометров, а в латеральной плоскости (поперечное) ограничено дифракционным пределом, поэтому повышение латерального разрешения микроскопов является наиболее актуальной проблемой оптической микроскопии, встречающейся в различных областях науки и техники: при решении задач контроля параметров изделий микроэлектроники в процессе их производства, в материаловедении, фотонике и т. д. Для калибровки и определения разрешающей способности в аксиальном направлении используют меры с так называемыми ступенями различной высоты, достигающей значений порядка единиц нанометров.

Калибровка в латеральной плоскости представляет бόльшую трудность, чем в аксиальной. Основные меры, применяемые для калибровки микроскопов – периодические структуры (с периодом порядка 3 мкм) из кремния или оксида кремния. Размеры элементов рельефа мер этого типа сравнимы с длиной волны оптического излучения.

Разрешающую способность оптических приборов можно увеличить, разработав методы, основанные на решении обратной задачи. Прямая задача заключается в исследовании процесса возбуждения или распространения света в исследуемом материале, когда на основании известных физических законов и предположений о строении материала делается вывод об изменении параметров излучения при взаимодействии с данным материалом. Решение обратных оптических задач направлено на определение характеристик объектов и материалов по параметрам регистрируемого излучения. Применение методов решения обратной задачи дает возможность перейти к получению изображений с разрешением деталей менее дифракционного предела (сверхразрешению). Сверхразрешение позволяет применять оптические приборы для контроля геометрических параметров размером менее дифракционного предела. Для калибровки систем в режиме сверхразрешения необходимо создать структуры, имеющие хотя бы один размер менее длины волны оптического излучения. Также нужны четкие грани у элементов рельефа таких структур для упрощения калибровки и фокусировки.

Литографические методы позволяют создавать элементы рельефа размерами менее 100 нм из различных полупроводников. При изготовлении таких рельефов используют установки плазмохимического травления, стоимость которых достаточно высока. В то же время применение оптических методов с использованием излучения видимого диапазона и близких к нему участков спектра в экспериментальных исследованиях полупроводниковых структур нанометрового масштаба проблематично в связи с особенностями взаимодействия электромагнитного излучения с веществом наноструктур [1–3]. Подобные процессы взаимодействия приводят к возникновению дополнительного набега фаз при измерениях методами интерференционной микроскопии.

Одним из способов преодоления неопределенностей измерений, связанных с возникновением дополнительного набега фаз, является покрытие поверхностей мер металлической пленкой. Так как анизотропное травление кремния и последующее нанесение металлического покрытия требуют специализированного дорогостоящего оборудования, предложено изготавливать образцы для калибровки микроскопов с помощью электронного резиста, защищенного металлической пленкой.

Образец изготавливали следующим образом. На поверхность кремниевой пластины, очищенной с помощью активных ПАВ и органических растворителей, наносили электронно-чувствительный резист ERP-40 с чувствительностью 250 мкК/см2, после чего экспонировали рисунок на поверхности резиста. Рисунок представлял набор линий толщиной 70 нм, расположенных с периодом 400 нм. Длина штрихов варьировалась от 4 мкм до 200 нм. После экспонирования проявитель удаляли в изопропиловом спирте*.* Для уменьшения деградации электронного резиста и предотвращения взаимодействия с электромагнитным излучением поверхность покрывали слоем алюминия. На последнем этапе контролировали геометрические размеры образца с помощью электронного микроскопа. На рисунке показан образец со штрихами размером 200 нм.

Таким образом, описанный выше способ позволяет создавать модели различных дефектов и анализировать их оптическими методами в режиме сверхразрешения и исследовать образец в широком диапазоне увеличений. Благодаря большой длине штрихов элементы можно наблюдать с помощью оптического микроскопа без применения методов сверхразрешения. В зависимости от возможностей метода можно определить и откалибровать разрешающую способность в латеральной плоскости.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (соглашение № 14.625.21.0004 от 25.08.2014 г., уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI62514X0004).

Л и т е р а т у р а

1. **Булыгин Ф. В., Золотаревский С. Ю., Кононогов С. А, Илюшин Я. А., Левин Г. Г., Лясковский В. Л.** Анализ методов сверхразрешения в оптической интерференционной микроскопии // Метрология. 2013. № 8. С. 22–30.

2. **Илюшин Я. А., Ломакин А. Г., Золотаревский С. Ю., Левин Г. Г., Кононогов С. А.** Численное моделирование процедуры восстановления рельефа оптической поверхности с учетом рассеяния излучения на наноструктурах // Метрология. 2010. № 2. С. 3–12.

3. **Илюшин Я. А., Левин Г. Г., Золотаревский С. Ю., Кононогов С. А., Лысенко В. Г.** Моделирование процессов рассеяния оптического излучения нанообъектами с конечными диэлектрической проницаемостью и проводимостью // Метрология. 2010. № 1. С. 10–22.

*Дата принятия 03.09.2015 г.*

Подрисуночная подпись

Участок образца со штрихами размером 200 нм