

А.С. Гончаров, М.С. Ковалев,
А.Б. Соломашенко, А.С. Кузнецов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРООПТИЧЕСКИХ И ДИФРАКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МИКРОСКОПИИ SHUTTLE AND FIND

Исследовано совместное использование оптической и электронной микроскопии для комплексного изучения параметров микрооптических и дифракционных элементов. В качестве исследуемого образца использован микролинзовый растр. Разработана методика для контроля параметров образцов микрооптических и дифракционных элементов.

E-mail: anton.s.goncharov@gmail.com

Ключевые слова: сканирующая электронная микроскопия, оптическая микроскопия, корреляционная микроскопия, микролинзовый растр.

В современной оптике разработка дифракционных оптических элементов (ДОЭ) с бинарным и многоуровневым поверхностным рельефом, получаемых методами лазерной и электронно-лучевой литографии, а также приборов и устройств на их основе имеют большое практическое значение [1, 2].

При разработке новых усовершенствованных методов контроля ДОЭ к ним предъявляется ряд требований: наряду с бесконтактностью и дистанционностью измерений, они должны иметь широкий диапазон измерений (от нескольких мкм до нескольких сантиметров), высокое разрешение (от 100 нм, что достижимо только на электронном микроскопе, до 1 мкм) и высокое быстродействие.

Исследование рельефа поверхности и геометрических параметров ДОЭ оптическими бесконтактными методами в автоматическом режиме является важной задачей как лабораторных исследований, так и контроля промышленной продукции. Широкое использование нанотехнологий и наноматериалов, постоянно растущие требования по контролю качества изделий машиностроения, электроники и точной механики обуславливают перспективность корреляционной микроскопии как одного из направлений современного приборостроения.

Корреляционная микроскопия — это новая технология, позволяющая объединить в одном цикле исследование образцов под оптическим и электронным микроскопами. Результаты, полученные на микроскопах Zeiss Axio Imager Z2 Varío и Zeiss EVO MA 10, можно совмещать. В процессе исследования при сканировании крупнораз-

мерных объектов или построении топограмм поверхностного рельефа удобно использовать оптический микроскоп, но в том случае, когда требуется высокое разрешение, образец можно перенести под электронный микроскоп; специально разработанный держатель образцов, система адаптеров и программное обеспечение за считанные секунды автоматически позволят навести прибор на исследуемую область, а затем совместить результаты исследований, проведенных с помощью разных микроскопов. Это существенно экономит время исследований и открывает новые возможности в области оптики, материаловедения и т. п.

При проведении исследований были решены следующие задачи:

1) исследование геометрических параметров дифракционных оптических элементов с помощью оптической и электронной микроскопии, получаемых методами лазерной и электронно-лучевой литографии;

2) построение топограмм поверхностного рельефа дифракционных и микрооптических элементов;

3) выявление преимуществ технологии корреляционной микроскопии Shuttle and Find для исследования параметров и контроля дифракционных и микрооптических элементов;

4) разработка методики контроля качества изготовления дифракционных и микрооптических элементов с помощью технологии корреляционной микроскопии Shuttle and Find.

Ниже приведены несколько примеров использования корреляционной микроскопии.

Изготовление дифракционных элементов с помощью электронно-лучевой литографии. После извлечения образца из вакуумной камеры установки и проявления электронного резиста необходимо провести первичный анализ качества рельефа полученной поверхности. Для этого удобно использовать оптический микроскоп, так как исследование на электронном микроскопе занимает довольно продолжительное время вследствие необходимости достижения высокого вакуума. Однако исследование может быть затруднено из-за больших размеров подложки и малой области экспонирования. Программное обеспечение, необходимое для корреляционной микроскопии, позволяет запоминать координаты исследуемой области и значительно сокращает время поиска требуемой области на оптическом микроскопе.

Построение топограмм поверхностного рельефа дифракционных и микрооптических элементов. Функциональные возможности электронного микроскопа ограничены за счет плоского изображения исследуемой поверхности. Использование оптического микроскопа позволяет построить топограммы требуемых областей, а также про-

вести измерение высоты рельефа, проконтролировать форму поверхности.

Изучение образцов с точностью до десятков нанометров. Функциональные возможности оптического микроскопа ограничены дискретным набором увеличений, которого не всегда достаточно для исследования и контроля качества дифракционных и микрооптических элементов. Электронный микроскоп позволяет исследовать поверхность рельефа с точностью до десятков нанометров.

Цель данной работы — разработка методики контроля качества изготовления дифракционных и микрооптических элементов с помощью технологии корреляционной микроскопии Shuttle and Find.

Подготовка образцов. В качестве образцов использовались дифракционные и микрооптические элементы — дифракционные решетки и микролинзовый растр. Образцы должны быть жестко закреплены на специализированном предметном столе с помощью специальных лапок или проводящего двустороннего скотча. После закрепления образцов с их поверхности необходимо удалить пыль. Как отмечалось выше, очередность проведения исследований на оптическом и электронном микроскопах не имеет значения. Однако общим при исследовании является проведение калибровки предметного стола, т. е. создание единой системы координат для обоих микроскопов. Не менее важным условием является также создание локальной сети между компьютерами, используемыми для работы на микроскопах.

Проведение исследований дифракционных и микрооптических элементов с помощью оптического микроскопа. После установки специализированного предметного стола и его калибровки с помощью устройства перемещения находится требуемая область для исследования. Определяется увеличение и метод контрастирования исследуемого образца. Полученное изображение сохраняется на компьютере. Программное обеспечение Shuttle and Find сохраняет помимо изображения координаты исследуемой области и увеличение. Пример получаемого изображения приведен на рис. 1. С помощью программного обеспечения микроскопа можно измерить диаметр каждой линзы и период их расположения, однако возможность оценки погрешности изготовления растра по высоте отсутствует.

Для этого строится топограмма поверхности. Результаты измерений приведены на рис. 2. Видно, что изображения отдельных линз растра сильно сглажены. Кроме того, построение топограмм больших областей поверхности требует значительных затрат времени и ресурсов компьютера.

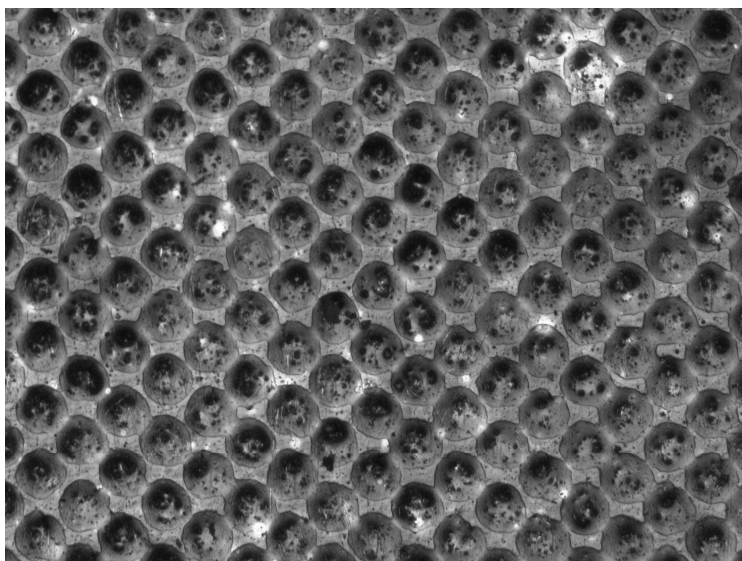


Рис. 1. Изображение микролинзового растра, полученное на оптическом микроскопе Zeiss Axio Imager Z2

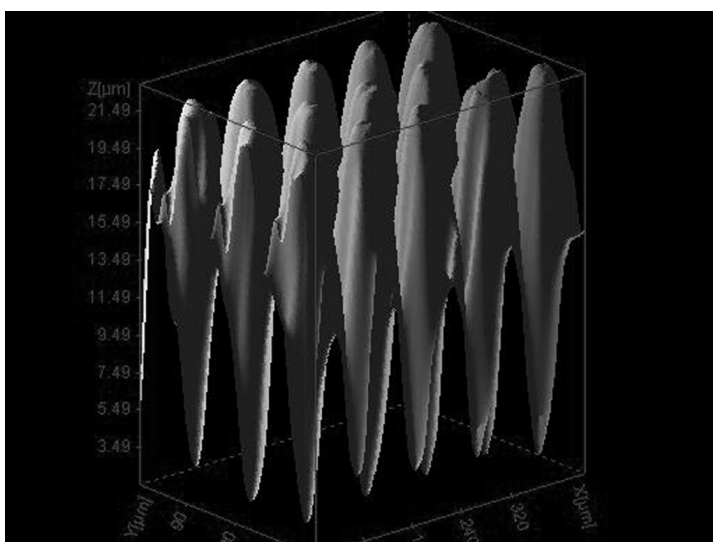


Рис. 2. Топограмма поверхности микролинзового растра, полученная на оптическом микроскопе Zeiss Axio Imager Z2

Проведение исследований дифракционных и микрооптических элементов с помощью электронного микроскопа. Существует два принципиально различающихся подхода при исследовании поверхности оптических деталей. Различие заключается в проводимости исследуемой поверхности. Если поверхность изготовленных дифракционных и микрооптических элементов формируется в стекле, то необходимо использовать малые значения ускоряющего

напряжения и малую энергию пучка. Это приводит к ухудшению качества получаемого изображения поверхности и накладывает ограничения на время работы с образцом.

Для улучшения качества изображения на стеклянную поверхность изготовленных дифракционных и микрооптических элементов наносили слой серебра толщиной 100 нм. В вакуумную камеру устанавливали специализированный предметный столик и проводили калибровку координат. Для исследования ранее определенной области микролинзового раstra использовалась технология корреляционной микроскопии Shuttle and Find.

С помощью программного обеспечения открывается сохраненное на оптическом микроскопе изображение, считываются координаты и увеличение. Автоматизированное устройство обеспечивает перемещение предметного столика таким образом, чтобы изображение поверхности микролинзового раstra соответствовало изображению на оптическом микроскопе. Изображение, полученное с помощью электронного микроскопа, приведено на рис. 3. Как видно на рис. 3, довольно сложно измерить диаметры отдельных микролинз, при этом хорошо видны дефекты поверхности и пыль (яркие пятна). Образование черных пятен свидетельствует о наличии значительных неровностей поверхности, т. е. не обеспечивается глубина резкости для наведения на поверхность исследуемого образца с высокой точностью.

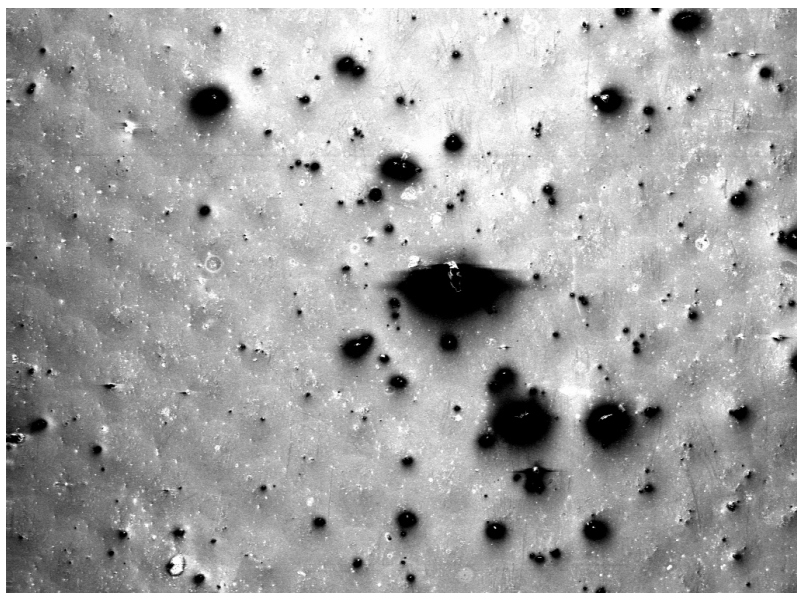


Рис. 3. Изображение микролинзового раstra, полученное на электронном микроскопе Zeiss EVO MA 10

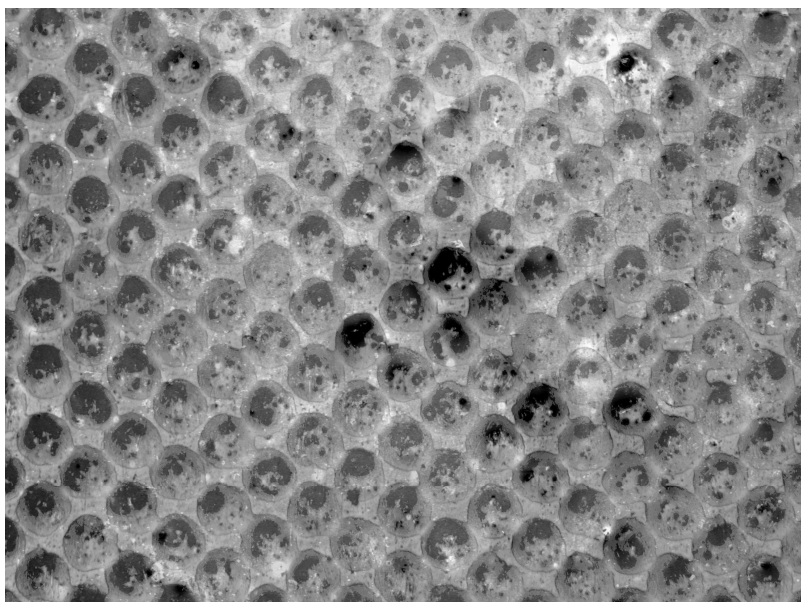


Рис. 4. Наложенные изображения микролинзового раstra, полученные на оптическом и электронном микроскопах

Функциональные возможности программы позволяют наложить два изображения друг на друга с целью определения качества получаемой поверхности рельефа. Результат наложения приведен на рис. 4. Изображения микролинз получились достаточно четкими, в центре видны значительные неровности рельефа.

Результаты исследования. На примере исследования микролинзового раstra разработана методика контроля параметров микрооптических элементов с помощью технологии корреляционной микроскопии Shuttle and Find. Использование данной технологии существенно расширяет возможности исследования дифракционных и микрооптических структур, объединяя все преимущества оптической и электронной микроскопии и позволяя точно совмещать изображения исследуемой области, полученные на разных микроскопах, для ее всестороннего изучения. Так, например, на оптическом микроскопе можно контролировать геометрические параметры микролинз, а качество поверхности линзы и дефектов полученного раstra — на электронном микроскопе. Данная технология является достаточно перспективной для проведения контроля при изготовлении дифракционных и микрооптических элементов, контроля защитных голограмм, а также для использования в материаловедении.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения государственного кон-

тракта № 14.710.11.1165 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 годы и при поддержке компании «Оптэк» в виде гранта для молодых ученых ведущих высших учебных заведений и научных исследовательских центров на оборудовании компании Carl Zeiss.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Scherrer C., Lysenkov D., Thomas H. Microstructural Investigation of Austempered Ductile Iron (ADI) with «Shuttle & Find» // Carl Zeiss AG. Germany. Corporate Research & Technology. – 2009.
2. Markers for correlated light and electron microscopy / G.E. Sosinsky, B.N.G. Giepmans, T.J. Deerinck, G.M. Gaietta, M.H. Ellisman // Methods in Cell Biology 79: 575-591. – 2007.

Статья поступила в редакцию 26.09.2012