

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 53.087.92 + 681.7.064

ФОТОЛИТОГРАФИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КРУГОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ШКАЛ НА УРАЛЬСКОМ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОМ ЗАВОДЕ

© 2008 г. Д. Ю. Кручинин, канд. техн. наук

Производственное объединение “Уральский оптико-механический завод” имени Э.С. Яламова”,
г. Екатеринбург

Рассмотрены вопросы модернизации производства круговых оптических шкал. Приведены результаты модернизации производства и внедрения технологии обратной фотолитографии для изготовления геодезических лимбов, растров и кодовых дисков.

Коды OCIS: 110.5220.

Поступила в редакцию 29.01.2007.

Введение

В связи с тем, что ПО “УОМЗ” является ведущим предприятием по изготовлению геодезических приборов, особое внимание на предприятии уделяется совершенствованию технологии изготовления круговых оптических шкал (деталей). Большая номенклатура выпускаемых приборов обусловила и большое разнообразие изготавливаемых деталей. К ним относятся геодезические лимбы (оцифрованные штрихи), угловые растры и многоразрядные кодовые диски. Основные технические требования, предъявляемые к деталям, следующие:

- минимальная ширина элементов топологии, мкм 1,5,
- неравномерность ширины штрихов, мкм 0,3,
- угловая погрешность расположения диаметров осей штрихов, угл. с $\pm 1,5$,
- класс чистоты (ГОСТ 11141) от 0–10,
- диаметр шкалы, мм до 100,
- низкая дефектность (утолщения и разрывы) элементов топологии,
- маскирующее покрытие хром.

Состояние производства круговых оптических шкал до его модернизации

Рассмотрим существовавшие на предприятии в течение длительного времени способы изготовления деталей.

1. Геодезические лимбы изготавливались механическим делением по лаковому покрытию на круговых делительных машинах типа ТКФ с последующим напылением хрома; оцифровка производилась по восковому защитному покрытию с после-

дующим травлением в парах плавиковой кислоты и запуском. Этот способ характеризуется высокой угловой точностью расположения штрихов (минимальная ширина штриха составляет 1,5 мкм). Основными недостатками способа являются двухстадийность изготовления и, следовательно, большая трудоемкость; плохое качество цифр, обусловленное как самим процессом оцифровки по восковому покрытию, так и травлением в парах плавиковой кислоты; низкий выход готовых лимбов (менее 50%); вред, наносимый окружающей среде в результате использования плавиковой кислоты. Кроме того, круговые делительные машины имеют сильный физический износ.

2. Угловые растры и многоразрядные кодовые диски изготавливались методом фотолитографии с последующим травлением хрома. К недостаткам этого способа можно отнести невозможность изготовления деталей, имеющих элементы топологии размером менее 5 мкм; угловую погрешность расположения диаметров осей штрихов, составляющую $\pm 3''$; допуск на линейные размеры $\pm 1,5$ мкм, неравномерность ширины штрихов 1 мкм, сложность получения класса чистоты поверхности более высокого, чем II, вследствие использования агрессивных травящих растворов.

Таким образом, модернизация производства круговых оптических шкал должна была решить следующие задачи:

- заменить физически и морально устаревшее оборудование,
- разработать универсальную технологию, позволяющую изготавливать всю имеющуюся номенклатуру деталей, соответствующих техническим требованиям,

- отказаться от использования плавиковой кислоты,
- повысить качество деталей, уменьшить линейные и угловые погрешности;
- увеличить выход годных деталей,
- снизить затраты на производство деталей.

Модернизация производства

Для изготовления деталей предлагалось применить метод обратной фотолитографии, используя проекционные установки, с масштабом 1:1 и диаметром поля изображения 90 мм [1]. Указанный способ, по мнению автора, приводит к коренному улучшению технологии по сравнению с контактным способом. К преимуществам способа можно отнести отсутствие износа фотошаблонов и уменьшение неровности края элементов топологии, к недостаткам – высокую стоимость проекционных экспонирующих установок, а также специализацию установок, т. е. элементы топологии шириной 2 мкм можно получать только в узком кольце. Кроме того, установки требуют высокую стабильность поддержания температуры в помещении как во время работы, так и в промежутках между рабочими периодами. Проекционный способ экспонирования можно считать целесообразным в случае высокой стоимости фотошаблонов. Способ изготовления фотошаблонов, описанный в [2], обуславливает, по-видимому, их высокую стоимость.

С целью модернизации производства круговых оптических шкал была разработана технологическая схема, позволяющая использовать отечественное оборудование, в том числе оборудование, выпускаемое для микроэлектронной промышленности (см. рисунок). Главное отличие от технологии, рассмотренной в [1, 2], заключается в необходимости наличия высокопроизводительного оборудова-

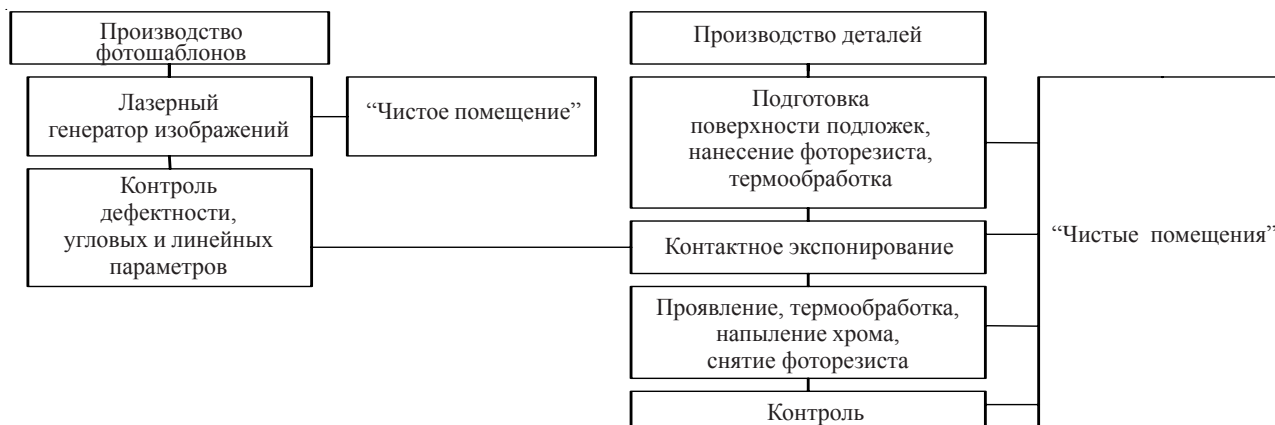
ния для изготовления фотошаблонов деталей и, следовательно, в возможности использования контактных экспонирующих установок. Приобретение лазерного генератора изображений модели CLWS-300, работающего в полярных координатах, и внедрение на предприятии технологии изготовления фотошаблонов стали первым этапом модернизации производства оптических шкал [3], что позволило осуществить мероприятия, отмеченные в левой части рисунка. С помощью генератора изображений изготавливаются в необходимом количестве фотошаблоны для всей номенклатуры деталей, обеспечивающие выполнение всех предъявляемых к ним технических требований.

При выполнении второго этапа модернизации в качестве основной технологии была выбрана обратная фотолитография с использованием контактного способа экспонирования. Обратная фотолитография по сравнению с фотолитографией с травлением (химическим) хрома имеет ряд преимуществ, перечисленных ниже.

1. Низкое отражение экспонирующего излучения от стеклянной полированной поверхности (4%) по сравнению с отражением хромированной поверхностью (50%). Это способствует более точной передаче изображения.

2. Отсутствует изменение размеров топологии, связанное с травлением хромового покрытия и термообработкой перед травлением. Химический состав и свойства хромового покрытия не влияют на линейные размеры элементов топологии. Адгезионные свойства фоторезиста и подложки в меньшей степени влияют на точность воспроизведения элементов топологии, так как в случае травления хрома возможно проникновение травящего раствора под край фоторезистивного покрытия.

3. Поверхность детали не подвергается воздействию агрессивного травящего раствора, что спо-



Технологическая схема производства деталей.

способствует сохранению класса чистоты полированной поверхности.

Для реализации второго этапа на предприятии был разработан проект нового участка фотолитографии. При этом были разработаны технологический маршрут изготовления деталей, планировка участка, был определен набор оборудования и приборов, разработаны технические задания на проектирование и изготовление оборудования. Также по техническому заданию предприятия были спроектированы, изготовлены и смонтированы “чистые помещения” для участка, что является необходимым условием при изготовлении деталей. Заказы на проектирование и изготовление оборудования были размещены на отечественных предприятиях.

Геодезические лимбы

После получения оборудования, проведения приемосдаточных испытаний, отработки и внедрения технологического процесса вся номенклатура геодезических лимбов была переведена на изготовление деталей методом обратной контактной фотолитографии. При этом были решены следующие задачи:

1) заменено устаревшее делительно-граверное оборудование, освобождено около 400 м² производственных площадей;

2) выход годных деталей увеличился с 50 до 90%;

3) за счет улучшения качества оцифровки повысилось качество деталей – неравномерность ширины обводки цифр уменьшилась с 2,5 до 0,5 мкм;

4) в связи с отказом от использования плавиковой кислоты улучшена экологическая обстановка и повышена безопасность труда;

5) за счет повышения выхода годных деталей, снижения трудоемкости нанесения шкалы, замены стекла BK10 на стекло K8 снижены затраты на изготовление деталей.

Растры и многоразрядные кодовые диски

На “УОМЗ” и родственных предприятиях в течение многих лет для изготовления растров и кодовых дисков используется фотолитография с травлением хрома. В этом случае на стеклянную подложку наносятся несколько слоев хромового покрытия, затем методом фотолитографии формируется фоторезистивная маска, через которую происходит травление покрытия. Широкое применение такой технологии обусловлено возможностью использования производственных помещений, в которых не нормируется чистота воздушной среды. Предполагается, что в таких помещениях можно получить

достаточно хорошее хромовое покрытие, нанося его в несколько слоев с промежуточными чистками, а травление хромового покрытия уменьшает размеры и количество дефектов, связанных с загрязнениями разного рода.

Изготовление растров и кодовых дисков методом обратной контактной фотолитографии показало целесообразность использования указанного метода, что подтверждается следующим:

1) угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов уменьшились в два раза и составили $\pm 1,5''$ для диаметра 90 мм,

2) отклонение линейного размера элемента топологии относительно соответствующего размера на фотошаблоне составляет $\pm 0,3$ мкм,

3) неравномерность ширины штрихов составила 0,3 мкм,

4) дефектность хромового маскирующего покрытия (площадь дефектов) уменьшилась в несколько раз.

На метод обратной фотолитографии переведено изготовление растров и кодовых дисков, которые имеют повышенные технические характеристики.

Заключение

В результате проведения модернизации производства круговых оптических шкал

– разработана универсальная технология, позволяющая изготавливать всю имеющуюся номенклатуру деталей;

– устаревшее делительно-граверное оборудование заменено на современное фотолитографическое оборудование, размещенное в “чистых помещениях”;

– повышено качество деталей, уменьшены линейные и угловые погрешности;

– увеличен выход годных деталей, снижены затраты на производство деталей;

– плавиковая кислота более не используется в производстве деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Файт К.* Установка проекционного экспонирования для изготовления лимбов высокой точности // Йенское обозрение. 1977. № 1. С. 21, 22.
2. *Шухардт Г.* Новый приборный комплекс для изготовления высокоточных круговых шкал // Йенское обозрение. 1986. № 2 С. 92–94, 102.
3. *Абрамов Ю.Ф., Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Кокарев С.А., Кручинин Д.Ю., Чугуй Ю.В., Яковлев О.Б.* Модернизация оптического делительного производства уральского оптико-механического завода на основе современных лазерно-компьютерных и фотолитографических технологий // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 8. С. 61–65.