

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 53.087.92 + 681.7.064

ФОТОЛИТОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ ШКАЛ (СЕТОК)

© 2009 г. Д. Ю. Кручинин, канд. техн. наук

ПО «Уральский оптико-механический завод им. Э.С. Яламова», г. Екатеринбург

E-mail: krudu@planet-a.ru

Рассмотрены вопросы производства оптических шкал (сеток). Приведены результаты внедрения фотолитографических технологий на предприятии для их изготовления.

Коды OCIS: 110.5220

Поступила в редакцию 27.05.2008.

Введение

Класс оптических шкал, называемых сетками, находит широкое применение в различных геодезических и других приборах. Топология сеток может состоять из штрихов, цифр, знаков, причем как светлых, так и темных, а также может иметь непрозрачную диафрагму по краю детали. Подложки сеток имеют плоскую рабочую поверхность, обратная сторона может иметь плоскую или сферическую поверхность. Объем производства сеток значительно превышает объем производства лимбов.

Основные технические характеристики сеток

Минимальная ширина элемента топологии, мкм	1,5
Допуск на ширину элемента топологии, мкм	± 0,5
Неравномерность ширины элементов топологии, мкм	0,4
Разность между интервалами штрихов не более, мкм	1,0
Класс чистоты рабочей поверхности, ГОСТ 11141	0–10
Класс чистоты поверхности обратной стороны, ГОСТ 11141	0–20
Дефекты (проколы) диафрагмы	по классу чистоты
Диаметр подложки, мм	4–50
Толщина подложки, мм	1–10
Маскирующее покрытие	хром, запуск

Состояние производства сеток до внедрения новых фотолитографических технологий

До недавнего времени сетки на предприятии изготавливались следующим образом. Детали, имеющие элементы топологии шириной более 5 мкм, изготавливались методом фотолитографии с травлением

методом фотолитографии с травлением (химическим) хромового маскирующего покрытия. Детали, имеющие элементы топологии шириной менее 5 мкм, изготавливались комбинированным способом, который заключался в том, что элементы топологии шириной более 5 мкм использовались методом фотолитографии с травлением (химическим) хромового маскирующего покрытия, а элементы топологии шириной менее 5 мкм – механическим методом деления по лаковому покрытию с последующим напылением хрома. Кроме того, часть сеток изготавливалась механическим методом деления по восковому защитному покрытию с последующим травлением в парах или растворах плавиковой кислоты с использованием темного или белого запусков в качестве маскирующих покрытий. В качестве материала подложки в этом случае использовалось стекло БК10.

Эти способы имеют следующие недостатки:

сложность сохранения высоких классов чистоты поверхностей, обусловленная применением агрессивных травящих растворов и длительностью технологического процесса;

большая трудоемкость, обусловленная применением механического и комбинированного способов,

большая дефектность диафрагмы, обусловленная несовершенством подготовки поверхности перед напылением хромового покрытия, отсутствием необходимой чистоты воздушной среды, “пробоем” фоторезиста при травлении хромового покрытия;

сложность соблюдения допуска на ширину элементов топологии и требуемой равномерности ширины элементов топологии при изготовлении сеток методом фотолитографии с травлением хрома и разности между интервалами при нанесении штрихов механическим способом;

большая неравномерность ширины элементов топологии (до 2 мкм) и большая неровность края

элементов топологии (до 1 мкм) при использовании плавиковой кислоты для изготовления сеток.

вред, наносимый окружающей среде и рабочим плавиковой кислотой.

Выбор технологий

Ранее было установлено [1], что для изготовления геодезических лимбов, круговых растров и многорядных кодовых лимбов целесообразно использовать метод обратной фотолитографии. Были рассмотрены преимущества метода обратной фотолитографии по сравнению с фотолитографией с травлением хрома. Можно было предположить, что этот метод целесообразно использовать и для изготовления сеток, так как он обеспечивает необходимые размеры и точность расположения элементов топологии, низкую дефектность элементов топологии и сохранность чистоты полированной поверхности. За основу можно взять технологическую схему, предложенную в [1]. Также целесообразно использовать для изготовления сеток оборудование, предназначенное для изготовления фотошаблонов лимбов и самих лимбов и размещенное в “чистых помещениях”. Все это обусловило возможность применения метода обратной фотолитографии для изготовления сеток. Для сеток, имеющих в качестве маскирующего покрытия темный запуск, есть возможность заменить его хромовым покрытием. Эти сетки также целесообразно изготавливать методом обратной фотолитографии.

Наиболее трудными, с точки зрения применения технологии фотолитографии, являются сетки, имеющие в качестве маскирующего покрытия белый запуск. Особенности применения таких сеток не дают возможности заменить белый запуск хромовым или каким-либо другим маскирующим покрытием. Создание рельефа в подложке для белого запуска можно осуществить, применяя, например, ионное травление по рисунку, сформированному в слое фоторезиста. Это требует, во-первых, разработки соответствующей технологии, а во-вторых, приобретения дополнительно комплекта дорогостоящего оборудования, что нецелесообразно, учитывая небольшой объем производства таких сеток. Следовательно, для сеток, имеющих в качестве маскирующего покрытия белый запуск, требуется создание специальной технологии фотолитографии, позволяющей получить рельеф в подложке без применения плавиковой кислоты.

Особенности формирования топологии сеток

Для изготовления фотошаблонов круговых шкал на предприятии применяется лазерный генератор изображений модели CLWS-300, работающий в по-

лярных координатах [2]. В то же время известно, что при изготовлении фотошаблонов круговых шкал с помощью генераторов изображений, работающих в прямоугольной системе координат, на штрихах образуются ступеньки, количество которых зависит от угла между направлением сканирования лазерного луча и направлением штриха, а высота ступенек – от шага сканирования. Подобный результат был обнаружен и при формировании топологии сеток, которая представляет собой, как правило, совокупность взаимно перпендикулярных элементов топологии, на генераторе CLWS-300. Кроме того, было обнаружено, что разность ширины элементов топологии, сформированных на генераторе CLWS-300 в радиальном и тангенциальном направлениях, достигает 0,3 мкм. При изготовлении фотошаблонов сеток необходимо внести коррективы в технологию записи с целью устранения ступенек на элементах топологии и дополнительной неравномерности ширины элементов топологии.

При изготовлении сеток методом обратной фотолитографии наибольшую трудность по сравнению с изготовлением лимбов представляет собой формирование диафрагмы по краю детали. При нанесении фоторезиста на края подложки образуется утолщение, от которого не удастся избавиться даже при высоких скоростях вращения центрифуги. При изготовлении сеток с диафрагмами методом фотолитографии с травлением хрома образование такого утолщения фоторезиста даже способствует уменьшению количества дефектов. В случае обратной фотолитографии недопустимо наличие каких-либо остатков фоторезиста после экспонирования и проявления в световой зоне. Наиболее сложными для изготовления являются сетки, имеющие одновременно диафрагму и элементы топологии шириной 1,5 мкм. Точность формирования элементов топологии находится в противоречии с требованием отсутствия дефектов на диафрагме. Небольшие, как правило, размеры сеток и размеры световых зон, близкие к наружным размерам подложек, представляют собой дополнительные трудности, возникающие при их изготовлении.

Для изготовления сеток, имеющих в качестве маскирующего покрытия белый запуск, наибольшие трудности заключаются в подборе такого состава травителя, который при высокой скорости травления стекла не имел бы в своем составе плавиковой кислоты, и в создании таких защитных свойств фоторезистивной пленки, которые позволили бы получить шкалу требуемого качества. Следует отметить, что к таким сеткам предъявляются менее жесткие технические требования: минимальная ширина элемента топологии 5 мкм, допуск на ширину эле-

ментов топологии ± 2 мкм, неравномерность ширины элементов топологии 1 мкм.

Результаты технологических исследований и внедрения фотолитографических технологий

В результате технологических исследований и внедрения новых фотолитографических технологий были решены следующие технические и экономические задачи:

– разработана серийная технология изготовления сеток методом обратной фотолитографии для имеющегося оборудования, размещенного в “чистых помещениях”;

– для операций термообработки при изготовлении сеток, так же как и лимбов, применен метод “горячая плита”, что позволило повысить производительность труда;

– разработана серийная специальная фотолитографическая технология изготовления сеток, имеющих в качестве маскирующего покрытия белый запуск; разработан травитель для стекла, не имеющих в составе плавиковой кислоты;

– вся номенклатура сеток на предприятии изготавливается с помощью фотолитографических технологий: сетки, имеющие в качестве маскирующего покрытия хромовое покрытие, изготавливаются

методом обратной фотолитографии; сетки, имеющие в качестве маскирующего покрытия белый запуск, изготавливаются специальным методом фотолитографии;

– проведена корректировка технологии изготовления фотошаблонов сеток на генераторе CLWS-300, позволяющая формировать элементы топологии, имеющие неравномерность ширины в пределах 0,2 мкм и неровность края 0,1 мкм;

– снижена трудоемкость изготовления сеток, уменьшен коэффициент запуска, снижены затраты на производство;

– повышено качество сеток, уменьшены погрешности изготовления;

– выведено из эксплуатации устаревшее делительно-граверное оборудование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кручинин Д.Ю. Фотолитография в производстве круговых оптических шкал на Уральском оптико-механическом заводе // Оптический журнал. 2008. Т. 75. № 4. С. 92–94.
2. 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.