

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ КРУГОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ШКАЛ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ГЕНЕРАТОРА ИЗОБРАЖЕНИЙ CLWS-300

© 2011 г. Д. Ю. Кручинин, канд. техн. наук; О. Б. Яковлев, канд. хим. наук

ПО “Уральский оптико-механический завод им. Э.С. Яламова”, г. Екатеринбург

E-mail: krudu@planet-a.ru

Рассмотрены результаты исследования угловых погрешностей круговых оптических шкал, изготовленных с использованием лазерного генератора изображений.

Ключевые слова: круговая оптическая шкала, лимб, угловая погрешность, лазерный генератор изображений.

Коды OCIS: 110.5220.

Поступила в редакцию 18.10.2010.

Введение

Для изготовления прецизионных круговых оптических шкал (лимбов) на предприятии используется способ обратной фотолитографии [1, 2]. Использование этого способа предполагает применение прецизионных фотошаблонов, имеющих соответствующую топологию круговой шкалы. Для изготовления таких фотошаблонов используется лазерный генератор изображений CLWS-300, в котором применяется технология, основанная на принципах кругового растрового сканирования [3, 4]. Угловые погрешности круговой шкалы фотошаблона в значительной степени определяют угловые погрешности лимба, изготовленного способом обратной фотолитографии. Результаты измерения угловых погрешностей лимба на установке контроля АС700 представляются в виде зависимостей $y = F(x)$ [5], где x – угловое положение штриха. Зависимость $F(x)$ является результатом суммирования погрешностей, вносимых установкой контроля $F_{\text{к}}(x)$, и погрешностей лимба $F_{\text{л}}(x)$:

$$F(x) = F_{\text{к}}(x) + F_{\text{л}}(x).$$

В свою очередь зависимость $F_{\text{л}}(x)$ является результатом суммирования погрешностей непосредственно шкалы $F_{\text{ш}}(x)$ и погрешностей, вносимых подложкой шкалы $F_{\text{п}}(x)$:

$$F_{\text{л}}(x) = F_{\text{ш}}(x) + F_{\text{п}}(x).$$

Зависимость $F_{\text{ш}}(x)$ также является результатом взаимодействия угловых погрешностей,

вносимых лазерным генератором изображений CLWS-300 [5] через топологию фотошаблона $F_{\text{фш}}(x)$ и технологическим процессом обратной фотолитографии $F_{\text{флг}}(x)$:

$$F_{\text{ш}}(x) = F_{\text{фш}}(x) + F_{\text{флг}}(x).$$

Таким образом, результат измерения угловых погрешностей лимба, изготовленного способом обратной фотолитографии, можно представить в виде

$$F(x) = F_{\text{к}}(x) + F_{\text{фш}}(x) + F_{\text{флг}}(x) + F_{\text{п}}(x). \quad (1)$$

С учетом уравнения (1) результат измерения угловых погрешностей круговой шкалы, изготовленной с использованием лазерного генератора изображений, можно представить в виде

$$F(x) = F_{\text{к}}(x) + F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x). \quad (2)$$

В уравнении (2) зависимость угловых погрешностей круговой шкалы, определяемая генератором изображений $F_{\text{ги}}(x)$, связана с $F_{\text{фш}}(x)$ следующим образом:

$$F_{\text{ги}}(x) = -F_{\text{фш}}(-x).$$

Такое соотношение обусловлено тем, что при изготовлении лимбов способом обратной фотолитографии перенос топологии происходит в зеркальном изображении.

Отделить $F_{\text{к}}(x)$ от $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$ позволяет фазостатистический метод [4]. Наибольшую трудность представляет собой разделение зависимостей $F_{\text{ги}}(x)$ и $F_{\text{п}}(x)$. В работе [4] для разделения этих зависимостей использовался статистический метод, который заключается

в усреднении зависимостей $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$ для некоторого количества подложек. В данной работе для разделения и определения зависимостей $F_{\text{ги}}(x)$ и $F_{\text{п}}(x)$ использовался фазостатистический метод. Задачей исследования является определение зависимостей $F_{\text{ги}}(x)$ и $F_{\text{п}}(x)$.

Методика проведения эксперимента

С помощью лазерного генератора изображений CLWS-300 [3] была синтезирована круговая шкала диаметром 90 мм, состоящая из 360 темных штрихов шириной 8 мкм. Нулевой штрих заужен с каждой стороны на 0,5 мкм. Для исследования использовалась полированная подложка, имеющая отклонение от плоскости для рабочей стороны $N = 5$ и $\Delta N = 0,3$, для обратной стороны $N = 5$ и $\Delta N = 2,5$. При этом для рабочей стороны изменение N происходит от центра к краю, т. е. зона шкалы находится практически в одной плоскости, на обратной стороне в зоне шкалы имеются два бугра и две ямы.

При первом нанесении шкалы подложка устанавливалась на стол шпинделя генератора произвольным образом. Затем проводилось измерение угловых погрешностей шкалы на установке AC700: 18 измерений с поворотом подложки относительно оси шпинделя установки на 20° . Положение зауженного штриха определялось по характерному единичному выбросу на зависимостях угловых погрешностей расположения границ штрихов. Затем на подложке было отмечено положение зауженного штриха, после чего шкала была удалена химическим способом. При повторных нанесениях шкалы подложка устанавливалась на стол шпинделя генератора таким образом, чтобы положение зауженного штриха на подложке оказывалось смешенным относительно положения зауженного штриха предыдущего нанесения шкалы на 20° по часовой стрелке, т. е. производился поворот подложки, а угловое положение нулевого штриха относительно оси шпинделя генератора оставалось неизменным. Исследования проводились для угловых погрешностей расположения диаметров осей штрихов. Угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов характеризуются отсутствием в составе погрешности нечетных гармоник, поэтому шкала наносилась 9 раз. После каждого нанесения шкалы проводились измерения на установке AC700, результаты измерения обрабатывались с использованием фазостатистического метода.

Результаты эксперимента и обсуждение

В результате проведения измерений на установке AC700 и обработки данных было получено 9 зависимостей $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$ (рис. 1). Далее повторно с использованием фазостатистического метода было дважды проведено усреднение полученных зависимостей. Первое усреднение проводилось по нулевому штриху (рис. 2, кривая 1). Второе усреднение проводилось таким образом, что за нулевой штрих принимался для первой зависимости нулевой штрих, для второй – 340-й штрих, для третьей – 320-й штрих и так далее (рис. 2, кривая 2), т. е. усреднение происходит относительно подложки в положении, соответствующем нулевому штриху для первой зависимости. Обращает на себя внимание тот факт, что сумма выделенных зависимостей не равна исходной зависимости. Это говорит о том, что имеется случай-

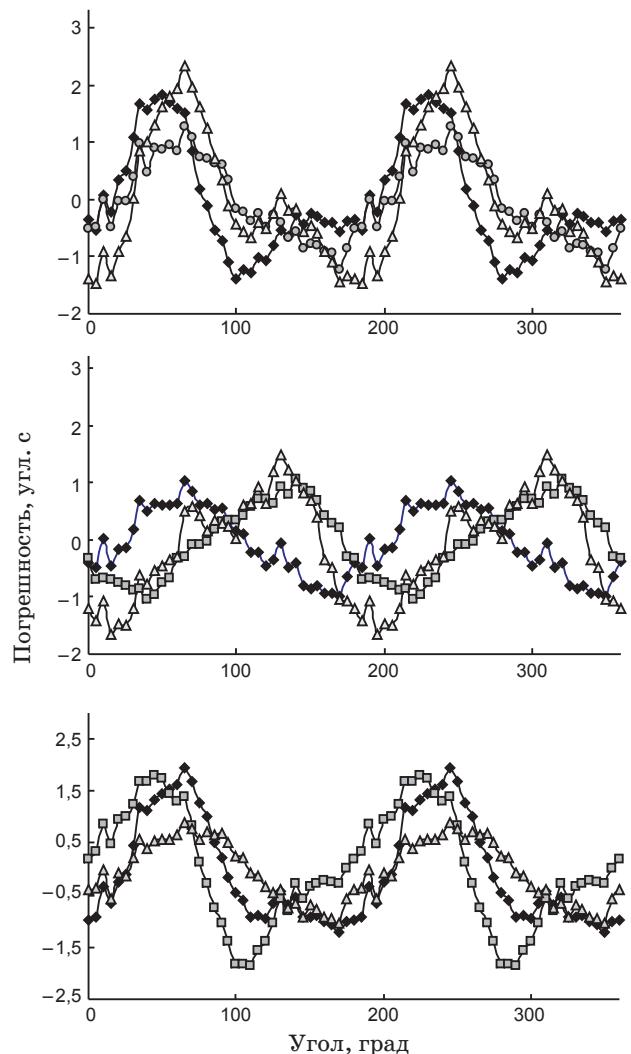


Рис. 1. Зависимости угловых погрешностей $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$.

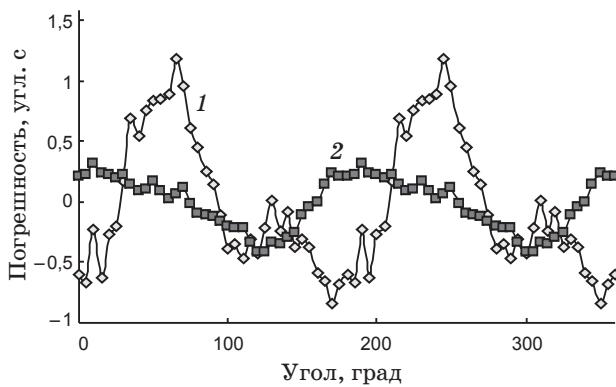


Рис. 2. Систематическая зависимость угловых погрешностей круговой шкалы, определяемая генератором изображений $F_{\text{ги1}}(x)$ (1), зависимость угловых погрешностей, вносимых подложкой шкалы $F_{\text{n}}(x)$ (2).

ная (несистематическая) зависимость угловой погрешности. Если считать, что форма подложки постоянна (следовательно, зависимость $F_{\text{n}}(x)$ для всех случаев тоже постоянна), то случайная зависимость угловой погрешности круговой шкалы обусловлена, по-видимому, процессом синтеза шкалы на генераторе изображений. Можно предположить, что зависимость угловых погрешностей круговой шкалы, определяемая генератором изображений $F_{\text{ги1}}(x)$, является суммой систематической зависимости угловых погрешностей круговой шкалы, определяемой генератором изображений $F_{\text{ги1}}(x)$ (рис. 2, кривая 1), и случайной зависимости угловых погрешностей круговой шкалы, определяемой генератором изображений $F_{\text{ги2}}(x)$, т. е.

$$F_{\text{ги}}(x) = F_{\text{ги1}}(x) + F_{\text{ги2}}(x). \quad (3)$$

Накопленная погрешность расположения диаметров осей штрихов для систематической погрешности $F_{\text{ги1}}(x)$ составляет $2,02''$ (рис. 2, кривая 1).

Накопленная погрешность расположения диаметров осей штрихов, определяемая подложкой $F_{\text{n}}(x)$, составляет $0,74''$ (рис. 2, кривая 2).

Накопленная погрешность расположения диаметров осей штрихов составляет для случайной погрешности $F_{\text{ги2}}(x)$ от $1,3''$ до $2,81''$ (рис. 3). Вычисление случайных погрешностей проводилось вычитанием из каждой зависимости $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{n}}(x)$ (рис. 1) зависимости $F_{\text{ги1}}(x)$ (рис. 2, кривая 1) и зависимости $F_{\text{n}}(x)$ (рис. 2, кривая 2) с учетом сдвига по фазе: для первой зависимости 0° , для второй -20° , для третьей -40° и т. д.

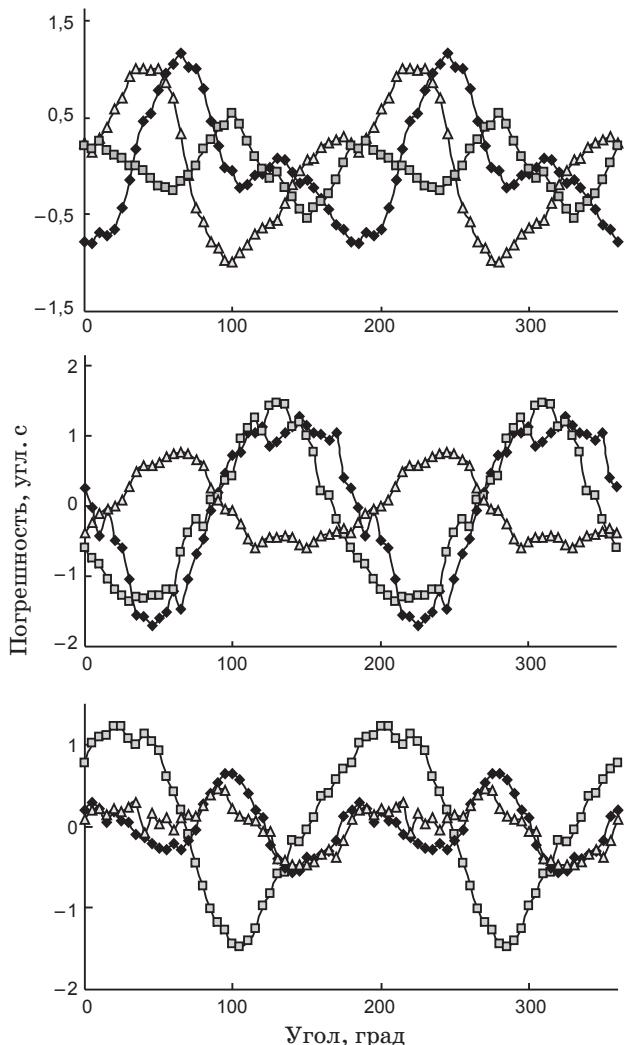


Рис. 3. Случайные зависимости угловых погрешностей круговых шкал, определяемые генератором изображений $F_{\text{ги2}}(x)$.

Накопленная погрешность расположения диаметров осей штрихов, определяемая генератором изображений $F_{\text{ги}}(x)$ (сумма систематической и случайной погрешностей), составляет от $1,62''$ до $4,22''$ (рис. 4).

Зависимость $F_{\text{n}}(x)$ обусловлена для данной подложки в основном второй гармоникой (рис. 2, кривая 2), что определяется, по-видимому, видом отклонения от плоскости обратной стороны: два бугра и две ямы.

Зависимости погрешностей, определяемые генератором изображений, как систематическая $F_{\text{ги1}}(x)$ (рис. 2, кривая 1), так и случайные $F_{\text{ги2}}(x)$ (рис. 3), обусловлены в основном второй и четвертой гармониками.

Таким образом, установлено, что угловые погрешности круговой оптической шкалы, изготовленной с помощью лазерного генератора

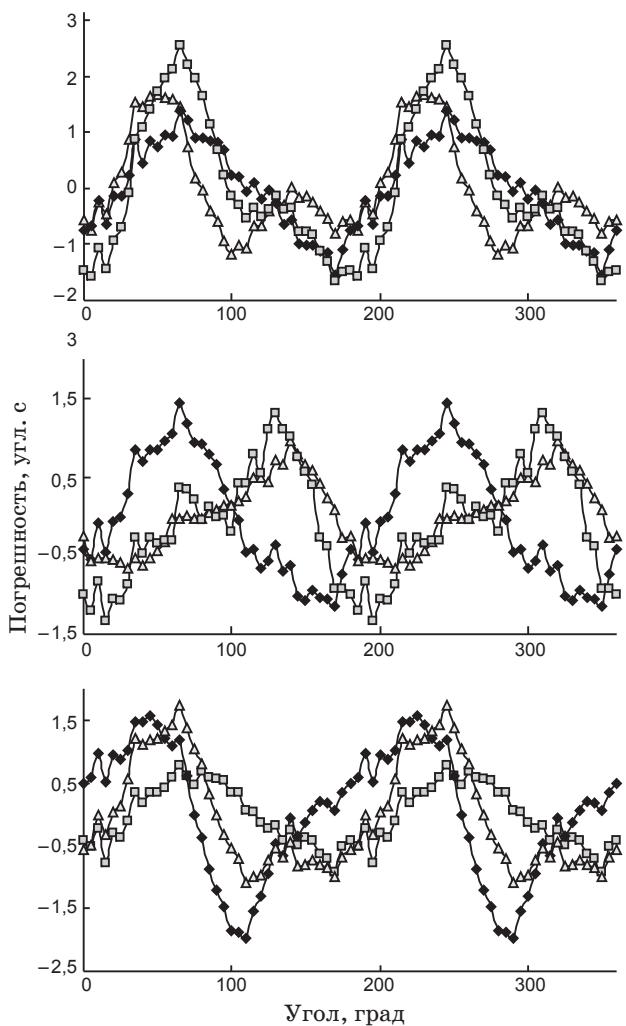


Рис. 4. Зависимости угловых погрешностей круговых шкал, определяемые генератором изображений $F_{\text{ги}}(x)$.

ра изображений CLWS-300, определяются не только систематической погрешностью, вносимой генератором, но и случайной погрешностью, которая определяется конкретными условиями синтеза шкалы. Это могут быть отклонения от плоскости поверхностей подложки и стола шпинделя генератора, их взаимное расположение и др. Накопленная погрешность расположения диаметров осей штрихов систематической погрешности, вносимой генератором, составляет $2''$, что соответствует ранее проведенным исследованиям [3]. Подтверждено, что подложка вносит свой вклад в результат измерения угловой погрешности круговой оптической шкалы на установке контроля AC700.

Заключение

Для получения объективных данных по угловым погрешностям прецизионных круговых шкал фотошаблонов и прецизионных лимбов контроль необходимо проводить с использованием установки контроля, исключающей влияние подложки на результат измерения. Также необходимо проводить контроль угловых погрешностей с использованием фазостатистического метода каждого фотошаблона, предназначенного для изготовления прецизионных лимбов. Возможность использования фотошаблона будет определяться не только угловыми погрешностями его шкалы, но и влиянием операции экспонирования технологического процесса обратной фотолитографии [5].

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Кручинин Д.Ю. Способ изготовления оптических шкал обратной фотолитографией // Патент России № 2370799. 2009.
2. Кручинин Д.Ю. Фотолитография в производстве круговых оптических шкал на Уральском оптико-механическом заводе // Оптический журнал. 2008. Т. 75. № 4. С. 92–94.
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.
4. Bartik S.A., Frizin S.E., Kiryanov V.P., Kiryanov A.V., Kokarev S.A., Kruchinin D.Y., Nikitin V.G., Yakovlev O.B. Development of a technique for the determination of metrological parameters of technological system CLWS-300/C for synthesis of high precision angular measuring structures // 10th IMEKO TC7 International Symposium. Saint-Petersburg, 2004. Р. 316–320.
5. Кручинин Д.Ю., Анисимова О.В., Тырышкина А.С. Исследование угловых погрешностей лимбов, изготовленных методом обратной фотолитографии // Оптический журнал. 2009. Т. 76. № 6. С. 70–74.