ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 53.087.92 + 681.7.064

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИММЕРСИОННОЙ ЖИДКОСТИ НА УГЛОВЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ЛИМБОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ОБРАТНОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ

© 2016 г.
Д. Ю. Кручинин, канд. техн. наук; **Е. П. Фарафонтова**, канд. техн. наук

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

E-mail: klip3@mail.ru

Рассмотрены результаты исследования влияния иммерсионной жидкости, используемой при контактном экспонировании в технологическом процессе обратной фотолитографии, на угловые погрешности круговых оптических шкал (лимбов).

Ключевые слова: *круговая оптическая шкала (лимб), угловая погрешность, обратная фотолитография.*

Коды OCIS: 110.5220

Поступила в редакцию 06.05.2015

Введение

Контактное экспонирование в технологическом процессе обратной фотолитографии [1, 2] оказывает существенное влияние на угловые погрешности круговых оптических шкал (лимбов). Угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов, вносимые при экспонировании, определяются, в первую очередь, второй и шестой гармониками, а также, возможно, четвертой гармоникой. Было сделано предположение, что одной из причин возникновения дополнительных угловых погрешностей шкалы при экспонировании фоторезиста является отклонение от плоскости поверхности плиты установки экспонирования и, соответственно, отклонение от плоскости поверхности фотошаблона и поверхности подложки лимба с образованием между ними переменного по размеру зазора. Если сделанное предположение верно, то при заполнении зазоров иммерсионной жидкостью угловые погрешности будут уменьшаться. Задачей исследования является определение влияния иммерсионной жидкости, используемой при контактном экспонировании в технологическом процессе обратной фотолитографии, на угловые погрешности лимбов.

Методика проведения эксперимента

С помощью лазерного генератора изображений CLWS-300 [3] был изготовлен фотошаблон, представляющий собой замкнутую круговую шкалу, состоящую из 1080 прозрачных штрихов шириной 8 мкм, диаметр шкалы 90 мм. Один из штрихов увеличен в одну сторону на 0,5 мкм. Для исследования использовались две полированные подложки, имеющие отклонения от плоскости не более $N = 10$ и $\Delta N = 2$. Для формирования топологии использовался ДХН-фоторезист, толщина фоторезистивного покрытия составляла около 0,5 мкм. На каждой подложке формирование шкалы проводилось по 8 раз: 4 раза без использования иммерсионной жидкости и 4 раза с ее использованием, при этом в каждом случае угол наклона плиты установки экспонирования, на которую устанавливался фотошаблон с подложкой, менялся от 0 до 3°. Соответствующим образом изменялись и углы падения лучей актиничного излучения на поверхность фотошаблона. Экспонирование проводилось на установке ЭМ576А, модернизированной с целью изготовления с ее помощью оптических шкал. Фотошаблон на плиту уста-

новки экспонирования и подложки на фотошаблон во всех случаях устанавливались одинаковым образом. Прижим фотошаблона к плите и подложек к фотошаблону осуществлялся вакуумированием. В качестве иммерсионной жидкости использовалась дистиллированная вода, в качестве маскирующего покрытия – хром. Подложки для нанесения фоторезиста и способ их размещения на фотошаблоне описаны в работе [4]. Фотошаблон на плите установки экспонирования был повернут на 90° по сравнению с его положением, описанным в работе [4].

Измерение угловых погрешностей лимбов проводилось на установке АС700: 18 измерений с поворотом лимба относительно оси шпинделя установки на 20°. Положение уширенного штриха определялось по характерному единичному выбросу на зависимости угловой погрешности расположения одной из границ штрихов. Далее в соответствии с фазо-статистическим методом [5] было проведено усреднение всех полученных угловых зависимостей, причем за нулевой штрих принимался каждый раз уширенный штрих. Определялась угловая погрешность расположения диаметров осей штрихов, которая характеризуется отсутствием в своем составе погрешности нечетных гармоник.

Результаты эксперимента и обсуждение

Результат измерения угловых погрешностей на установке АС700 можно представить в следующем виде [1]:

$$F(x) = F_c(x) + F_d(x),$$

где x – угловое положение штриха, $F_c(x)$ – угловые погрешности, вносимые установкой АС700, $F_d(x)$ – угловые погрешности лимба. Использование фазо-статистического метода позволяет разделить эти погрешности и получить их в виде двух отдельных зависимостей [5]. Зависимость $F_d(x)$, в свою очередь, можно представить в следующем виде [1]:

$$F_d(x) = F_m(x) + F_{exp1}(x) + F_{exp2}(x) + F_b(x), \quad (1)$$

где $F_m(x)$ – угловые погрешности, вносимые генератором изображений CLWS-300 через топологию фотошаблона, $F_{exp1}(x)$ – угловые погрешности, возникающие при экспонировании за счет неравномерной освещенности, $F_{exp2}(x)$ – угловые погрешности, добавляемые при экспонировании в результате образования зазора переменного размера, $F_b(x)$ – угловые погрешности, обусловленные влиянием формы подложки (клин, отклонение от плоскости рабочей стороны и др.) на результат измерения на установке АС700. Если рассматривать угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов, то уравнение (1) примет следующий вид [1]:

$$F_d(x) = F_m(x) + F_{exp2}(x) + F_b(x). \quad (2)$$

У каждой подложки при изменении угла наклона плиты установки экспонирования меняется $F_{exp2}(x)$, а $F_m(x)$ и $F_b(x)$ остаются неизменными.

В результате проведения эксперимента для каждой подложки получены зависимости $F_d(x)$ угловых погрешностей расположения диаметров осей штрихов при разных положениях плиты установки экспонирования с использованием и без использования иммерсионной жидкости (рис. 1–4). Как видно из рис. 1, 2 и таблицы, в случае экспонирования без использования иммерсионной жидкости накопленные

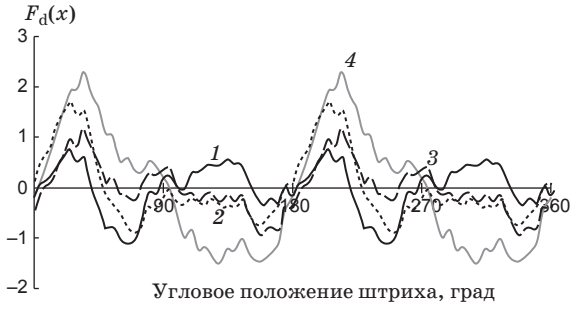

Рис. 1. Зависимости угловых погрешностей расположения диаметров осей штрихов (подложка 1, экспонирование без использования иммерсионной жидкости) при углах наклона плиты 0 (*1*), 1 (*2*), 2 (*3*), 3° (*4*).

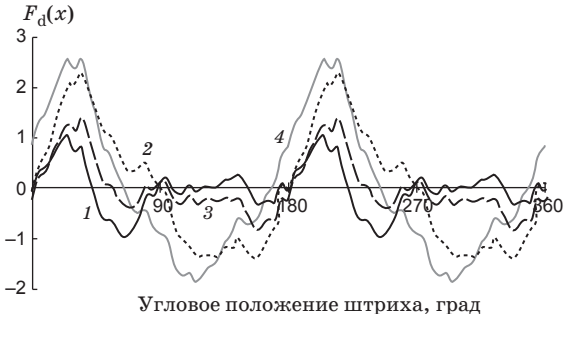

Рис. 2. Зависимости угловых погрешностей расположения диаметров осей штрихов (подложка 2, экспонирование без использования иммерсионной жидкости) при углах наклона плиты 0 (*1*), 1 (*2*), 2 (*3*), 3° (*4*).

Результаты исследования влияния использования иммерсионной жидкости при изменении углов падения лучей актиничного излучения на накопленную угловую погрешность расположения диаметров осей штрихов

Угол наклона плиты, град	Накопленная угловая погрешность расположения диаметров осей штрихов, угл. с			
	экспонирование без использования иммерсионной жидкости		экспонирование с использованием иммерсионной жидкости	
	подложка 1	подложка 2	подложка 1	подложка 2
0	1,86	2,01	1,81	1,93
1	2,60	3,71	2,07	1,90
2	2,02	2,21	2,18	2,06
3	3,77	4,41	2,01	2,52

угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов значительно увеличиваются при увеличении угла наклона плиты установки экспонирования и, соответственно, с увеличением углов падения лучей актиничного излучения на поверхность фотошаблона. При этом наблюдается минимум при угле наклона плиты в 2°. Изменения накопленных угловых погрешностей и их характер значительно отличаются от данных, полученных в работе [4]. Это обусловлено тем, что угловая погрешность $F_{\exp 2}(x)$ в настоящей работе соответствует $F_{\exp 2}(x + 90°)$ в работе [4], что определяется отличием в расположении фотошаблона на плите установки экспонирования.

В случае экспонирования с использованием иммерсионной жидкости меняются накопленные угловые погрешности и характер их изменения в зависимости от угла наклона плиты установки экспонирования (рис. 3–4, таблица). У первой подложки накопленные угловые погрешности меняются незначительно (в пределах 0,37″) и практически не зависят от угла наклона плиты. Все зависимости $F_d(x)$ имеют одинаковый характер и обусловлены второй, четвертой и шестой гармониками. У второй подложки до угла наклона плиты установки экспонирования в 2° накопленные угловые погрешности меняются незначительно, при угле наклона плиты в 3° происходит увеличение накопленной угловой погрешности (2,52″), хотя это значение намного меньше полученного при экспонировании без использования иммерсионной жидкости (4,41″). Все зависимости $F_d(x)$ также имеют одинаковый характер и обусловлены второй, четвертой и шестой гармониками.

По-видимому, использование иммерсионной жидкости приводит к значительному уменьшению влияния зависимости $F_{\exp 2}(x)$ на зависимость $F_d(x)$ в результате изменения хода лучей в зазорах при экспонировании, обусловленного увеличением показателя преломления за счет заполнения их иммерсионной жидкостью, при этом зависимости $F_m(x)$ и $F_b(x)$ остаются неизменными.

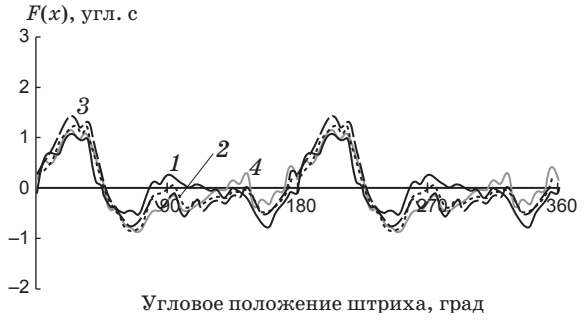

Рис. 3. Зависимости угловых погрешностей расположения диаметров осей штрихов (подложка 1, экспонирование с использованием иммерсионной жидкости) при углах наклона плиты 0 (*1*), 1 (*2*), 2 (*3*), 3° (*4*).

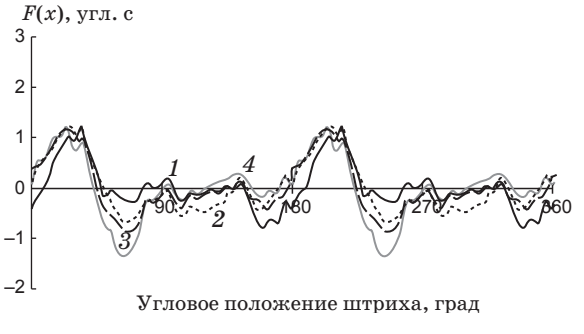

Рис. 4. Зависимости угловых погрешностей расположения диаметров осей штрихов (подложка 2, экспонирование с использованием иммерсионной жидкости) при углах наклона плиты 0 (*1*), 1 (*2*), 2 (*3*), 3° (*4*).

Заключение

Результаты работы показали, что использование иммерсионной жидкости при контактном экспонировании в технологическом процессе обратной фотолитографии приводит к значительному уменьшению влияния изменения углов падения актиничного излучения на поверхность фотошаблона на угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов круговых оптических шкал, уменьшению влияния зависимости $F_{\exp 2}(x)$ на зависимость $F_{\mathrm{d}}(x)$ и, соответственно, уменьшению накопленной угловой погрешности расположения диаметров осей штрихов.

Контактное экспонирование в технологическом процессе обратной фотолитографии оказывает существенное влияние на угловые погрешности круговых оптических шкал. Использование иммерсионной жидкости для заполнения зазоров между фотошаблоном и подложкой лимба позволяет значительно уменьшить это влияние и снизить накопленные угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов круговых оптических шкал.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. *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.
2. *Кручинин Д.Ю.* Способ изготовления оптических шкал обратной фотолитографией // Патент России № 2370799. 2009.
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. *Кручинин Д.Ю.* Исследование влияния изменения углов падения лучей актиничного излучения на поверхность фотошаблона на угловые погрешности лимбов, изготовленных методом обратной фотолитографии // Оптический журнал. 2010. Т. 77. № 6. С. 46–50.
5. *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 // 10 th IMEKO TC7 Intern. Symp. Saint-Petersburg, 2004. P. 316–320.