

# Исследование ошибок термохимической лазерной записи скрещенных дифракционных решеток

Р.И. Куц  
Новосибирский национальный  
исследовательский государственный  
университет  
Институт автоматики и  
электрометрии СО РАН  
Новосибирск, Россия  
r.i.kuts@mail.ru

В.П. Корольков  
Институт автоматики и  
электрометрии СО РАН  
Новосибирск, Россия  
korolkov@iae.nsk.su

А.Р. Саметов  
Институт автоматики и  
электрометрии СО РАН  
Новосибирск, Россия  
sametov@iae.nsk.su

В.В. Черкашин  
Институт автоматики и  
электрометрии СО РАН  
Новосибирск, Россия  
Cherkaschin@iae.nsk.su

С.К. Голубцов  
Институт автоматики и  
электрометрии СО РАН  
Новосибирск, Россия  
golubtsovsk@iae.nsk.su

**Аннотация**—При реализации технологии прямой лазерной термохимической записи дифракционных структур на тонких металлических пленках необходимо учитывать граничные условия формирования микроэлементов. В данном исследовании рассматриваются ошибки топологии дифракционных структур, появляющиеся из-за разницы условий формирования на стыках прямоугольных микроэлементов. Были проведены записи тестовых структур на пленках хрома, исследованы механизмы возникновения ошибок термохимической записи. Проведено исследование по подбору технологических параметров лазерной записи для минимизации ошибок топологии.

**Ключевые слова**—дифракционный оптический элемент, прямая лазерная запись, тонкие пленки металлов, термохимическое окисление, ошибки топологии.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Лазерные литографические системы хорошо зарекомендовали себя при создании дифракционных оптических элементов и компьютерно-синтезированных голограмм. На итоговую дифракционную эффективность, функциональность и точность изготовленных оптических элементов влияет ряд факторов, вызывающих ошибки формирования дифракционных микроструктур. С развитием технологии прямой лазерной записи проводились исследования по минимизации этих ошибок [1]. Ошибки могут быть связаны с нестабильностью механики литографических систем, приводящей к дрейфу начала системы координат и отклонению траектории движения пучка от расчетной формы [2]. Кроме того, существуют ошибки, связанные с граничными условиями формирования микроэлементов [3]. Если первая группа ошибок регистрируется уже после этапа проявления дифракционной структуры [4] и исправляется с помощью более качественной настройки механики и балансировки всей литографической системы, то ошибки, связанные с физикой процесса термохимического окисления [5] можно предотвратить на этапе построения файл-проекта будущего дифракционного элемента [3, 6].

Собственную специфику имеют ошибки, возникающие при реализации технологии прямой лазерной записи на высокоскоростных круговых сканирующих системах. За счет высокой линейной скорости сканирования, которая увеличивается с увеличением радиуса записи, возникает асимметрия краев записываемого лазерным пучком трека [6]. Короткий трек имеет каплевидную форму за счет изменения термодинамических условий от начального края до конечного. Из-за такой асимметрии возникает ошибка топологии при записи азимутально модулируемой структуры.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СКРЕЩЕННЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК

При записи прямолинейных периодических структур на установке, работающей в полярной системе координат, ошибки топологии структуры зависят от радиуса (линейной скорости) сканирования и угла пересечения лазерного трека с прямоугольными микроэлементами структуры. Для исследования была взята решетка Даммана с периодом 15 мкм (рис. 1а). Была произведена запись данной структуры на круговой лазерной записывающей системе CLWS-300IAE на пленке хрома. На рис. 1б представлена микрофотография участка полученной амплитудной решетки. Темные области соответствуют пленке хрома. Стрелкой показано направление сканирования.

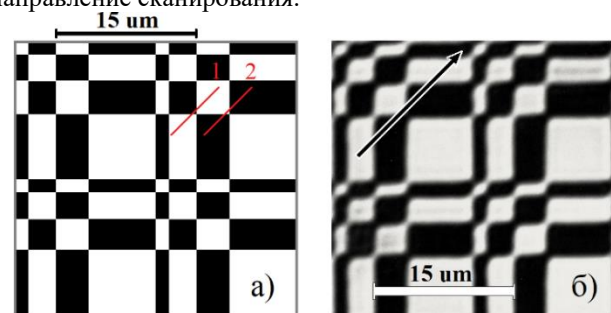


Рис. 1. Пример Решетка Даммана а) расчетная структура б) микрофотография на пропускание полученной структуры

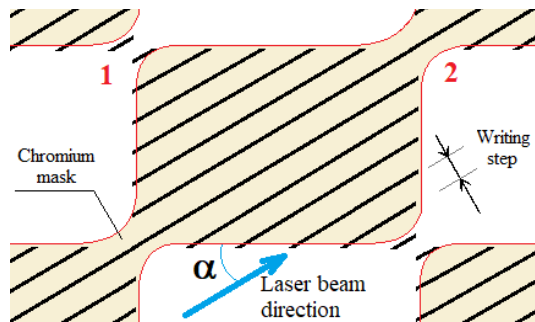


Рис. 2. Схема расположения лазерных треков для одного микроэлемента решетки

На рис. 2 схематически изображено расположение лазерных треков при записи одного микроэлемента скрещенной решетки. Ограниченной кривыми линиями областью обозначена полученная после проявления топология хромовой маски. Стрелкой показано направление сканирования лазерного пучка. Угол  $\alpha$  – угол входа лазерного трека в край структуры микроэлемента.

Видно, что в местах стыка дифракционных зон по диагонали присутствуют разрывы и слияния. Разрывы образуются в местах, где действует короткий лазерный импульс (точка 1 на рис. 2). Тогда энергии воздействия этого импульса недостаточно для прогрева с образованием оксидной маски. Слияния образуются в местах, где, наоборот, непрерывное излучение прерывается слишком коротким выключением (точка 2 на рис. 2).

Такого рода искажения наибольшим образом проявляются при входе траектории лазерного пучка в структуру микроэлемента под углом  $45^\circ$ . При угле  $90^\circ$  эти искажения практически отсутствуют и погрешность формы микроэлементов хромовой маски возникает в основном из-за неравномерности теплового уширения границ микроэлемента. На рис. 3 схематично показана мощность лазерного излучения вдоль участков траектории 1 и 2 (красные линии сечения на рис. 1(a)), приводящая к разрывам и слияниям, соответственно. Также показан критический уровень мощности ( $P_{\text{крит}}$ ), который соответствует порогу процесса термохимического окисления. При другой ориентации структуры относительно лазерного трека будет другое перераспределение искажений.

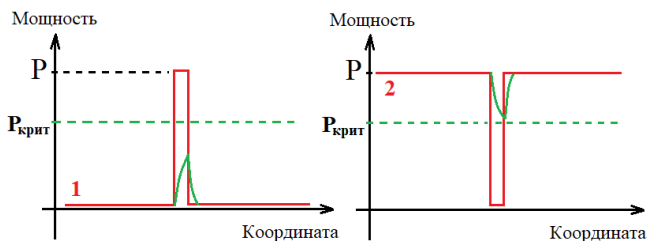


Рис. 3. Схема включения мощности излучения вдоль участков траекторий 1 и 2 (рис. 1(a))

В рамках данного исследования была произведена серия тестовых записей дифракционных скрещенных решеток Даммана при различных углах входа лазерного трека относительно ориентации прямолинейных структур. В связи с тем, что растекание тепла по поверхности металлической пленки способствует уширению минимального размера записывающего элемента, была предложена корректировка прямолинейных структур, заключающаяся в изотропном уменьшении размеров микроэлементов решетки. Были исследованы корректировки размера от 0 до 0,5 мкм. Показано, что оптимальная величина смещения каждой границы микроэлемента равняется 0,2 мкм. При этом, удалось частично ослабить проявление искажений на углах микроэлементов, что позволило улучшить выходные параметры готовой фазовой дифракционной решетки. В общем случае, такие ошибки на углах микроэлементов исправляются динамической коррекцией расчетной геометрии структур и локальной мощности записи. Реализация подобных алгоритмов нетривиальна и требует проведения дополнительной научно-исследовательской работы.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования показана зависимость погрешностей выходных параметров скрещенной дифракционной структуры, возникающих из-за искажений топологии структуры, от скорости сканирования записывающего пучка и от угла ориентации прямолинейных структур относительно направления лазерного сканирования. Были оптимизированы параметры записи для получения структур с наименьшим искажением.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Poleshchuk, A. Methods for minimizing the errors in direct laser writing of diffractive optical elements / A. Poleshchuk, V. Korolkov, V. Cherkashin, S. Reichelt, J. Burge // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing (Avtometriya)*. – 2003. – Vol. 43. – P. 3-13.
- [2] Jin, Z. Radial drift during polar laser direct writing / Z. Jin, J. Tan, Y. Liu, L. Wang, S. Zhang // *Opto-Electronic Engineering*. – 2008. – Vol. 35(7). – P. 38-43.
- [3] Yongjun, X. Method for correcting the joint error of a laser writer / X. Yongjun, Z. Lu, F. Li // *Optics Express*. – 2003. – Vol. 11(9). – P. 975-979.
- [4] Shimansky, R.V. Diffractive Sensor Elements for Registration of Long-Term Instability at Writing of Computer-Generated Holograms / R.V. Shimansky, D.A. Belousov, V.P. Korolkov, R.I. Kuts // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21(19). – P. 6635.
- [5] Никитин, В.Г. Динамика процесса записи скрытого изображения в пленках хрома: моделирование и экспериментальные результаты / В.Г. Никитин // *Автоматрия*. – 2007. – Т. 43, № 6. – С. 97-107.
- [6] Кирьянов, А.В. Особенности применения- технологии записи скрытых изображений в пленках хрома при- синтезе прецизионных углоизмерительных структур / А.В. Кирьянов, В.Г. Никитин // *Автоматрия*. – 2009. – Т. 45, № 1. – С. 109-117.