

Анализ встраиваемых 2D дифракционных сенсорных элементов для контроля долговременной нестабильности систем лазерной записи ДОЭ

Д. А. Белоусов, В. П. Корольков, Р. В. Шиманский, Р. И. Куц

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия

В работе обсуждается использование специализированных 2D дифракционных сенсорных элементов (2D-ДСЭ), встраиваемых в рабочее поле дифракционных оптических элементов (ДОЭ), для контроля долговременной нестабильности процесса их сканирующей лазерной записи. Эти сенсоры состоят из двух частей: первая записывается до начала записи ДОЭ, а вторая во время записи с заданным смещением относительно первой. Изменение скважности, а также изменение смещения между составными частями такого сенсора от заданных значений, при освещении 2D-ДСЭ сфокусированным пробным световым пучком приводят к изменению дифракционной эффективности в дифракционных порядках. Показана эффективность использования данных встраиваемых 2D-ДСЭ для оценки методом оптической дифрактометрии ошибок координат формируемых дифракционных зон и скважности структур при лазерной записи ДОЭ.

Ключевые слова: Дифракционные оптические элементы, Сканирующая лазерная запись, Дифракционные сенсорные элементы, Дифракционная эффективность.

Цитирование: Белоусов, Д. А. Анализ встраиваемых 2D дифракционных сенсорных элементов для контроля долговременной нестабильности систем лазерной записи ДОЭ / Г. И. Грейсух, А. И. Антонов, Е. Г. Ежов // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 99–104.

Введение

При изготовлении дифракционных оптических элементов (ДОЭ) методами сканирующей лазерной записи характерна большая длительность производственного процесса. В связи с этим актуальной задачей, как для систем с X-Y линейной траекторией движения пучка [1], так и для круговых лазерных записывающих систем [2] является регистрация долговременной нестабильности координат формируемых на подложке дифракционных зон, а также скважности записываемых структур. Данные об этих ошибках могут использоваться как доказательство качества (сертификации) изготовленного ДОЭ, либо для учета соответствующих ошибок при обработке интерферограмм в системах оптического контроля асферических поверхностей с использованием опорного волнового фронта генерируемого ДОЭ.

Типичным решением для контроля таких ошибок является введение в записываемую структуру различных меток, выполняющих роль своеобразных сенсоров [3-5]. В данной работе рассматривается использование встраиваемых 2D дифракционных сенсорных элементов (2D-ДСЭ), для контроля стабильности координат формируемых дифракционных зон, а также их скважности при записи ДОЭ.

1. 2D дифракционные сенсорные элементы

Встраиваемые 2D-ДСЭ для контроля стабильности систем лазерной записи ДОЭ были впервые предложены в работе [6]. Структуру такого сенсора составляют две 2D дифракционные структуры, каждая из которых формируется в процессе записи независимо: первая записывается до начала записи ДОЭ, а вторая во время записи с заданным смещением относительно первой структуры. На рис. 1а показано схематичное расположение двух 2D структур, формирующих 2D-ДСЭ, каждая из которых отмечена разными оттенками серого. Контроль стабильности процесса записи ДОЭ с использованием 2D-ДСЭ осуществляется путём анализа дифракционной эффективности (ДЭ) соответствующих дифракционных порядков.

На рис. 1б показана геометрия моделирования ДЭ таких 2D-ДСЭ, используемая в данной работе. Моделирование ДЭ производилось для амплитудных 2D решёток с периодом $d = 5$ мкм каждая, и высотой формируемых на кварцевой подложке хромовых выступов (для «положительного» процесса записи) или впадин (для «негативного» процесса записи) 50 нм. Ширина W отдельных составных элементов структуры при моделировании варьировалась в диапазоне от 0,8 мкм до 1,5 мкм. Это соответствует изменению скважности 2D-ДСЭ ($D = d/W$) в диапазоне от 3,33 до 6,25.

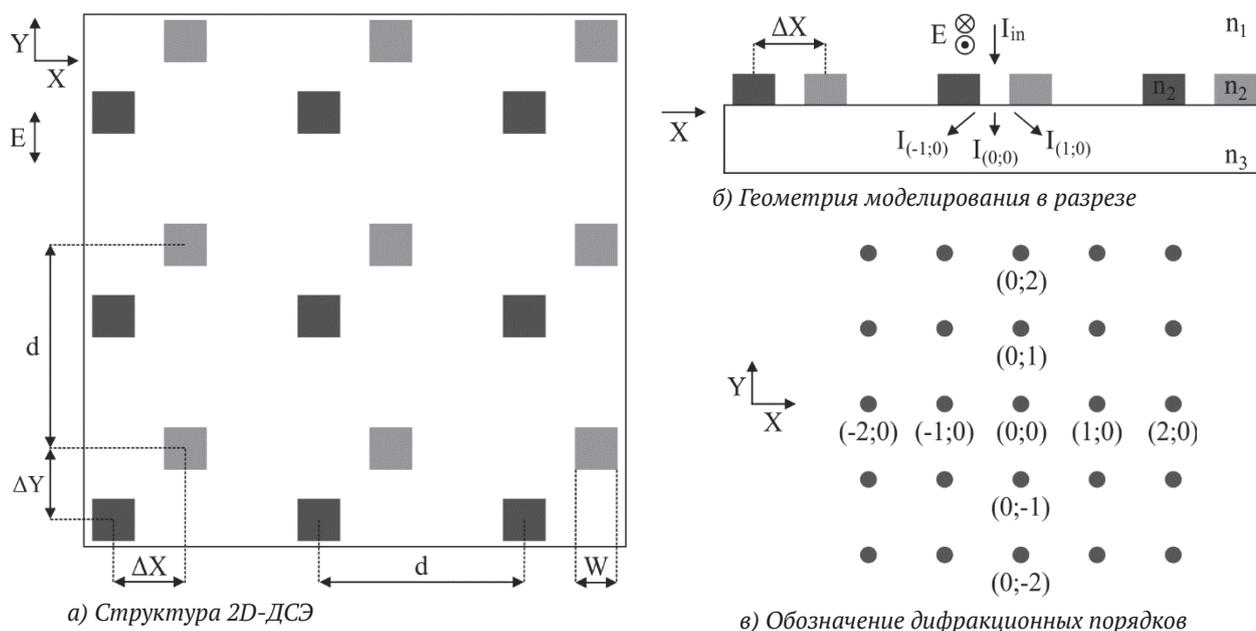


Рис. 1. Геометрия моделирования 2D дифракционных сенсорных элементов

2. Контроль нестабильности координаты записываемых структур

В работе [6] было показано, что совместный анализ ДЭ дифракционных порядков (1;0) и (2;0) позволяет осуществлять контроль ошибок долговременной нестабильности координаты записываемого пучка вдоль оси X, а анализ ДЭ дифракционных порядков (0;1) и (0;2) вдоль оси Y соответственно (рис. 1в). Для определения величины смещения координаты вдоль осей X и Y были введены следующие параметры:

$$\Delta DE_{x12} = \frac{(\Delta DE_{(1;0)} - \Delta DE_{(2;0)})}{(\Delta DE_{(1;0)} + \Delta DE_{(2;0)})},$$

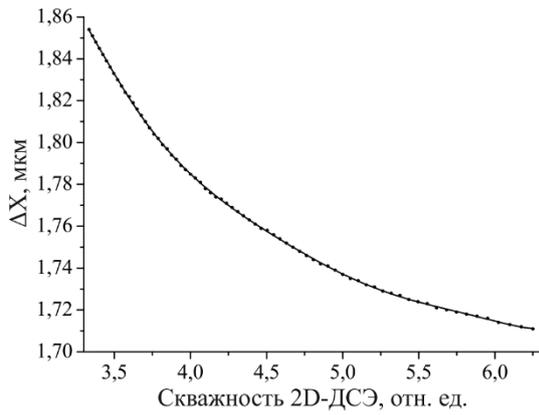
$$\Delta DE_{y12} = \frac{(\Delta DE_{(0;1)} - \Delta DE_{(0;2)})}{(\Delta DE_{(0;1)} + \Delta DE_{(0;2)})},$$

где $DE_{(i;j)}$ – дифракционная эффективность соответствующего дифракционного порядка с индексами $(i;j)$. Изначально при записи 2D-ДСЭ задаётся такое смещение между центром второй 2D решётки относительно первой, при котором достигается равновесная дифракционная эффективность первых порядков дифракции, то есть выполняются условия $\Delta DE_{x12} \approx 0$ и $\Delta DE_{y12} \approx 0$. Величина нестабильности координаты в процессе записи определяется по отклонению вышеописанных параметров от 0.

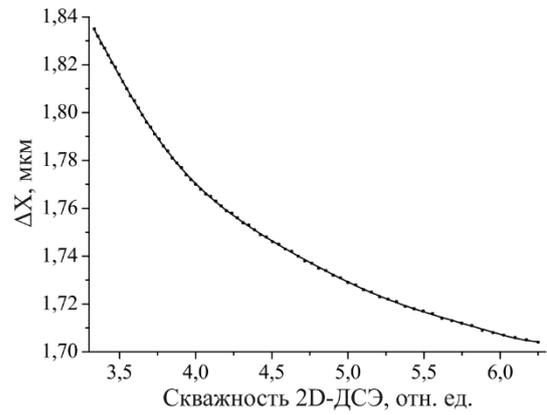
3. Контроль скважности записываемых структур

Параметры ΔDE_{x12} и ΔDE_{y12} зависят не только от смещения центров двух 2D решёток, формирующих структуру 2D-ДСЭ друг относительно друга, но и от скважности ($D = d/W$) записываемых структур. Это связано с тем, что при изменении скважности структур смещается координата точки равновесной дифракционной эффективности (рис. 2), что приводит к соответствующей ошибке полученных результатов при контроле долговременной нестабильности координаты записываемых дифракционных зон по параметрам ΔDE_{x12} и ΔDE_{y12} .

Важно отметить, что при постоянной скважности структур во всём диапазоне возможных смещений ΔX и ΔY , изменение ДЭ 0-го дифракционного порядка $(0;0)$ практически не наблюдается (рис. 3). В свою очередь изменение скважности структур приводит к заметному изменению ДЭ 0-го порядка дифракции (рис. 4). Это позволяет использовать измерение ДЭ 0-го дифракционного порядка для контроля нестабильности скважности записываемых структур. Определив отклонение скважности от заданных значений, можно определить соответствующее смещение координаты точки равновесной дифракционной эффективности, и учесть его при оценке нестабильности координат по параметрам ΔDE_{x12} и ΔDE_{y12} . Таким образом, совместное измерение параметров ΔDE_{x12} и ΔDE_{y12} и дифракционной эффективности 0-го порядка дифракции позволяет осуществлять контроль, как нестабильности координат дифракционных зон, так и скважности структур, возникающих в процессе сканирующей лазерной записи ДОЭ.

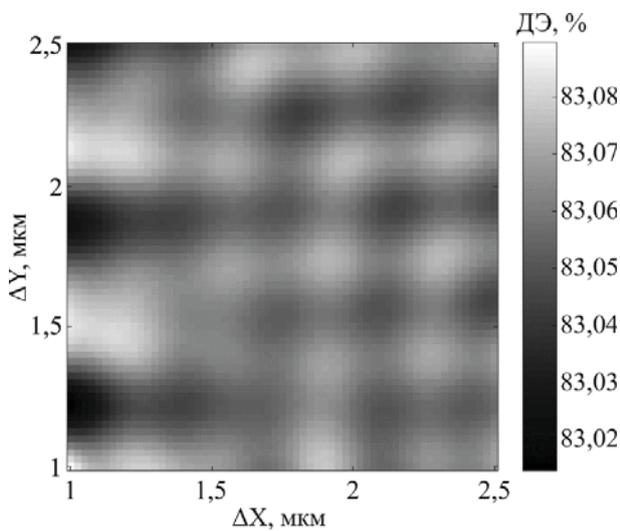


а) Для «положительной» структуры

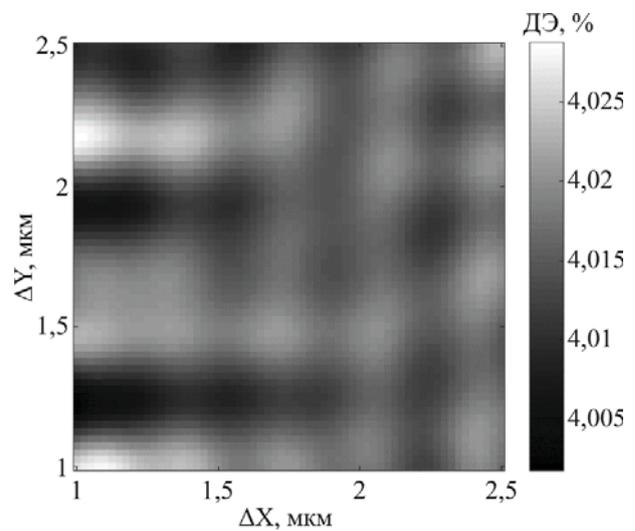


б) Для «отрицательной» структуры

Рис. 2. Смещение координаты точки равновесной дифракционной эффективности ($\Delta \text{DEX}_{12} \approx 0$) вдоль оси X в зависимости от скважности структур, формирующих 2D-ДСЭ

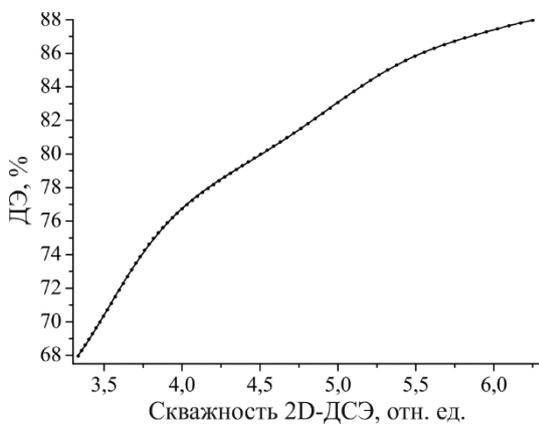


а) Для «положительной» структуры

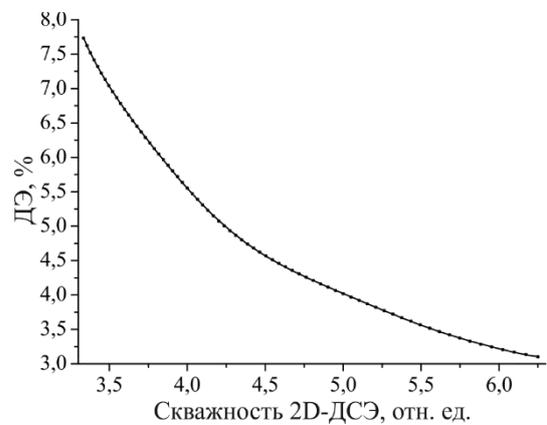


б) Для «отрицательной» структуры

Рис. 3. Зависимость дифракционной эффективности 0-го дифракционного порядка от смещений ΔX и ΔY при постоянной скважности ($D=5$) структуры 2D-ДСЭ



а) Для «положительной» структуры



б) Для «отрицательной» структуры

Рис. 4. Дифракционная эффективность 0-го дифракционного порядка в зависимости от скважности структур 2D-ДСЭ

Заключение

Полученные результаты исследования показывают, что использование встраиваемых 2D-ДСЭ позволяет осуществлять контроль долговременной нестабильности координат формируемых дифракционных зон, а также их скважности при сканирующей лазерной записи ДОЭ. Для этого необходимым и достаточным является измерение дифракционной эффективности 5 дифракционных порядков. Совместный анализ ДЭ дифракционных порядков (1;0) и (2;0) позволяет осуществлять контроль ошибок долговременной нестабильности координаты записываемого пучка вдоль оси X (параметр ΔDE_{X12}), а анализ ДЭ дифракционных порядков (0;1) и (0;2) вдоль оси Y (параметр ΔDE_{Y12}) соответственно. А измерение ДЭ 0-го дифракционного порядка позволяет осуществлять контроль скважности записываемых структур. Контроль скважности позволяет определить смещение точки равновесной дифракционной эффективности между первыми порядками дифракции и внести соответствующую корректировку при анализе параметров ΔDE_{X12} и ΔDE_{Y12} , для минимизации ошибок оценки долговременной нестабильности координат записываемых дифракционных зон ДОЭ.

Благодарность

Работа выполнена за счет средств субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания (№ гос. регистрации 121041500060-2).

Список источников

- [1] **Rensch, C.** Laser scanner for direct writing lithography / C. Rensch, S. Hell, M. V. Schickfus, S. Hunklinger // *Applied Optics*. — 1989. — Vol 28. — № 17. — P. 3754–3758.
- [2] **Koronkevich, V. P.** Fabrication of kinoform optical elements / V. P. Koronkevich, V. P. Kiriynov, V. P. Kokoulin, A. G. Poleschuk // *Optik*. — 1984. — Vol 67. — № 3. — P. 257–266.
- [3] **Rhee, H. G.** Diffractive Optics Fabrication System for Large Aspheric Surface Testing / H. G. Rhee, J. B. Song, D. I. Kim, Y. W. Lee // *Journal of the Korean Physical Society*. — 2007. — Vol 50. — № 4. — P. 1032–1036.
- [4] **Shimanskii, R. V.** Alignment of the writing beam with the diffractive structure rotation axis in synthesis of diffractive optical elements in a polar coordinate system / R. V. Shimanskii, A. G. Poleschuk, V. P. Korolkov, V. V. Cherkashin // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. — 2017. — Vol 53. — № 2. — P. 123–130.
- [5] **Poleshchuk, A. G.** Fabrication and certification of high-quality and large-aperture CGHs for optical testing / A. G. Poleshchuk, V. P. Korolkov // *Optical Fabrication and Testing*. Optical Society of America. — 2006. — P. 20–23.
- [6] **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.

Analysis of built-in 2D diffractive sensor elements for monitoring long-term instability of laser writing systems for DOEs

D. A. Belousov, V. P. Korolkov, R. V. Shimansky, R. I. Kuts

Institute of Automation and Electrometry SB RAS, Novosibirsk, Russia

The paper the use of specialized 2D diffractive sensor elements (2D-DSE) built-in the working field of diffractive optical elements (DOE) to control the long-term instability of the process of their scanning laser writing are discussed. These sensors consist of two parts: the first one written before the start of DOE writing, and the second one during writing with a given offset relative to the first one. A change in the duty cycle and a change in the offset between the centers of the two components of the sensor from a given values, when illuminating the 2D-DSE with a focused probe light beam, lead to a change in the diffraction efficiency in diffraction orders. The effectiveness of using from built-in 2D-DSEs for estimating coordinate errors formed diffraction zones and the duty cycle of structures during laser writing of DOEs by optical diffractometry is shown.

Keywords: Diffractive optical elements, Scanning laser writing, Diffractive sensor elements, Diffraction efficiency.