

# Фемтосекундная лазерная запись астигматическим гауссовым пучком периодических структур на пленке хрома

**А.В. Достовалов<sup>1,2,\*</sup>, В.С. Терентьев<sup>2</sup>, К.А. Бронников<sup>2</sup>, К.А. Окотруб<sup>2</sup>,  
Д.А. Белоусов<sup>2</sup>, В.П. Корольков<sup>1,2</sup>, С.А. Бабин<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск

<sup>2</sup> Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск

\*E-mail: [dostovalov@iae.nsk.su](mailto:dostovalov@iae.nsk.su)

DOI:10.31868/RFL2018.198-199

Образование упорядоченных периодических оксидных структур в области фокусировки лазерного излучения при обработке поверхности титановых металлических пленок исследовалось при нс [1] и фс [2, 3] длительности импульсов. Было установлено, что период данных структур  $L < \lambda$ , где  $\lambda$  - длина волны падающего лазерного излучения, при этом ориентация структур параллельна направлению поляризации падающего лазерного излучения. Поскольку основную роль в образовании данных структур играет термически стимулированная химическая реакция окисления, то данный тип структур принято называть «термохимическими лазерно-индуцированными периодическими поверхностными структурами» (ТЛИППС). Помимо Ti исследовалось образование данных структур на поверхности пленок Cr, Ni и NiCr под действием фс лазерных импульсов [4]. Зависимость периода ТЛИППС от химического состава оксида была продемонстрирована в [5].

В представленных выше работах при создании ТЛИППС использовался радиально симметричный гауссов пучок с диаметром менее 20 мкм. При этом скорость сканирования пучка для формирования упорядоченных структур была небольшой (от 1 до 10 мкм/с), что ограничивает практическое применение данного метода создания структур. Для увеличения производительности записи требуется использовать гауссов пучок с большим диаметром перетяжки. Однако при использовании фс лазеров с низкой максимальной энергией в импульсе данный подход не реализуем, поскольку двойное увеличение диаметра пучка требует увеличения энергии импульса в 4 раза для обеспечения постоянства уровня интенсивности излучения при записи. Альтернативный путь увеличения производительности - это использование астигматического гауссова пучка, у которого поперечное сечение перетяжки представляет собой эллипс с отношением полуосей отличным от 1. В данном случае при увеличении размера большей полуоси пучка в 2 раза энергия также увеличивается в 2 раза.

В работе представлены результаты по созданию ТЛИППС на поверхности Cr пленки толщиной 30 нм с использованием астигматического гауссова пучка ИК фс лазера с длиной волны 1026 нм при различных экспериментальных параметрах: скорости сканирования (100-3000 мкм/с), частоте следования импульсов (2, 20, 200 кГц) и мощности излучения (150-350 мВт). Фокальное пятно в форме эллипса с соотношением сторон 1:10 (Рис. 1) было сформировано с помощью цилиндрической линзы и сферической фокусирующей линзы с  $f = 50$  мм. При этом максимальный размер области модификации (вдоль большей оси эллипса) при воздействии  $2 \times 10^5$  импульсов составил 110 мкм и период структур 680 нм. На рис. 2 представлены результаты по формированию ТЛИППС в зависимости от скорости сканирования в диапазоне 100 мкм/с – 2000 мкм/с при фиксированной мощности излучения 240 мВт.

Для количественного анализа однородности структуры в зависимости от скорости сканирования использовался параметр DLOA (dispersion in the LIPSS orientation angle)  $\Delta\theta$ [6], который характеризует угловое размытие при двумерном преобразовании Фурье СЭМ изображений структур. Из представленных результатов следует, что при минимальной скорости сканирования  $\Delta\theta = 2^\circ$ , что свидетельствует о высокой степени упорядоченности структур. Далее при увеличении скорости сканирования до 300 мкм/с этот параметр растет до  $5.5^\circ$  и существенно не изменяется при последующем росте скорости сканирования (рис. 2 д). Таким образом, увеличение скорости сканирования в процессе формирования ТЛИПСС приводит к ухудшению прямолинейности (однородности) полученных структур.

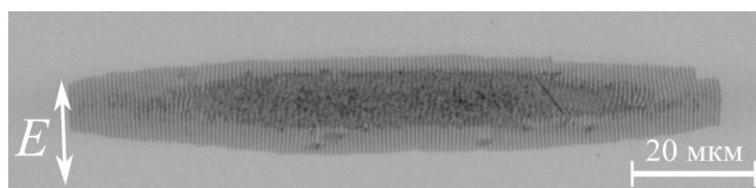


Рис. 1. Форма модификации при воздействии астигматического гауссова пучка ( $P = 270$  мВт).

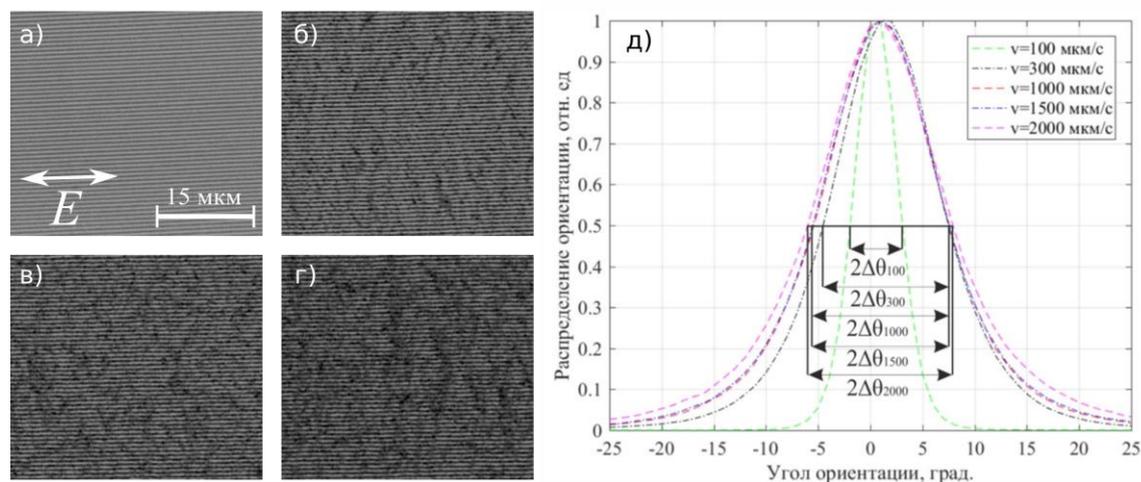


Рис. 2. СЭМ изображение ТЛИПСС, сформированные при  $P=240$  мВт и различной скорости сканирования: 100 мкм/с (а), 300 мкм/с (б), 1500 мкм/с (в), 2000 мкм/с (г). Зависимость DLOA от скорости сканирования (д).

Продемонстрирован способ создания ТЛИПСС астигматическим гауссовым пучком, который позволяет повысить скорость сканирования при записи структур до 100-2000 мкм/с при поперечном размере области модификации  $\approx 100$  мкм. Анализ упорядоченности структур свидетельствует об ухудшении упорядоченности с ростом скорости сканирования при формировании ТЛИПСС.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 16-32-60096).

## Литература

- [1] S. Camacho-López et al, *Appl. Surf. Sci.* **255**, 3028–3032 (2008)
- [2] B. Öktem et al, *Nat. Photonics* **7**, 897–901 (2013)
- [3] A.V. Dostovalov et al, *Appl. Phys. B*, **123:30**, 1-9 (2017)
- [4] A.V. Dostovalov et al, *Quantum Electron.*, **7**, 631-637 (2017)
- [5] A.V. Dostovalov et al, *Opt. Express* **26**, 7712–7723 (2018)
- [6] I. Gnilytskyi et al, *Scientific Reports*. **7**, 8485 (2017)