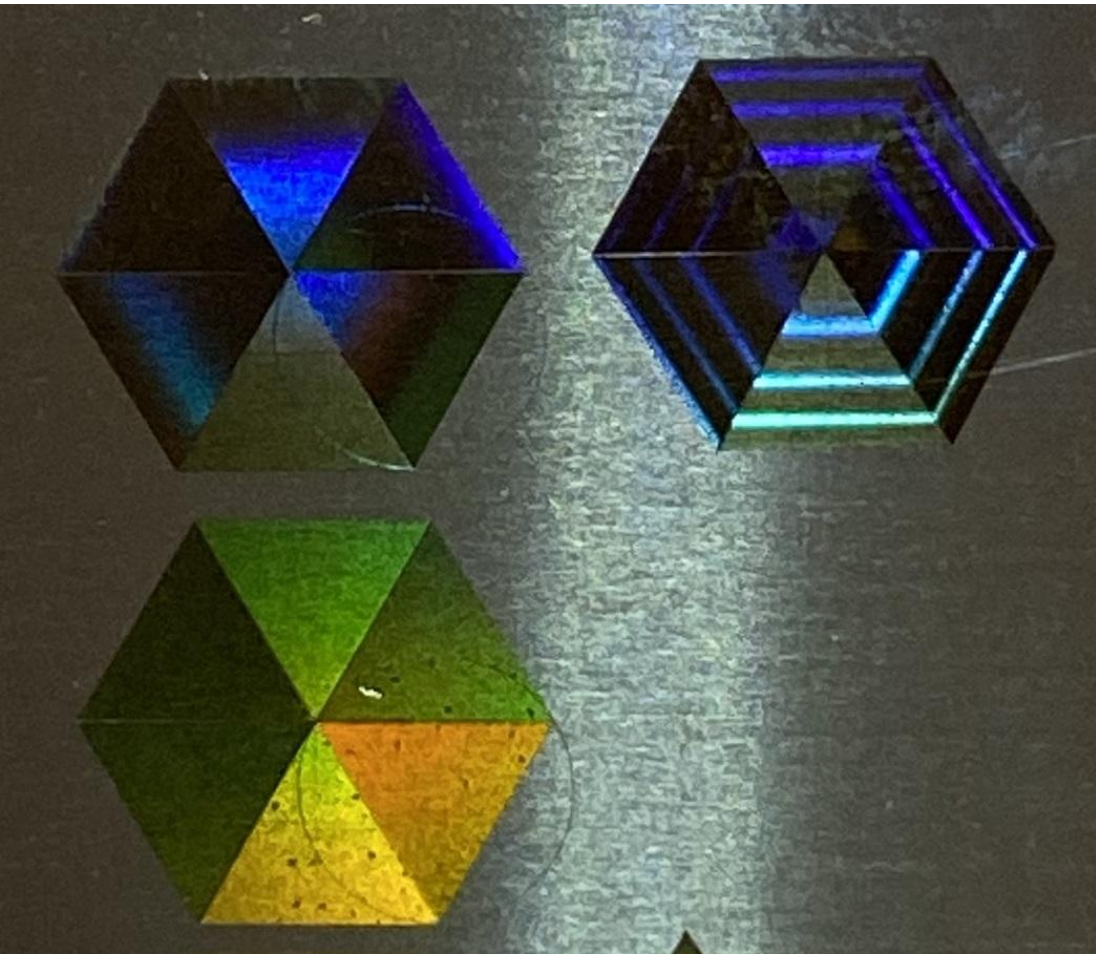


Разработка методов управляемого формирования термохимических лазерно-индуцированных поверхностных периодических структур для современных устройств фотоники



Проект РНФ 21-79-10241

Синев Дмитрий Андреевич, к.т.н., н.с. < sinev@itmo.ru >

Одинцова Галина Викторовна, к.т.н., с.н.с

Вейко Вадим Павлович, д.т.н., профессор

Шахно Елена Аркадьевна, д.т.н., доцент

Андреева Ярослава Михайловна, аспирант, инж-иссл.

Москвин Михаил Константинович, аспирант, инж-иссл.

Нгуен Куанг Зунг, аспирант

Прокофьев Евгений Витальевич, L4117

Афанасьев Никита Алексеевич, L42171, инж.

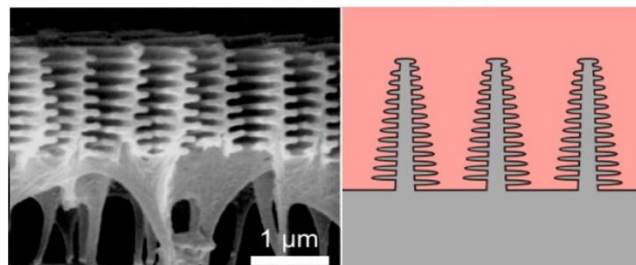
Суворов Александр Романович L34301

Васильев Максим Дмитриевич, L3218

Рудь Дмитрий Александрович, L3218

Би Цзиньмин, B42007c

Мотивация проекта – 1



Структурная поверхность
(радужный цвет)
Morpho butterflies
(сигнальная функция)

Müller, F., Kunz, C., & Gräf, S. (2016). Bio-inspired functional surfaces based on laser-induced periodic surface structures. *Materials*, 9(6), 476.

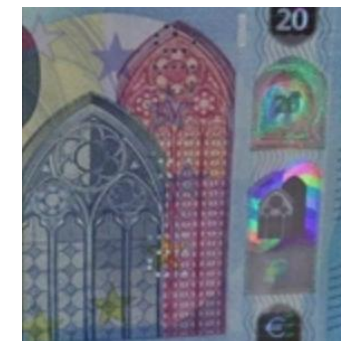
QR код



Голографические
стикеры



Устройство с оптической
переменной (OVDs)
Optical variable devices



29% компаний используют элементы защиты продукции

Voisiat, B., et al. "DLIP holographic structuring: from basic concept to advanced monitoring methods and industrial scale production." *Laser-based Micro- and Nanoprocessing XIII*. Vol. 10906. International Society for Optics and Photonics, 2019.

Мотивация проекта – 2. Применение ЛИППС

- ✓ Контроль смачиваемости;

Razi S. et al. (Optics & Laser Technology. – 2016.)

Материалы: нержавеющая сталь 316

- ✓ Увеличение биосовместимости;

Cunha A. et al. (Nanomedicine. – 2015)

Материалы: Ti-6Al-4V

- ✓ Трибология;

Bonse J. et al. (Applied Surface Science. – 2015)

Материалы: сталь (X30CrMoN15-1) и

титан (Ti, DIN 3.7025)

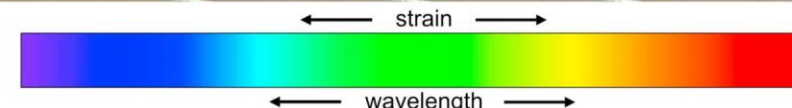
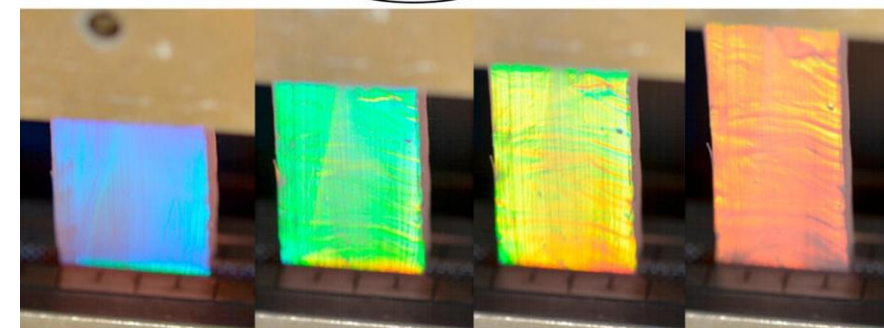
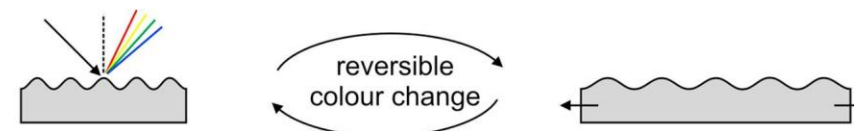
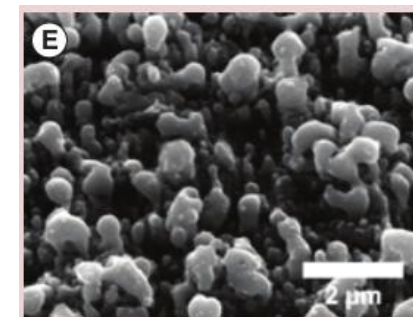
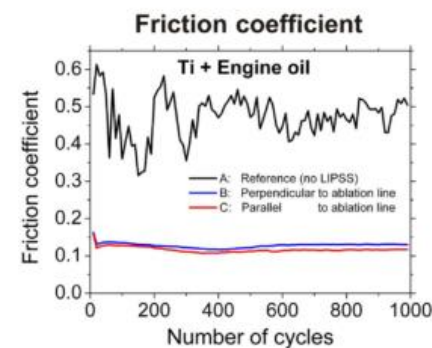
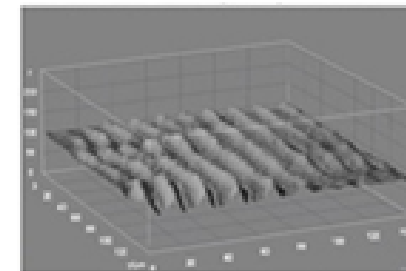
- ✓ Изменение оптических свойств.

Ardron M.//(Applied Surface Science. – 2014)

- ✓ Использования для тензометрических датчиков

Gräf, Stephan, et al. Applied Surface Science 471 (2019)

Ardron M.//(Applied Surface Science. – 2014)



Описание проекта – 1

1. Формулировка научной проблемы, актуальность исследования.

Научная проблема: Наличие физико-технических ограничений, препятствующих реализации потенциала применения **лазерно-индуцированных поверхностных периодических структур (ЛИППС)** в промышленности.

Цель: Определение факторов, которые вносят вклад на стабильность, управляемость и воспроизводимость данных формируемых топологий, картрирование областей режимов работы серийных лазерных установок, позволяющих эффективно и управляемо создавать ЛИППС

2. Современное состояние исследований по данной проблеме.

В экспериментальных исследованиях в мировой науке сохраняется устойчивая проблематика стохастичности и локальности, свойственная процессам образования ЛИППС. Ограниченный выбор режимов записи, неупорядоченность структуры, сложность и дороговизна лазерных установок, используемых для получения ЛИППС - до настоящего времени одновременного решения для этих проблем предложено не было. В рамках настоящего проекта впервые будет определен, обоснован и реализован комплекс параметров лазерного воздействия (энергия, длительность и частота следования импульсов наносекундной длительности, скорость и направление сканирования пучка, поляризации и угол падения излучения и др.), обеспечивающих контролируемое формирование воспроизводимых упорядоченных термохимических ЛИППС

3. Ключевые слова по тематике проекта.

лазерно-индуцированные поверхностные периодические структуры, ЛИППС, тонкие плёнки, лазерное окисление, лазерная термохимия, лазерное окрашивание, дифракционные оптические элементы

Описание проекта – 2

4. Описание наиболее значимых результатов исследования.

1. Определены и проверены режимы лазерного воздействия (длительность импульса, частота следования импульсов, мощность излучения, скорость сканирования лазерного пучка, тип поляризации излучения, направление поляризации излучения, которые позволяют формировать воспроизводимые, устойчивые и упорядоченные термохимические ЛИППС
2. Продемонстрировано формирование лазерно-индуцированных поверхностных периодических структур с различной ориентацией относительно треков, записываемых лазерным пучком на металлической плёнке (перпендикулярно треку, вдоль трека, под различными углами к треку)
3. Показана генерация двумерных термохимических ЛИППС при помощи наложения одномерных ЛИППС с отличной друг от друга ориентацией (в частности, перпендикулярных одномерных ЛИППС)
4. Получены сплошные покрытия, состоящие из упорядоченных одномерных термохимических ЛИППС

Описание проекта – 3

5. Степень реализации проекта и возможные пути его развития.

В состоянии поискового исследования рабочих режимов, при которых устойчиво генерируются одно- и двумерные решетки на основе термохимических ЛИППС

Проведение исследований для развития приложений о поляризационных, дифракционных, лиофильных, тензометрических, фотокатализирующих свойствах термохимических ЛИППС.

Основные публикации по теме проекта:

1. Sinev, D.A., Yuzhakova, D.S., Moskvina, M.K., Veiko, V.P. Formation of the Submicron Oxidative LIPSS on Thin Titanium Films During Nanosecond Laser Recording // Nanomaterials. - 2020. - Vol. 10. - № 11. - Pp. 2161. <https://doi.org/10.3390/nano10112161> [Q1]
2. Ya. M. Andreeva, V. C. Luong, D. S. Lutoshina, O. S. Medvedev, V. Yu. Mikhailovskii, M. K. Moskvina, G. V. Odintsova, V. V. Romanov, N. N. Shchedrina and V. P. Veiko Laser coloration of metals in visual art and design // Optical materials express. 2019. — V. 9. — I.3. — P.349854 [Q1]. <https://www.osapublishing.org/ome/abstract.cfm?URI=ome-9-3-1310> [DOI: 10.1364/OME.9.001310] [IF(2019) 3,064; SJR (2019) 0,948]
3. E. I. Ageev, V. P. Veiko, E. A. Vlasova, Y. Y. Karlagina, A. Krivonosov, M. K. Moskvina, G. V. Odintsova, V. E. Pshenichnov, V.V. Romanov, and R. M. Yatsuk Controlled nanostructures formation on stainless steel by short laser pulses for products protection against falsification // Optics Express. 2018. — V. 26. — N. 2. — P. 2117-2122 [Q1]. <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-26-2-2117> [DOI: 10.1364/OE.26.002117] [IF(2019) 3,669; SJR (2019) 1,533];
4. Москвин М.К., Одинцова Г.В., Романов В.В., Щедрина Н.Н., Вейко В.П. Способ маркировки поверхности контролируемыми периодическими структурами. Патент на изобретение №2696804 от 06.08.2019. Перевод: Moskvina M.K., Odintsova G.V., Romanov V.V., Shchedrina N.N., Veiko V.P. Method of surface marking with controlled periodic structures. Patent RF, №2696804, 06.08.2019. https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2696804



6. Степень междисциплинарности проекта.

Проект междисциплинарный на стадии фундаментальных исследований на стыке лазерной физики, оптики, химии и технологий.

Описание проекта – 4

7. Области потенциального применения полученных результатов.

Оптика (фотоника), маркировка, медицина, тензометрия

8. Практическая значимость и возможности внедрения.

Как планируется применять полученные результаты в выбранной области?

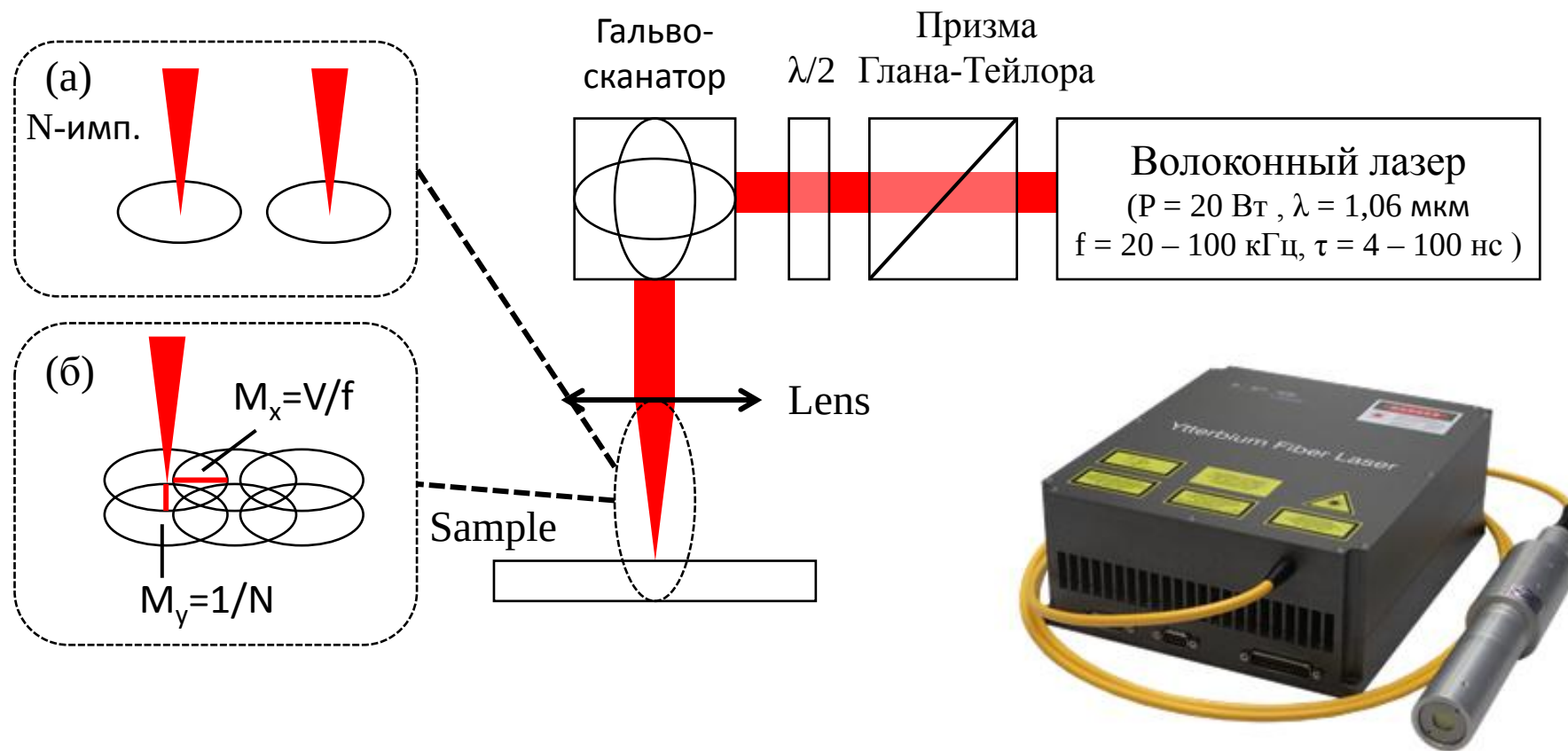
Фотоника - амплитудные и фазовые дифракционные элементы, частотно-селективные фильтры, поляризаторы

Маркировка – цветные штрих- и QR-коды, идентификационные метки, защитные знаки

Медицина – структурирование титановых имплантов для повышения лиофильности и повышения приживаемости в организме человека

Тензометрия – высокочувствительные тензометрические датчики

Экспериментальная установка



Наносекундный лазер
YLPN, 1 x 200 нс, 10–100 Вт,
IPG Photonics



МиниМаркер 2™
ООО "Лазерный Центр"

Рисунок №1

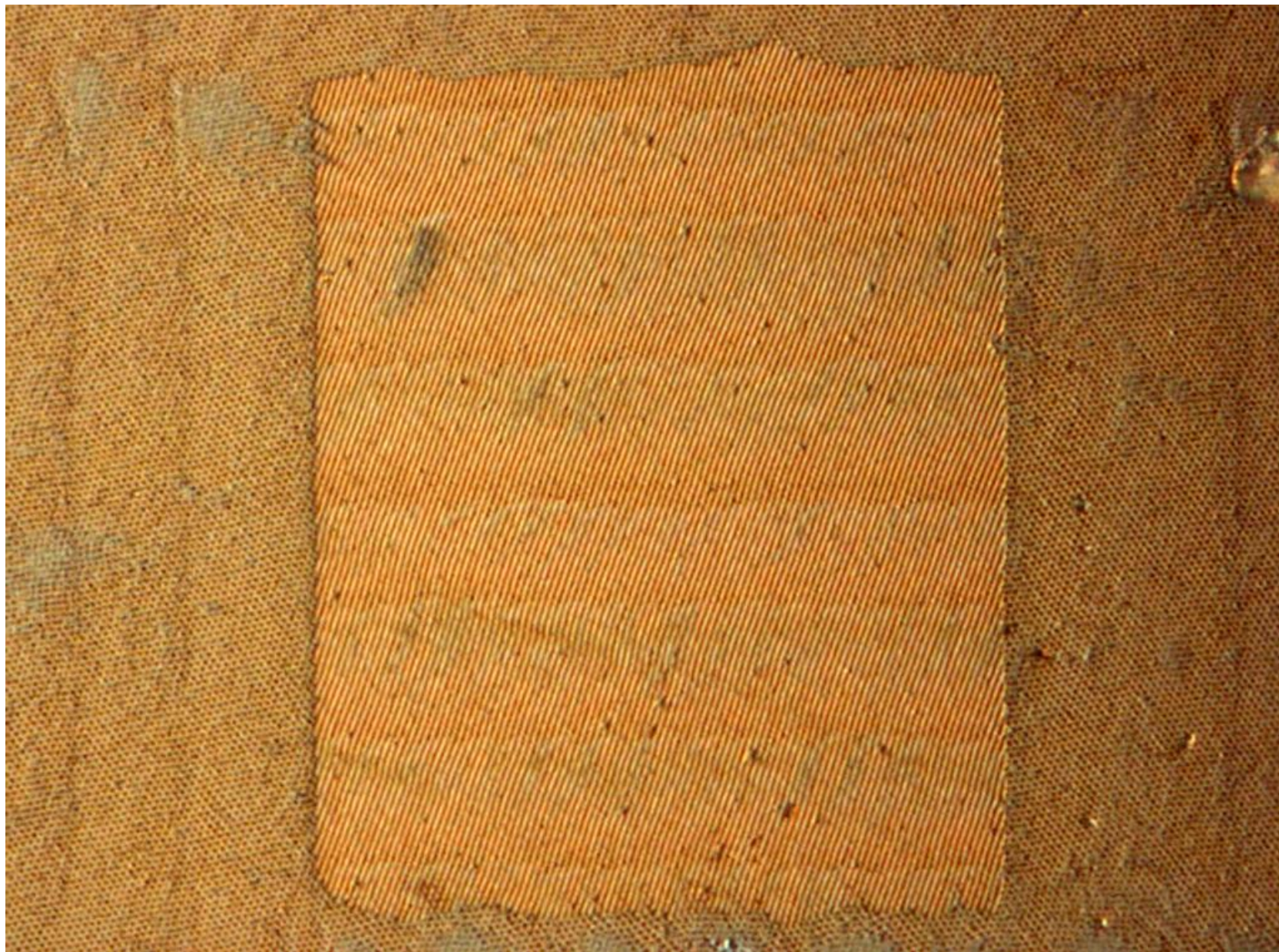
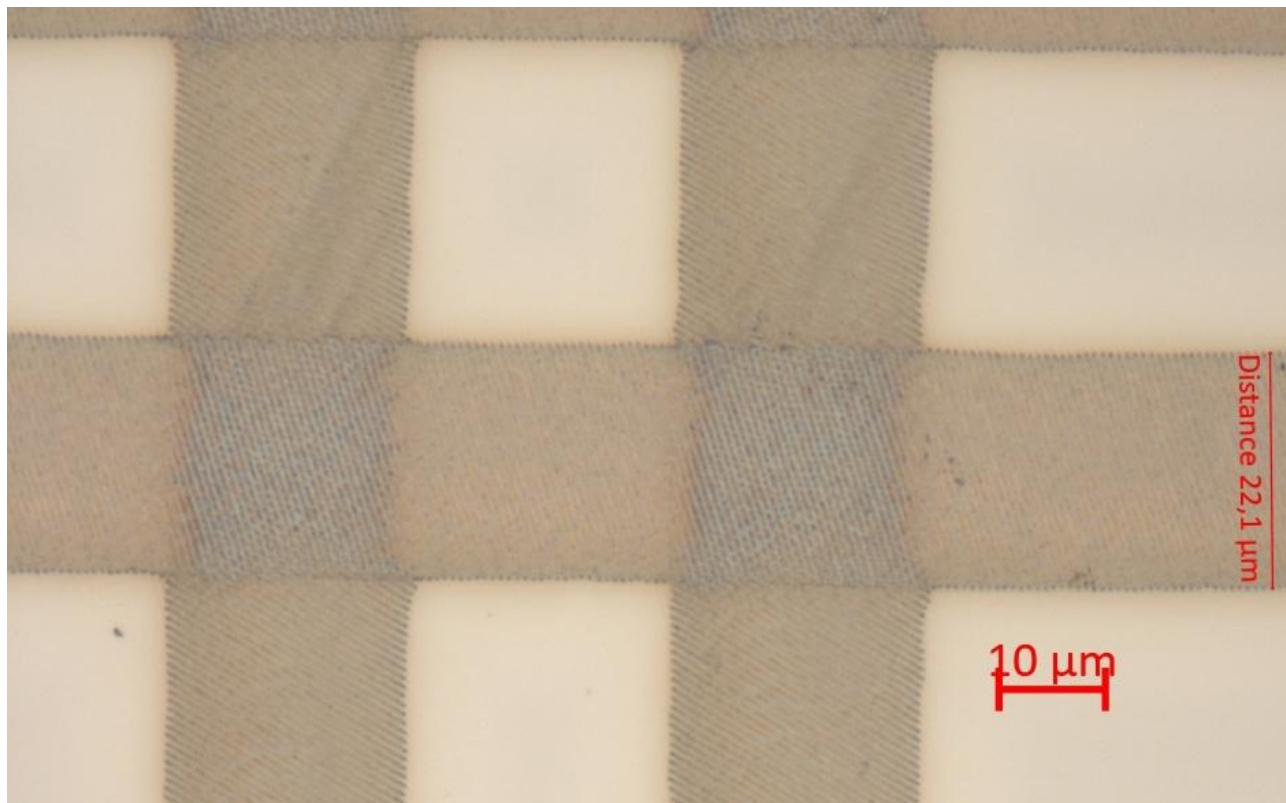


Рисунок 1 — одномерные и двумерные ЛППС, на пленке титана, изображение в отраженном свете, материал подложки — кварц. Период структур **порядка 720 нм**

Рисунок №2



а

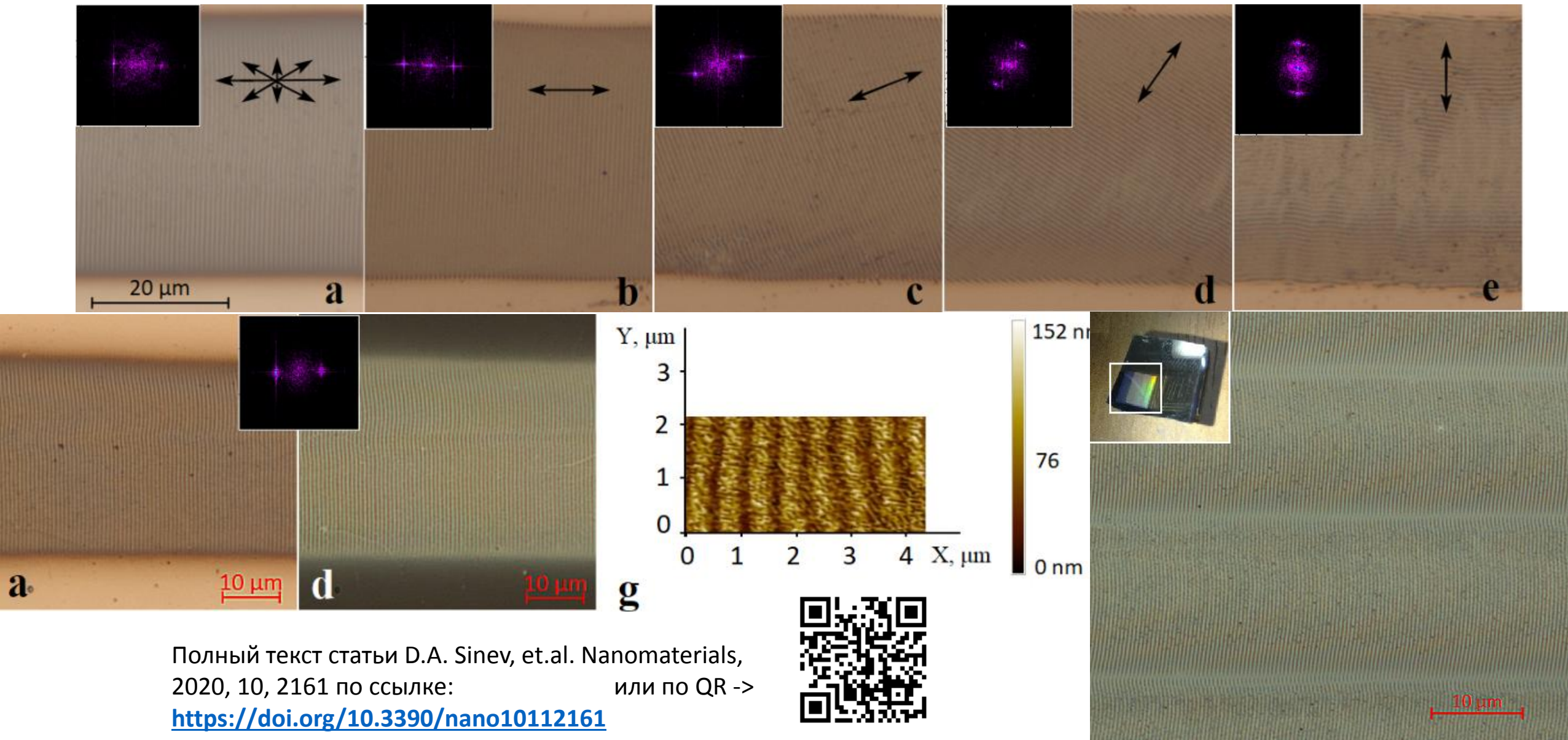


б

Рисунок 3 — двумерные ЛИППС, записанные лазерным пучком при $P = 1,2$ Вт, скорость сканирования $0,1$ мм/с, $f = 40$ кГц: а) в отражённом свете, б) в проходящем свете, материал подложки — плавленый кварц КУ1

LIPPS formation on titanium films

Optical and AFM micrographs of the recorded thermochemical LIPPS



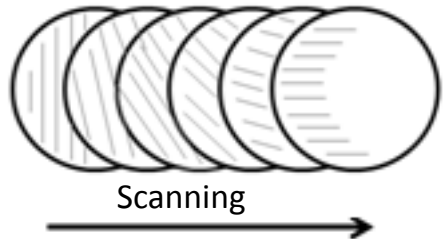
Полный текст статьи D.A. Sinev, et.al. Nanomaterials, 2020, 10, 2161 по ссылке:

<https://doi.org/10.3390/nano10112161>

или по QR ->

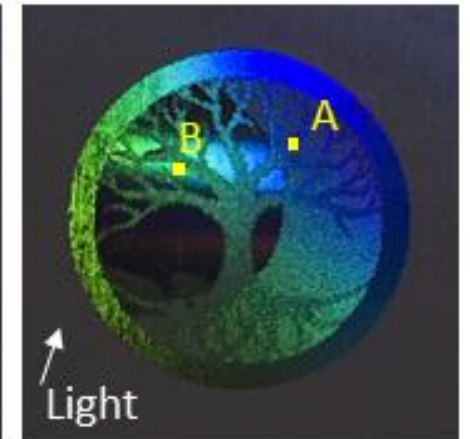
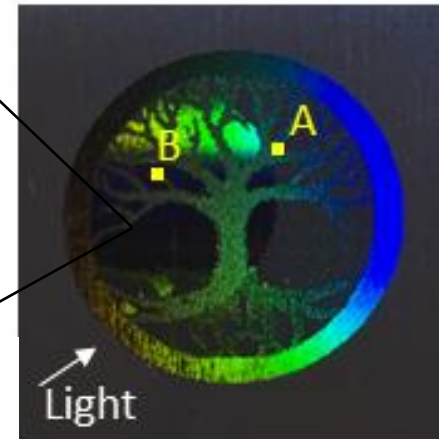
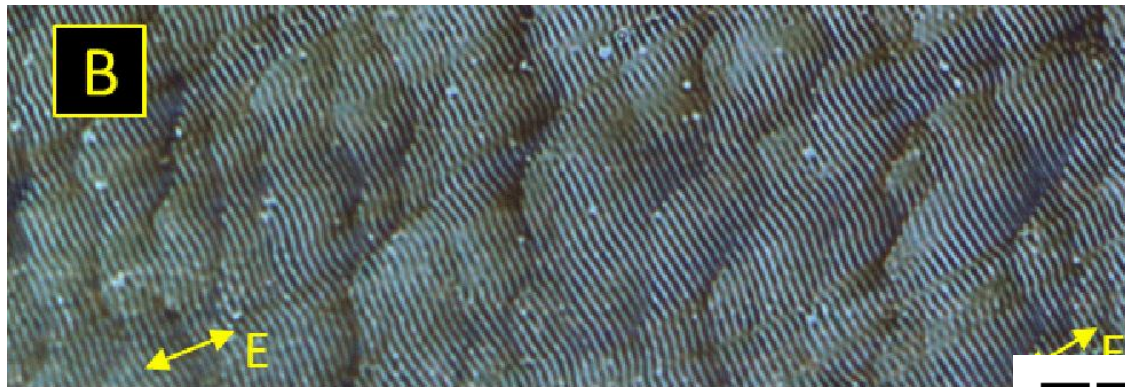
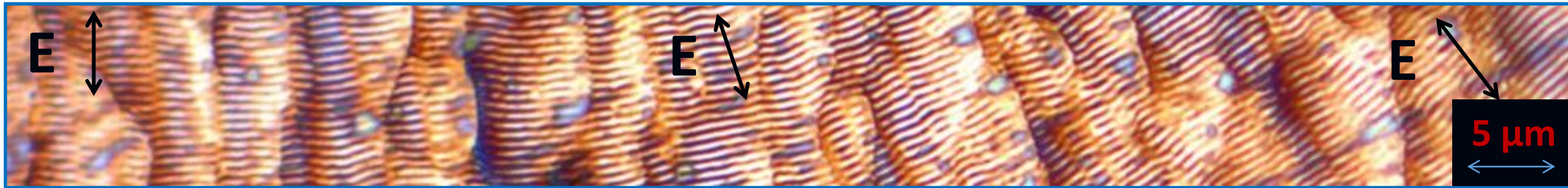


Formation of periodic structures on AISI 304 steel



Laser-induced images obtained on the structured surface of the steel, including micro images of laser treated areas with determined periodic structures directions. Bilateral arrows indicate the direction of polarization of the laser radiation.

Control of the periodic structures orientation by altering of a polarization orientation



Полный текст статьи Y.M. Andreeva, et.al. Optical Materials Express, 2019, 3 по ссылке:

<https://doi.org/10.3390/nano10112161>

или по QR ->



Образцы защитных элементов, записанных на стали AISI 304 (зависимость от угла рассмотрения)

