

ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЁНОК МОЛИБДЕНА ДЛЯ КОНТАКТНЫХ МАСОК ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МИКРОРЕЛЬЕФОВ ЭЛЕМЕНТОВ ДИФРАКЦИОННОЙ ОПТИКИ

Волков А.В.^{1,2}, Моисеев О.Ю.^{1,2}, Полетаев С.Д.^{1,2}, Чистяков И.В.³

¹Институт систем обработки изображений РАН,

²Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) (СГАУ),

³ООО «Интерлаб»

Аннотация

Исследованы параметры микроструктур, полученных по технологии лазерной термохимической записи в плёнках молибдена с толщинами 17, 35 и 70 нм, нанесённых на стеклянные и кварцевые подложки. Построена зависимость пространственного разрешения микроструктур от мощности лазерного излучения для различных материалов оснований. Показано, что более высокого пространственного разрешения микроструктур можно добиться в плёнках молибдена толщиной 17 нм.

Ключевые слова: микроструктуры, лазерная абляция, термохимическая запись, плёнки молибдена, стеклянная и кварцевая подложки.

Введение

Представляется перспективным использование в различных областях науки и техники дифракционных оптических элементов (ДОЭ), которые представляют собой пластины с сформированной на их поверхности микроструктурой [1, 2]. Важнейшим этапом изготовления микро рельефов является получение контактных масок, устойчивых к плазмохимическим процессам, необходимым для передачи рассчитанной микроструктуры ДОЭ в подложку. Ранее для этого были распространены литографические («мокрые») технологии [3–8].

В настоящее время для уменьшения размеров элементов микроструктур широко применяется метод формирования топологического рисунка непосредственно в исходном слое материала контактной маски без использования фоторезистов. Он основан на локальной обработке тонких плёнок хрома сфокусированным лазерным излучением [9, 10], под воздействием которого происходит термохимическое преобразование поверхностного слоя рабочего материала.

Недостаток данной технологии заключается в низком разрешении, около 0,8 мкм. Поэтому актуальна задача разработки технологических приёмов, позволяющих преодолеть этот барьер. Такой результат возможен за счёт поиска и применения материалов с контрастными характеристиками, позволяющими избирательно использовать максимум актинирующего излучения. В этом отношении известен ряд работ, где вместо хрома предлагаются различные альтернативные материалы, такие как кремний, фосфид индия и оксиды различных металлов [11–13]. В отличие от стандартной технологии все они предлагают формировать микроструктуры путём испарения (абляции) материалов.

В работе [14] была показана возможность абляции молибденовых плёнок толщиной около 0,5 мкм пикосекундным лазерным лучом с длиной волны 1064 нм, нанесённых на подслоя нитрида кремния толщиной около 140 нм. Основанием служили стеклянные подложки толщиной 3 мм.

Опираясь на [14], мы предложили подход, основанный на абляции участков плёнки молибдена, подвергнутой воздействию лазерного излучения [15].

Цель настоящей работы заключается в исследовании геометрических параметров контактной маски, полученной по технологии лазерной абляции плёнок молибдена в зависимости от толщины плёнок, что позволит выработать оптимальные условия проведения технологического процесса.

1. Методы и материалы

Основанием служили оптически гладкие подложки из стекла и плавленого кварца марки КВ размером 50×50 мм, толщиной 3 мм. Плёнки молибдена с толщинами 17, 35 и 70 нм наносились магнетронным способом на установке «Каролина Д-12А» (Россия, Зеленоград) при следующих условиях: мощность магнетрона – 700 Вт, температура подложек – 200° С, давление аргона – $2,0 \cdot 10^{-1}$ Па. Время напыления определяло конечную толщину плёнок и находилось в пределах от 2 до 8 мин.

Структуры в плёнках формировались на станции лазерной записи CLWS200 [16–18] (Россия, Новосибирск).

Запись проводилась при следующих условиях: рабочая длина волны лазерного излучения – 488 нм; максимальная мощность, подводимая к головке записи, – около 100 мВт; структура записи – концентрические кольца с шагом 3 мкм и внешним радиусом 3 мм; величина мощности для каждого кольца уменьшалась от 100 % в точке наибольшего радиуса до 0 в центре с шагом 0,5 %. Скорость вращения образца – 10 об/с. Указанные параметры процесса соответствовали максимальной плотности мощности лазерного излучения $E_{\max} = 2 \cdot 10^7$ Вт/см². Воздействие лазерного излучения приводило к локальному испарению тонкой плёнки молибдена на всю толщину.

Морфология и элементный состав поверхности наноструктур исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Hitachi TM3030 со встроенным EDS спектрометром с разрешением по энергии 135 эВ.

2. Анализ результатов

На рис. 1 приведена зависимость ширины дорожек от мощности лазерного излучения для радиуса записи 3 мм. Зависимости получены для кварцевого и стеклянного оснований. Ширина записанных дорожек, в первую очередь, линейно зависит от мощности лазерного излучения. При их одинаковой ширине для кварцевых подложек требуется приблизительно на 20 % больше мощности, что связано с разницей в теплофизических свойствах кварца и стекла. Кварц, обладая большей теплопроводностью, рассеивает в себе большую часть энергии лазерного излучения, отводя её из области плёнки. Плёнки толщиной 17 нм показывают более высокое пространственное разрешение, 2500 л/мм, против 1500 л/мм для плёнок толщиной 35 нм. Разрешения, близкие к максимальным, достигались при плотности мощности в пределах $(0,7...1,2) \cdot 10^7$ Вт/см². Отметим, что это существенно меньше теоретических значений, полученных, например, в [11].

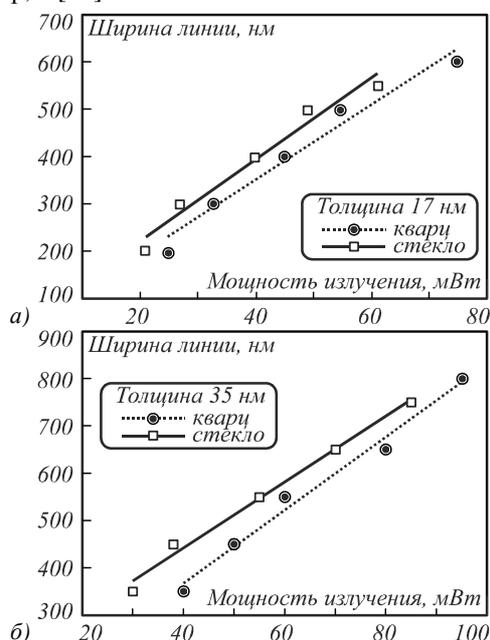


Рис. 1. Зависимость ширины линии наноструктуры от мощности лазерного излучения для плёнок толщиной 17 нм (а) и для плёнок толщиной 35 нм (б)

Представленные на рис. 2 снимки СЭМ плёнок толщиной 35 нм, обработанных лазерным лучом, позволяют по краям дорожек наблюдать продукты разрушения, представляющие собой зону термического воздействия. Вероятнее всего, их образование связано с выносом значительной части вещества из области абляции реактивным давлением отдачи паровой струи [19]. Как было показано ранее, их высота не превышает толщину плёнки [15].

Для плёнок толщиной 17 нм образование продуктов разрушения не характерно (рис. 3). Это можно объяснить тем, что энергии лазерного излучения хватает для быстрого и полного испарения материала в точке воздействия. Для этих двух случаев хорошо заметна граница достижения критической мощности,

при которой испарение металла прекращается. Также вокруг дорожек наблюдается малозаметный след шириной, равной диаметру лазерного пятна. Вероятно, эта область должна накладывать ограничения на минимальный период записи. Для плёнок толщиной 70 нм энергии излучения недостаточно для образования дорожки даже в областях с минимальным радиусом записи (рис. 4). Здесь важно отметить следующее. Для систем с круговым сканированием поглощённая материалом энергия (доза) лазерного излучения при неизменной плотности мощности изменяется с радиусом записи, поскольку радиус записи определяет эффективное время воздействия. Последовательное уменьшение плотности мощности от края к центру с одновременным увеличением времени воздействия оказывают противоположное влияние на величину энергии излучения. Однако в нашем случае наблюдается уменьшение размера дорожки по мере приближения к центру, что позволяет говорить об уменьшении поглощённой энергии.

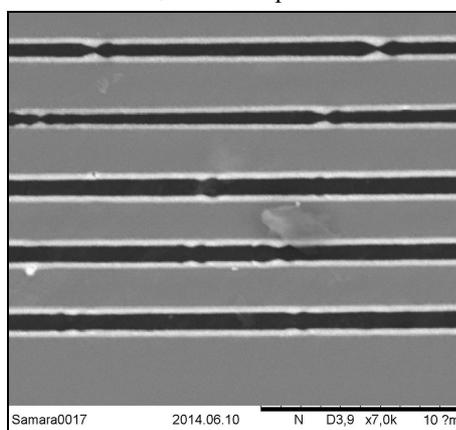


Рис. 2. СЭМ снимок поверхности наноструктур на плёнке молибдена толщиной 35 нм

Также была исследована возможность абляции материала основания вместе с металлической плёнкой в области воздействия лазерного излучения. Эксперимент проводился при тех же условиях на кварцевых и стеклянных подложках. После записи плёнка молибдена удалялась в растворе щелочи. Микроскопические исследования показали отсутствие повреждения основания.

Заключение

Исследование микроструктур металлизированных шаблонов ДОЭ показало, что наилучшее пространственное разрешение и минимальный объём дефектов рисунка маски достигнуты при толщине плёнки молибдена 17 нм.

Минимально достижимый период записи ограничен шириной следа от лазерного пятна и составляет в нашем случае 0,8 мкм. Пространственное разрешение будет ограничиваться этой величиной и может быть увеличено за счёт уменьшения длины волны и, соответственно, диаметра лазерного пятна.

Абляции материала основания в области воздействия лазерного излучения обнаружено не было.

С учётом того, что селективность травления в плазме плёнок молибдена по отношению к кварцу может достигать нескольких сотен, полученный результат открывает путь для создания структур с субмикронным разрешением, в частности, короткофокусных ДОО, а также позволяет формировать структуры с минимальным числом технологических операций. Кроме этого, описанные в статье исследования также актуальны для развития некоторых лазерных технологий [20–22].

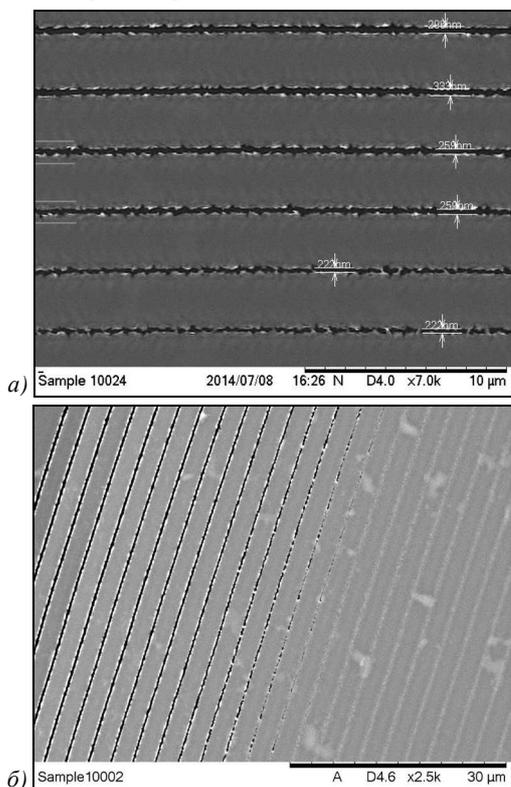


Рис. 3. СЭМ снимок поверхности наноструктур на плёнке молибдена толщиной 17 нм: форма и характерные размеры дорожек (а), общий вид (б)

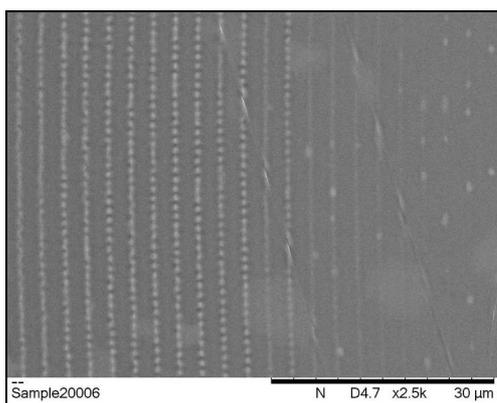


Рис. 4. СЭМ снимок поверхности наноструктур на плёнке молибдена толщиной 70 нм

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 13-07-97005р_поволжье_a, № 14-07-00177а) и Министерства образования и науки РФ. Авторы выражают

благодарность фирме ООО «Интерлаб» (Россия, Москва) за помощь в исследовании образцов на микроскопе Hitachi TM3030.

Литература

1. Методы компьютерной оптики / А.В. Волков, Д.Л. Головашкин, Л.Д. Досколович, Н.Л. Казанский, В.В. Котляр, В.С. Павельев, Р.В. Скиданов, В.А. Соيفер, В.С. Соловьев, Г.В. Успенев, С.И. Харитонов, С.Н. Хонина; под ред. В.А. Соифера. – Изд. 2-е, испр. – М.: Физматлит, 2003. – 688 с.
2. Дифракционная компьютерная оптика / Д.Л. Головашкин, Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский, В.В. Котляр, В.С. Павельев, Р.В. Скиданов, В.А. Соифер, С.Н. Хонина; под ред. В.А. Соифера. – М.: Физматлит, 2007. – 736 с.
3. Волков, А.В. Исследование технологии плазменного травления для получения многоуровневых дифракционных оптических элементов / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Е. Рыбаков // Компьютерная оптика. – 1998. – № 18. – С. 127-130.
4. Волков, А.В. Разработка технологии получения дифракционного оптического элемента с субмикронными размерами рельефа в кремниевой пластине / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Е. Рыбаков // Компьютерная оптика. – 1998. – № 18. – С. 130-133.
5. Казанский, Н.Л. Исследование особенностей процесса анизотропного травления диоксида кремния в плазме газового разряда высоковольтного типа / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков // Микроэлектроника. – 2004. – Т. 33, № 3. – С. 209-224.
6. Pavelyev, V.S. Formation of diffractive microrelief on diamond film surface / V.S. Pavelyev, S.A. Borodin, N.L. Kazanskiy, G.F. Kostyuk, A.V. Volkov // Optics & Laser Technology. – 2007. – Vol. 39, Issue 6. – P. 1234-1238.
7. Bezus, E.A. Evanescent-wave interferometric nanoscale photolithography using guided-mode resonant gratings / E.A. Bezus, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Microelectronic Engineering. – 2011. – Vol. 88, Issue 2. – P. 170-174.
8. Безус, Е.А. Формирование интерференционных картин затухающих электромагнитных волн для наноразмерной литографии с помощью волноводных дифракционных решеток / Е.А. Безус, Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский // Квантовая электроника. – 2011. – Т. 41, № 8. – С. 759-764.
9. Вейко, В.П. Исследование пространственного разрешения лазерной термохимической технологии записи дифракционных микроструктур / В.П. Вейко, В.И. Корольков, А.Г. Полещук, А.Р. Саметов, Е.А. Шахно, М.В. Ярчук // Квантовая электроника. – 2011. – Т. 41, № 7. – С. 631-636.
10. Вейко, В.П. Исследование особенностей многопучковой лазерной термохимической записи дифракционных микроструктур / В.П. Вейко, Д.А. Синёв, Е.А. Шахно, А.Г. Полещук, А.Р. Саметов, А.Г. Седухин // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 4. – С. 562-571.
11. Krause, S. Precise microstructuring of indium-tin oxide thin films on glass by selective femtosecond laser ablation / S. Krause, T. Miclea, F. Stuedel, S. Schweizer, G. Seifert // EPJ Photovoltaics. – 2013. – Vol. 4(40601). – P. p1-p5.
12. Zoppel, S. Selective ablation of thin Mo and TCO films with femtosecond laser pulses for structuring thin film solar cells / S. Zoppel, H. Huber, G.A. Reider // Applied Physics. – 2007. – Vol. A 89. – P. 161-163.
13. Tan, B. High repetition rate femtosecond laser nano-machining of thin films / B. Tan, A. Dalili, K. Venkatakrishnan // Applied Physics A. – 2009. – Vol. 95. – P. 537-545.
14. Heise, G. Laser ablation of thin molybdenum films on transparent substrates at low fluences / G. Heise, M. Englmaier,

- C. Hellwig, T. Kuznicki, S. Sarrach, Heinz P. Huber // *Applied Physics A: Materials Science & Processing*. – 2011. – Vol. 102, Issue 1. – P. 173-178.
15. **Волков, А.В.** Высокорастворимая лазерная запись контактных масок на плёнках молибдена для изготовления элементов дифракционной оптики / А.В. Волков, О.Ю. Моисеев, С.Д. Полетаев // *Компьютерная оптика*. – 2013. – Т. 37, № 2. – С. 220-225.
 16. **Poleshchuk, A.G.** Polar coordinate laser pattern generator for fabrication of diffractive optical elements with arbitrary structure / A.G. Poleshchuk, E.G. Churin, V.P. Koronkevich, V.P. Korolkov, A.A. Kharissov, V.V. Cherkashin, V.P. Kiryanov, A.V. Kiryanov, S.A. Kokarev, A.G. Verhoglyad // *Applied Optics*. – 1999. – Vol. 38, Issue 8. – P. 1295-1301.
 17. **Казанский, Н.Л.** Исследовательско-технологический центр дифракционной оптики / Н.Л. Казанский // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2011. – Т. 13, № 4-1. – С. 54-62.
 18. **Kazanskiy, N.L.** Research and Education Center of Diffractive Optics / N.L. Kazanskiy // *Proceedings of SPIE*. – 2012. – Vol. 8410. – 84100R, DOI: 10.1117/12.923233.
 19. **Григорьянц, А.Г.** Лазерная сварка металлов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов. – М.: Высшая школа, 1988. – 207 с.
 20. **Казанский, Н.Л.** Оптическая система для проведения селективной лазерной сублимации компонентов металлических сплавов / Н.Л. Казанский, С.П. Мурзин, В.И. Трегуб // *Компьютерная оптика*. – 2010. – Т. 34, № 4. – С. 481-486.
 21. **Kazanskiy, N.L.** Synthesis of nanoporous structures in metallic materials under laser action / N.L. Kazanskiy, S.P. Murzin, Ye.L. Osetrov, V.I. Tregub // *Optics and Lasers in Engineering*. – 2011. – Vol. 49, Issue 11. – P. 1264-1267.
 22. **Doskolovich, L.L.** Focusators for laser-branding / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, G.V. Usplenjev // *Optics and Lasers in Engineering*. – 1991. – Vol. 15, Issue 5. – P. 311-322.
- ### References
1. *Methods for Computer Design of Diffractive Optical Elements* / V.A. Soifer, V.V. Kotlyar, N.L. Kazanskiy, L.L. Doskolovich, S.I. Kharitonov, S.N. Khonina, V.S. Pavelyev, R.V. Skidanov, A.V. Volkov, D.L. Golovashkin, V.S. Solovyev, G.V. Usplenjev; – Ed. by V.A. Soifer. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002. – 765 p.
 2. *Diffractive computers optics* / D.L. Golovashkin, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.V. Kotlyar, V.S. Pavelyev, R.V. Skidanov, V.A. Soifer, S.N. Khonina; ed. by V.A. Soifer. – Moscow: "Fizmatlit" Publisher, 2007. – 736 p. – (In Russian).
 3. **Volkov, A.V.** The study of plasma etching technology for creation of multi-level diffractive optical elements / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Ye. Rybakov // *Computer Optics*. – 1998. – N 18. – P. 127-130. – (In Russian).
 4. **Volkov, A.V.** Development of technology for creation of diffractive optical elements with submicron dimensions of the relief in the silicon wafer / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, O.Ye. Rybakov // *Computer Optics*. – 1998. – N 18. – P. 130-133. – (In Russian).
 5. **Kazanskiy, N.L.** Anisotropic etching of SiO₂ in high-voltage gas-discharge plasmas / N.L. Kazanskiy, V.A. Kolpakov, and A.I. Kolpakov // *Russian Microelectronics*. – 2004. – Vol. 33, Issue 3. – P. 169-182.
 6. **Pavelyev, V.S.** Formation of diffractive microrelief on diamond film surface / V.S. Pavelyev, S.A. Borodin, N.L. Kazanskiy, G.F. Kostyuk, A.V. Volkov // *Optics & Laser Technology*. – 2007. – Vol. 39, Issue 6. – P. 1234-1238.
 7. **Bezus, E.A.** Evanescent-wave interferometric nanoscale photolithography using guided-mode resonant gratings / E.A. Bezus, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // *Microelectronic Engineering*. – 2011. – Vol. 88, Issue 2. – P. 170-174.
 8. **Bezus, E.A.** Interference pattern formation in evanescent electromagnetic waves using waveguide diffraction gratings / E.A. Bezus, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // *Quantum Electronics*. – 2011. – Vol. 41, Issue 8. – P. 759-764. DOI: 10.1070/QE2011v041n08ABEH014500. – (In Russian).
 9. **Veiko, V.P.** Study of the spatial resolution of laser thermochemical technology for recording diffraction microstructures / V.P. Veiko, V.I. Korolkov, A.G. Poleshchuk, A.R. Sametov, E.A. Shakhno, M.V. Yarchuk // *Quantum Electronics*. – 2011. – Vol. 41, N 7. – P. 631-636. – (In Russian).
 10. **Veiko, V.P.** Researching the features of multibeam laser thermochemical recording of diffractive microstructures / V.P. Veiko, D.A. Sinev, E.A. Shakhno, A.G. Poleshchuk, A.R. Sametov, A.G. Sedukhin // *Computer Optics*. – 2012. – Vol. 36(4). – P. 562-571.
 11. **Krause, S.** Precise microstructuring of indium-tin oxide thin films on glass by selective femtosecond laser ablation / S. Krause, T. Miclea, F. Steudel, S. Schweizer, G. Seifert // *EPJ Photovoltaics*. – 2013. – Vol. 4(40601). – P. p1-p5.
 12. **Zoppel, S.** Selective ablation of thin Mo and TCO films with femtosecond laser pulses for structuring thin film solar cells / S. Zoppel, H. Huber, G.A. Reider // *Applied Physics*. – 2007. – Vol. A 89. – P. 161-163.
 13. **Tan, B.** High repetition rate femtosecond laser nano-machining of thin films / B. Tan, A. Dalili, K. Venkatakrishnan // *Applied Physics A*. – 2009. – Vol. 95. – P. 537-545.
 14. **Heise, G.** Laser ablation of thin molybdenum films on transparent substrates at low fluences / G. Heise, M. Englmaier, C. Hellwig, T. Kuznicki, S. Sarrach, Heinz P. Huber // *Applied Physics A: Materials Science & Processing*. – 2011. – Vol. 102, Issue 1. – P. 173-178.
 15. **Volkov, A.V.** Precision laser recording on a molybdenum films for diffractive microrelief formation / A.V. Volkov, O.Yu. Moiseev, S.D. Poletayev // *Computer Optics*. – 2013. – Vol. 37(2). – P. 220-225.
 16. **Poleshchuk, A.G.** Polar coordinate laser pattern generator for fabrication of diffractive optical elements with arbitrary structure / A.G. Poleshchuk, E.G. Churin, V.P. Koronkevich, V.P. Korolkov, A.A. Kharissov, V.V. Cherkashin, V.P. Kiryanov, A.V. Kiryanov, S.A. Kokarev, A.G. Verhoglyad // *Applied Optics*. – 1999. – Vol. 38, Issue 8. – P. 1295-1301.
 17. **Kazanskiy, N.L.** Research and technological center of diffraction optics / N.L. Kazanskiy // *Bulletin of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. – 2011. – Vol. 13, N 4-1. – P. 54-62. – (In Russian).
 18. **Kazanskiy, N.L.** Research and Education Center of Diffractive Optics / N.L. Kazanskiy // *Proceedings of SPIE*. – 2012. – Vol. 8410. – 84100R, DOI: 10.1117/12.923233.
 19. **Grigoryanc, A.G.** Laser welding of metals / A.G. Grigoryanc, I.N. Shiganov. – Moscow: "High school" Publisher, 1988. – 207 p. – (In Russian).
 20. **Kazanskiy, N.L.** Optical system for realization selective laser sublimation of metal alloys components / N.L. Kazanskiy, S.P. Murzin, V.I. Tregub // *Computer Optics*. – 2010. – Vol. 34(4). – P. 481-486. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
 21. **Kazanskiy, N.L.** Synthesis of nanoporous structures in metallic materials under laser action / N.L. Kazanskiy, S.P. Murzin, Ye.L. Osetrov, V.I. Tregub // *Optics and Lasers in Engineering*. – 2011. – Vol. 49, Issue 11. – P. 1264-1267.
 22. **Doskolovich, L.L.** Focusators for laser-branding / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, G.V. Usplenjev // *Optics and Lasers in Engineering*. – 1991. – Vol. 15(5). – P. 311-322.

APPLICATION OF THIN MOLYBDENUM FILMS IN CONTACT MASKS FOR MANUFACTURING THE MICRO-RELIEF OF DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENTS

A.V. Volkov¹, O.Yu. Moiseev¹, S.D. Poletaev^{1,2}, I.V. Chistyakov³
¹Image Processing Systems Institute, Russian Academy of Sciences,
²Samara State Aerospace University,
³SLL Interlab

Abstract

We investigate the parameters of microstructures obtained by laser thermochemical writing in molybdenum films of thickness 17, 35, and 70 nm deposited on glass and quartz substrates. Graphs of the spatial resolution of the microstructures as a function of the laser power are plotted for different substrate materials. It is shown that a higher spatial resolution of the microstructures can be achieved in the molybdenum films with a 17-nm thickness.

Key words: microstructure, laser ablation, thermal recording of a molybdenum film, glass and quartz substrates.

Сведения об авторах



Волков Алексей Васильевич, Главный научный сотрудник лаборатории микро- и нанотехнологий Института систем обработки изображений РАН (ИСОИ РАН), по совместительству профессор кафедры наноинженерии СГАУ. Основные сферы научных интересов: исследование технологических режимов плазмохимического травления материалов, используемых при создании дифракционных оптических элементов; исследование и разработка технологий формирования микрорельефа ДОЭ; синтез микро- и наноструктур, имеющих определённое функциональное назначение.

E-mail: volkov@ssau.ru, volkov@smr.ru.

Alexey Vasilyevich Volkov, Doctor of Engineering, professor of Nanoengineering sub-department of S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University), Chief Researcher of Micro- and Nanotechnology laboratory of the Image Processing Systems Institute of the RAS. Research interests: diffractive microoptics, nanophotonics, micro- and nanostructure fabrication methods.



Моисеев Олег Юрьевич, 1959 года рождения, окончил в 1982 г. 5-й факультет Куйбышевского авиационного института. В 2000 г. защитил кандидатскую диссертацию. На данный момент занимает должность старшего научного сотрудника Института систем обработки изображений РАН. Область научных интересов: технологические процессы создания микроструктур дифракционной оптики.

E-mail: moiseev@smr.ru.

Oleg Yurevich Moiseev, Candidate of Technical Sciences; senior staff scientist of the Image Processing Systems Institute of the RAS. Research interests: technological process of diffractive optics.



Полетаев Сергей Дмитриевич, 1985 года рождения, окончил СГАУ по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», работает инженером в СГАУ, аспирант кафедры наноинженерии, стажёр-исследователь ИСОИ РАН. Область научных интересов: технология создания дифракционных оптических элементов.

E-mail: sergpolet@gmail.com.

Sergey Dmitriyevich Poletayev, the 1985th year of birth, graduated from Samara State Aerospace University a name of academician S.P.Korolyov (National Research University) (SSAU) in the specialty «Design and Technology of Radio-electronic Means», the graduate student of chair of Nanoengineering department works as the engineer in SSAU, probationer-researcher of the Image Processing Systems Institute of the RAS. Research interests: creation technology of diffraction optical elements.



Чистяков Игорь Владимирович, 1988 года рождения, в 2010 году окончил Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева по специальности «Химическая технология углеродных материалов». В 2013 в Институте органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Органическая химия». На данный момент занимает должность сервисного инженера по электронной микроскопии компании «Интерлаб». Область научных интересов: гетерогенный и гомогенный металлокомплексный катализ, элементорганические соединения, сканирующая электронная микроскопия, энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия.

E-mail: chistyakov@interlab.ru.

Igor Vladimirovich Chistyakov, the 1988th year of birth, graduated as a chemical engineer in 1988 from the Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (Chemical Technology of Carbon Materials). In 1992 he received his PhD (Organic Chemistry) from Zelinsky Institute of Organic Chemistry RAS. In 2014 employed as service engineer of electron microscopy in Interlab. Fields of interest: homo- and heterogeneous catalysis, SEM.

Поступила в редакцию 11 ноября 2014г.