

## **МЕТОДИКА ЗАПИСИ МАСОК ПО МНОГОСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЯМ (часть 1)**

### ***Никита Андреевич Гурин***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотоники и приборостроения, тел. (923)129-87-48, e-mail: gna200694@yandex.ru

### ***Виктор Павлович Корольков***

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 1, доктор технических наук, зав. лабораторией дифракционной оптики, тел. (383)333-30-91, e-mail: victork@iae.nsk.ru

### ***Юрий Цыдыпович Батомункеев***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физики, тел. (913)794-84-78, e-mail: opttechnic@mail.ru

### ***Евгений Васильевич Спесивцев***

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 13, кандидат технических наук, e-mail: evs@isp.nsc.ru

Целью работы является экспериментальное исследование оптических характеристик пленок оксида хрома, таких как показатель преломления, коэффициент поглощения, коэффициенты отражения и пропускания для видимой области спектра. Работа является частью разработки методики записи масок сфокусированным лазерным излучением по многослойным поглощающим покрытиям.

**Ключевые слова:** лазерная запись, амплитудные фотошаблоны, оксид хрома.

## **RECORDING TECHNIQUE OF MASKS ON MULTILAYERED COATINGS (Part 1)**

### ***Nikita A. Gurin***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (923)129-87-48, e-mail: gna200694@yandex.ru

### ***Viktor P. Korolkov***

Institute of Automation and Electrometry SB RAS, 1, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Head of Laboratory of Diffraction Optics, phone: (383)333-30-91, e-mail: victork@iae.nsk.ru

### ***Yury Ts. Batomunkuev***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Physics, тел. (913)794-84-78, e-mail: opttechnic@mail.ru

### ***Evgeny V. Spesivtsev***

Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, 13, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., e-mail: evs@isp.nsc.ru

The aim of the work is an experimental study of the optical characteristics of chromium oxide films, such as the refractive index, absorption coefficient, reflection and transmission coefficients for the visible spectral region. This work is a part of the development of a mask writing technique with focused laser radiation on multilayer absorbing coatings.

**Key words:** laser writing, amplitude photomasks, chromium oxide.

На современном этапе развития технологий изготовления дифракционных оптических элементов, базирующихся на процессах контактной фотолитографии, предъявляются все более высокие требования к качеству используемых металлических фотошаблонов (масок). Таковыми являются, например, фотошаблоны с маскирующим слоем из смеси хрома и тонкой пленки оксида хрома [1]. Хотя, методы получения и характеристики тонких пленок оксида хрома изучены во многих работах, например [1–3], при изготовлении и конкретном практическом применении таких пленок необходимо более детальное исследование оптических свойств получаемых пленок оксида хрома, например, для разработки технологий изготовления масок, устраняющих проблему оплавления краев субмикронных дифракционных структур при сканировании их сфокусированным лазерным излучением [4, 5]. Тем самым устраняется проблема локальной дифракции и интерференции световой волны на дифракционной структуре и на краях элементов, многократных отражений световой волны от контактирующих поверхностей в толще фоторезиста. Следует отметить, что при этом к маскирующей пленке предъявляются требования минимального отражения на длине волны поглощаемого лазерного излучения, и существенно большего отражения на другой длине волны, используемой для контроля толщины плеток в процессе изготовления.

Целью работы является экспериментальное исследование оптических характеристик пленок оксида хрома, таких как показатель преломления, коэффициент поглощения, спектральные зависимости коэффициента отражения и пропускания для видимой области спектра. Эта работа является частью разработки методики записи масок сфокусированным лазерным излучением по многослойным поглощающим покрытиям.

В работе исследуются оптические свойства пленок оксида хрома, нанесенных на поверхность плоскопараллельных пластин (подложек) из стекла марки К8 с показателем преломления  $n = 1,52$ . Пленки были получены методом электронно-лучевого испарения путем термораспада в окислительной среде на вакуумном технологическом оборудовании с одновременным ионным ассистированием [6]. Процесс напыления сопровождался постоянным контролем толщины покрытия с помощью фотометрической системы и кварцевым контролем по массе напыляемого пленкообразующего вещества.

Все измерения коэффициентов отражения и пропускания подложки с пленкой оксида хрома проводились на спектрофотометре Linza-150. Перед началом измерений на спектрофотометре прописывались спектральные кривые коэффициентов отражения и пропускания только подложки. Затем измерялись

спектральные кривые коэффициентов отражения и пропускания подложки с пленкой оксида хрома. На рис. 1, *а*, *б* представлены полученные результаты измерений. На рис. 1, *а* по оси ординат указаны величины коэффициента отражения –  $R$  на требуемых длинах волн видимого диапазона, отложенных по оси ординат. Коэффициент отражения  $R_{обр}$  подложки с пленкой оксида хрома определяется по формуле

$$R_{обр} = \frac{A_{обр}}{A_3} \cdot R_3 \%, \quad (1)$$

где  $A_{обр}$  – значение коэффициента отражения  $R$  подложки с пленкой на заданной длине волны;  $A_3$  – значение коэффициента отражения от подложки, равное 100 %;  $R_3$  – коэффициент отражения от подложки, равный 3,7 %. Спектральная зависимость коэффициента отражения  $R$  (рис. 1, *а*) в видимом диапазоне носит немонотонный характер. Так наблюдается уменьшение с 4 % на длине волны 400 нм до минимального значения 1,7 % вблизи длины волны 460 нм и практически линейное увеличение с 2 % на длине волны 475 нм до 13,5 % на длине волны 650 нм. Коэффициент пропускания  $T$  (рис. 1, *б*) практически во всем видимом диапазоне увеличивается с величины 0,05 % на длине волны 400 нм до 0,95 % на длине волны 740 нм.

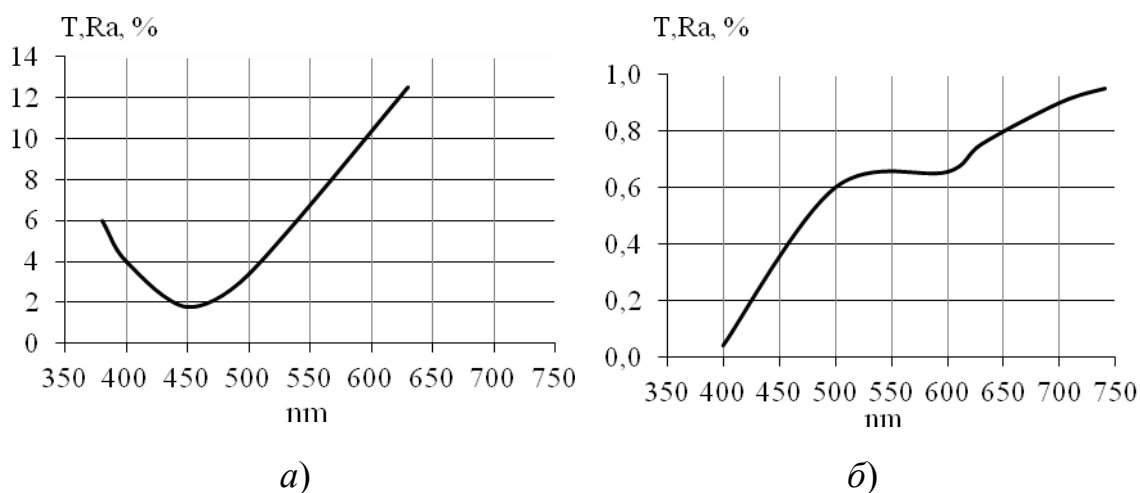


Рис. 1. Зависимости коэффициентов отражения (*а*) и пропускания (*б*) пленок оксида хрома от длины волны света

Поскольку при измерении на спектрофотометре Linza-150 уменьшение интенсивности прошедшего света происходит как за счет процессов поглощения, так и отражения на границах разделов сред необходимо рассчитать коэффициент поглощения  $k_\lambda$ , который рассчитывается из формулы Бугера:

$$k_{\lambda} = \frac{1}{t} \left( \frac{\ln T_n}{100} \right) \%,$$

где  $T_n$  – коэффициент пропускания в процентах с учетом отражения;  $t$  – толщина образца в сантиметрах [7].

На рис. 2 представлены результаты измерений на эллипсомере зависимости коэффициентов преломления  $n_1$  (справа красный график) и поглощения  $k_1$  (слева зеленый график) пленки оксида хрома от длины волны света. Получено, что в диапазоне длин волн от 250 до 300 нм коэффициент преломления  $n_1$  увеличивается от 1,963 до 2,012, а в диапазоне от 300 до 700 нм монотонно убывает с 2,012 до 1,924. Коэффициент поглощения  $k_1$  в диапазоне длин волн 250–450 нм убывает до значения 0,333 и затем увеличивается до максимальной величины 0,408 (рис. 2). Далее коэффициент поглощения монотонно убывает до величины 0,332 на длине волны 800 нм. Приблизительно можно считать, что средний показатель преломления в видимой области спектра составляет 1,94, а коэффициент поглощения равен  $k = 0,37$ .

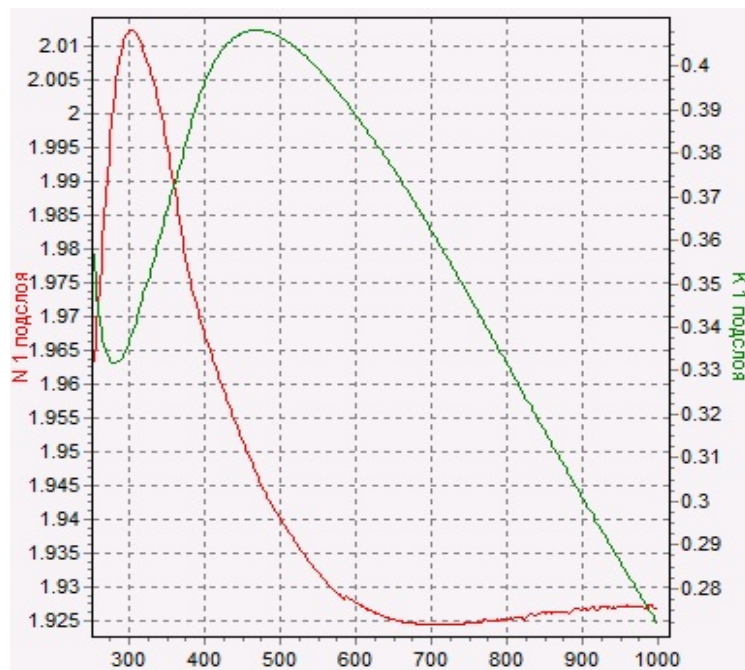


Рис. 2. Зависимости коэффициентов преломления и поглощения пленки оксида хрома от длины волны света

Полученные пленки оксида хрома могут быть использованы в качестве антиотражающего покрытия для ослабления интерференции прошедшей через слой фоторезиста световой волны и отраженной от поверхностей подложки, а также уменьшения влияния переотраженного света, ухудшающего контрастность и изменяющего геометрические размеры рисунка фотошаблонов [8].

С использованием пленок оксида хрома можно записать более высокоразрешающую амплитудную голограмму для контроля асферических поверхностей [9]. Следует отметить, экспериментально полученные пленки оксида хрома не изменяют свои оптические свойства в условиях внешних механических воздействий, воздействий агрессивных сред и повышенных температур. Эти характеристики были подтверждены выполненными испытаниями пленок оксида хрома в соответствии ОСТ 3-1901–95 [10–12]. Покрытия оптических деталей по пунктам: 7.3; 7.4; 7.5; 7.6 и 7.7.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. C. Koch, T.J. Rinke, Photolithography: Basics of Microstructuring, MicroChemicals GmbH, 2017. – p. 205.
2. Masoud Mohammadtaheri, Qiaoqin Yang, Yuanshi Li and Jesus Corona-Gomez. / The Effect of Deposition Parameters on the Structure and Mechanical Properties of Chromium Oxide Coatings Deposited by Reactive Magnetron Sputtering, Coatings 2018. – p. 111–125.
3. Xiaolu Pang, Kewei Gao, Fei Luo, Yusuf Emirov b, Alexandr A. Levin, Alex A. Volinsky. / Investigation of microstructure and mechanical properties of multi-layer Cr/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings, 2009. – p. 1922–1927.
4. Khaleel Abu-Shgair, Husam H. Abu-Safe, Aditya Aryasomayajula, Ben Beake and Matt H. Gordon. / Characterizing crystalline chromium oxide thin film growth parameters, 2010. – p. 64–68.
5. Современное состояние исследований и технические применения / Физика тонких пленок / под ред. А. Г. Ждан, В. Б. Сандомирский. – 1978. – Т. 8, 1978. – С. 360.
6. Точицкий Я. И. Оптические технологии микро- и наноэлектроники. – 2007. – № 1. – С. 61–65.
7. Верхогляд А. Г., Завьялова М. А., Качкин А. Е. Кокарев С. А., Корольков В. П. Круговая лазерная записывающая система для формирования фазовых и амплитудных микроструктур на сферических поверхностях, Датчики и системы, 9–10 (196), 2015. – С. 45–52.
8. Корольков В. П., Малышев А. И., Никитин В. Г., Полещук А. Г., Харисов А. А., Черкашин В. В., ВУ Ч., Изготовление высокоэффективных ДОЭ с помощью полутонковых фотошаблонов на основе LDW-стекол // Компьютерная оптика, № 18, 1998. – С. 121–126.
9. Крылова Т. А. Интерференционные покрытия. – Л.: Машиностроение, 1973. – С. 224.
10. ОСТ 3-1901–95. Покрытия оптических деталей. Типы, общие технические требования и методы контроля // ВНИЦ ГОИ им. С. И. Вавилова. – 1995.
11. OptiLayer [Электронный ресурс] / отдел «Продукция и услуги». – Электрон. дан. – М., 2014. <http://www.optilayer.com>.
12. Нанесение покрытий., ООО «Изовак» [Электронный ресурс]. – [http://www.izovac.com/coating\\_service/](http://www.izovac.com/coating_service/).

© Н. А. Гурин, В. П. Корольков, Ю. Ц. Батомункуев, Е. В. Спесивцев, 2019