

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ, ВЫПОЛНЕННОЙ ИЗ ПРОЗРАЧНОГО ПРОВОДЯЩЕГО ОКСИДА

В.Д. Паранин¹, С.В. Карпеев^{1,2}

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) (СГАУ), Самара, Россия,

² Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия

Методом литографии изготовлена дифракционная решетка на основе прозрачного проводящего оксида индия – олова с периодом 300 мкм и шириной щели 165 мкм. При помощи эллипсометра определены показатели преломления и поглощения оксида индия – олова толщиной 115..117 нм, которые на длине волны 633 нм равны $n=1,857\pm 0,008$, $k=0,000\pm 0,009$. С использованием спектроскопии исследовано пропускание в области выступа и щели решетки, составившее 82,6% и 91%, соответственно. Исследована диаграмма направленности дифракционной решетки и обнаружен ее амплитудно-фазовый характер, обусловленный различным пропусканием участков маски оксида индия - олова.

Ключевые слова: амплитудно-фазовая решетка, оксид индия – олова, эллипсометрия, спектроскопия, интерферометрия.

Введение

Дифракционные решетки находят применение в изображающих спектральных приборах [1, 2] и измерительной технике [3, 4]. Большинство используемых решеток является фазовыми, изготавливаемыми либо по технологии нарезки на делительной машине [1, 2] либо методами литографии [5]. Решетки, включающие непрозрачные металлические маски, могут использоваться в качестве отражательных без напыления или осаждения дополнительных слоев [6]. Наиболее отработанным и распространенным методом изготовления литографических масок и непосредственно дифракционных оптических элементов (ДОЭ) остается термохимическое окисление хрома [7, 8]. Относительно недавно появились работы, посвященные дальнейшему развитию технологии аддитивного метода изготовления микрорельефа фазовых решеток [9, 10]. Предложенная технология заключается в термическом окислении маски на основе тонкого металлического слоя молибдена (15 – 70 нм). Далее осуществляется травление подложки через полученную маску. Однако, отметим, что вариация температуры и времени отжига прямо влияет на химический состав и структуру (т.е. оптическую толщину и поглощение) оксидной пленки. Следовательно, появляется возможность изготовления указанным методом всех типов решеток: амплитудных, фазовых и амплитудно-фазовых. Имеется возможность подстройки параметров таких решеток для заданной длины волны, например, дополнительным отжигом на этапе пост-обработки.

Вариантом развития аддитивного метода является возможность изготовления дифракционной маски со специальными свойствами, например для использования в дифракционных решетках [11, 12]. В результате могут быть реализованы дифракционные элементы управления оптическим излучением, использующие различные эффекты: электрооптический, магнитооптический, термооптический и др. Разумеется, это требует замены традиционных кварцевых подложек на кристаллические или керамические материалы с необходимыми функциональными свойствами. Кроме того, возникают

новые требования к топологическому рисунку дифракционной маски. Например, в случае разомкнутых электродов (встречно-штыревых) могут использоваться электрооптические эффекты различных порядков. Для замкнутых электродов – магнитооптический и термооптический эффекты.

Целью настоящей работы являлось изготовление и экспериментальное исследование дифракционной решетки на основе проводящей маски из оксида индия – олова (indium tin oxide, ИТО) и измерение оптических и размерных характеристик ИТО-слоев методами эллипсометрии, интерферометрии и спектроскопии. На основе измеренных оптических характеристик проводилось моделирование и экспериментальное исследования диаграммы направленности ИТО-решетки.

Изготовление и исследование ИТО-решетки

В качестве подложки для решетки использовалось стекло марки К-8 размером 75x25x0,5 мм. Материалом дифракционной маски служил оксид индия – олова $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ (indium tin oxide, ИТО) электронной чистоты, наносимый в вакууме реактивным магнетронным распылением в атмосфере кислорода. Размеры решетки контролировались автоматизированным интерферометром белого света WLI-DMR и составили: период - 300 мкм, ширина канавки - 165 мкм, глубина – 115..117 нм.

Измерение показателя преломления ИТО-пленки осуществлялось методом эллипсометрии на автоматизированном спектральном эллипсометре J.A.Woollam V-VASE. Длина волны задавалась равной 632,8 нм, ширина спектра излучения составляла не более 2,3 нм. Показатели преломления и поглощения составили $n=1,857\pm 0,008$, $k=0,000\pm 0,009$ по данным s-поляризации. Спектральное пропускание подложки и подложки с ИТО-слоем в диапазоне 300 – 900 нм исследовалось на спектрофотометре Shimadzu UV-2450. Шаг измерения составлял 1 нм, спектральная ширина щели – 1 нм, скорость сканирования – средняя. Установлено, что пропускание на $\lambda=633$ нм составляет 82,6% в области выступа и 91% в области канавки.

На основе измерения профиля и показателя преломления ИТО-решетки было вычислено распределение интенсивности в картинной плоскости. При расчете использовался дифракционный интеграл Рэлея-Зоммерфельда для одномерной структуры. Модельная решетка содержала 30 щелей периодом 300 мкм и шириной щели 165 мкм. Высота ИТО-профиля задавалась равной 115 нм, показатель преломления – 1,857. Пропускание по интенсивности с учетом нижней поверхности подложки в области ИТО составляло 0,826, в области щели – 0,910. Изменение фазы на участке ИТО равнялось 2,123 рад, в области щели – 1,142 рад. Результаты расчета нормированной интенсивности в картинной плоскости (расположена на расстоянии 0,4 м от решетки) показаны на рис.1,а. Исследование дифракционной ИТО-решетки осуществлялось на оптической установке, включающей гелий-неоновый лазер ЛГН-208А, пространственный фильтр – расширитель пучка, пленочный поляризатор оптического качества, экспериментальный образец, изображающую цилиндрическую линзу, фотоприемник. Интенсивность в фокальной плоскости цилиндрической линзы регистрировалось ПЗС-камерой DCM310 с разрешением 2048x1536. Освещение дифракционной решетки было близко к

равномерному. Распределение интенсивности в плоскости ПЗС-матрицы показано на рис.1,б.

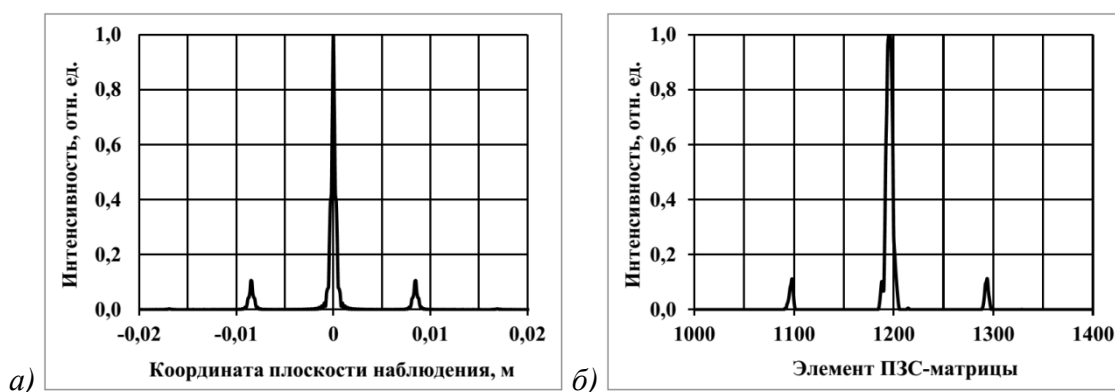


Рис. 1. Распределение интенсивности в картинной плоскости: а) расчет, б) эксперимент

Сравнение рис.1,а и рис.1,б обнаруживает хорошее соответствие экспериментальных и расчетных характеристик решетки. Из полученных данных следует, что дифракционная решетка на основе пленки оксида индия – олова является амплитудно – фазовой. Во-первых, для решетки характерно различное пропускание выступа $t_v=0,826$ и канавки $t_k=0,910$ на длине волны 633 нм. Во-вторых, выступу и канавке соответствует разное изменение фазы $\Delta\varphi_v=2,123$ рад и $\Delta\varphi_k=1,142$ рад. Все это обуславливает частичное формирование нечетных порядков, главным образом первых, которые составляют около 10% от нулевого порядка.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

- 1 Карпеев, С.В. Исследование дифракционной решётки на выпуклой поверхности как диспергирующего элемента / С.В. Карпеев, С.Н. Хонина, С.И. Харитонов // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 2. – С. 211-217
- 2 Знаменский, М.Ю. Пропускающие нарезные дифракционные решётки для ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областей спектра / М.Ю. Знаменский, Я.К. Лукашевич, А.Ф. Скочилов, Н.А. Федулова // Оптический журнал. – 2014. – № 3. – С.51-54.
- 3 Полещук, А.Г. Применение дифракционной оптики в измерительной технике / А.Г. Полещук, В.П. Коронкевич, В.П. Корольков, А.Г. Седухин // Компьютерная оптика. – 2001. – Т.22. – С.86-95.
- 4 Коронкевич, В.П. Лазерные интерферометрические и дифракционные системы / В.П. Коронкевич, А.Г. Полещук, А.Г. Седухин, Г.А. Ленкова // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, №1. – С.4-23.
- 5 Berezny, A.E. Computer-generated holographic optical elements produced by photolithography / A.E. Berezny, S.V. Karpeev, G.V. Uspleniev // Optics and Lasers in Engineering. – 1991. – Vol. 15(5). – P. 331-340.
- 6 Dyachenko, P.N. The three-dimensional photonic crystals coated by gold nanoparticles / P.N. Dyachenko, S.V. Karpeev, E.V. Fesik, Y.V. Miklyaev, V.S. Pavelyev, G.D. Malchikov // Optics Communications – 2011. - V.284, №3. – Pp.885-888.
- 7 Полещук, А.Г. Датчик Гартмана на основе многоэлементных амплитудных масок с аподизированными апертурами / А.Г. Полещук, А.Г. Седухин А.Г. , В.И. Трунов, В.Г. Максимов // Компьютерная оптика. – 2014. – Т.38, №4. – С.695-703.

- 8 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.
- 9 Волков, А.В. Высокора разрешающая 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.
- 10 Казанский, Н.Л. Формирование микрорельефа методом термического окисления пленок молибдена / Н.Л. Казанский, О.Ю. Моисеев, С.Д. Полетаев // Письма в ЖТФ. – 2016. – Т.42. - Вып.3. - С.106-110.
- 11 Досколович, Л.Л. Резонансные магнитооптические эффекты в дифракционных решетках с намагниченным слоем / Л.Л. Досколович, Е.А. Безус, Д.А. Быков, В.И. Белотелов, А.К. Звездин // Компьютерная оптика, 2007. - Т. 31. № 1. - С. 4–8.
- 12 Паранин, В.Д. Исследование механизмов управления характеристиками дифракционной решетки, выполненной на поверхности электрооптического кристалла ниобата лития / В.Д. Паранин // Журнал технической физики. - 2014. - Т.84. - Вып.11. - С.146-150.