

## ВЫБОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ ГАЛОГЕНИДНОЙ АНТИОТРАЖАЮЩЕЙ РЕШЕТКИ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ТРАВЛЕНИЯ

© 2008 Ю.А. Орехова<sup>1</sup>, О.Ю. Моисеев<sup>2</sup>, Д.Л. Головашкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный аэрокосмический университет  
<sup>2</sup> Институт систем обработки изображений РАН

Работа посвящена изучению распространения лазерного излучения среднего ИК-диапазона через антиотражающий рельеф, сформированный на оптической поверхности (материал – галогениды серебра). Предложена новая технология формирования такого рельефа, позволяющая повысить его антиотражающие свойства.

*Теория эффективных сред, галогенидный ИК-волновод, технология плазмохимического травления*

### Введение

Применение галогенидов серебра при изготовлении оптических волноводов открывает новые возможности по управлению лазерным излучением среднего ИК-диапазона. Низкая температура размягчения (190° С) галогенидов позволяет формировать на торцах волноводов дифракционные оптические элементы методом штамповки, не прибегая к более сложным и дорогостоящим технологиям [1]. При этом совмещение волновода и устройств ввода-вывода излучения снижает массогабаритные характеристики оптической системы и позволяет избежать дополнительных юстировок.

Высокая оптическая плотность ( $n = 2,15$  в диапазоне  $1 \leq \lambda \leq 20$  мкм для состава AgCl – 25%, AgBr – 75%) материала обуславливает существенные потери на френелевское отражение от торца, что объясняет актуальность формирования на торце галогенидного волновода антиотражающей дифракционной решетки. На выбор геометрических параметров профиля такой решетки влияют как ее антиотражающие свойства, так и возможности технологии формирования.

В настоящей работе представлено исследование зависимости антиотражающего эффекта от длины волны для рельефа, изготовленного по технологии плазмохимического травления, и предлагается модификация технологии, позволяющая дополнительно снизить потери на френелевское отражение.

### Математическая модель дифракции излучения на антиотражающих структурах

Исследование антиотражающего эффекта методом вычислительного эксперимента уместно проводить в рамках теории эффективных сред, адекватной при условии

$$\frac{\lambda}{Dn} > 1 \quad (1)$$

(случай нормального падения), где  $\lambda$  – длина волны падающего излучения,  $D$  – период антиотражающей структуры,  $n$  – оптическая плотность материала решетки. Соблюдение приведенного условия позволяет заменить при моделировании антиотражающую решетку на тонкопленочные покрытия по приведенной на рис. 1 методике.

Согласно теории эффективных сред [2] диэлектрические проницаемости тонких пленок рассчитываются по выражениям:

$$\varepsilon_{TE}^{(0)} = (1-f)n_1^2 + fn_2^2 \quad (2)$$

$$\varepsilon_{TM}^{(0)} = \frac{1}{(1-f)/n_1^2 + fn_2^2}; \quad (3)$$

$$\varepsilon_{TE}^{(2)} = \varepsilon_{TE}^{(0)} \left[ 1 + \frac{\pi^3}{3} (n_1 + n_2)^2 (D/\lambda)^2 \times \right. \\ \left. \times f^2 (1-f)^2 \frac{(\alpha_n - 1)^2}{1 + f(\alpha_n^2 - 1)} \right]; \quad (4)$$

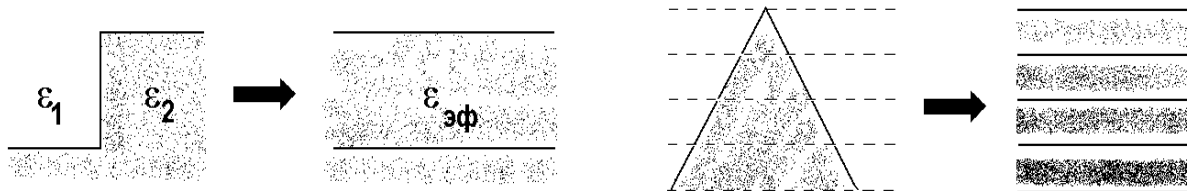


Рис. 1. Переход от бинарного и треугольного профиля антиотражающей решетки к тонкопленочному покрытию

$$\epsilon_{TM}^{(2)} = \epsilon_{TM}^{(0)} \left[ 1 + \frac{\pi^3}{3} (n_1 + n_2)^2 (D/\lambda)^2 \times \right. \\ \left. \times f^2 (1-f)^2 (\alpha_n - 1)^2 \frac{1+f(\alpha_n^2-1)}{\alpha_n^2 - f(\alpha_n^2-1)} \right], \quad (5)$$

где  $n_1, n_2$  – оптические плотности сред, разделенных антиотражающим покрытием;  $f$  – коэффициент заполнения, равный отношению ширины ступеньки (случай бинарной решетки) к периоду;  $\alpha_n = n_2/n_1$ . Формулы (2), (3) относятся к теории эффективных сред нулевого порядка для случаев ТЕ- и ТМ-волн, выражения (4), (5) являются их уточнениями в рамках теории второго порядка. Расчет антиотражающего эффекта при прохождении через набор тонких пленок производится с помощью метода матриц переноса [3].

#### Исследование дифракции света на антиотражающей структуре, сформированной с помощью технологии плазмохимического травления

Технология формирования антиотражающей решетки на торце галогенидного волновода заключается в травлении матрицы с последующей штамповкой ее на торец [1]. Рельеф результирующей решетки при этом оказывается инверсным профилю матрицы.

Ограничения, налагаемые традиционно используемой для формирования матрицы штамповки технологией плазмохимического травления, приводят к возможности формирования рельефа исключительно треугольного профиля с периодом  $1 \leq D \leq 1,4$  мкм (дальнейшее увеличение периода приводит к потере антиотражающих свойств в силу (1) и выбранного диапазона  $3 \leq \lambda \leq 8$  мкм), глубиной  $0 \leq h \leq 3$  мкм при основании треугольника  $0,2 \leq d \leq 0,6$  мкм ( $d = D - 0,8$  мкм).

Наилучшие результаты при моделировании были достигнуты для параметров  $D = 1,3$  мкм,  $h = 1$  мкм и  $d = 0,5$  мкм (рис. 2).

Однако и для них антиотражающий эффект в случае падения ТМ-волны выражен значительно слабее, чем для ТЕ-волны. Причиной тому является ограничение на ширину основания треугольника:  $d = D - 0,8$  мкм, определяемое линейным размером (слагаемое 0,8 мкм) хромированной зоны на поверхности кварцевой пластины, из которой получается матрица штамповки.

#### Исследование дифракции света на антиотражающей структуре, сформированной с помощью комбинированной технологии плазмохимического и химического травления

Авторы настоящей работы предлагают комбинированную технологию формирования матрицы штамповки. Сначала наносится слой хрома указанной ширины и производится плазмохимическое травление до достижения значений  $h = 0,5$  мкм и  $d = 0,5$  мкм (рис. 3а). Затем поверхность подвергается жидкостному химическому травлению раствором плавиковой кислоты. Длительность травления подбирается таким образом, что глубина профиля достигает значения  $h = 1$  мкм, при этом длина основания треугольника в силу равномерности травления по всем направлениям становится равной  $d = 1$  мкм (рис. 3б). Период антиотражающей решетки остается неизменным  $D = 1,3$  мкм. Хромированный слой предохраняет от подтравки верх матрицы.

Представленные на рис. 4 результаты подтверждают целесообразность использования комбинации двух технологий травления.

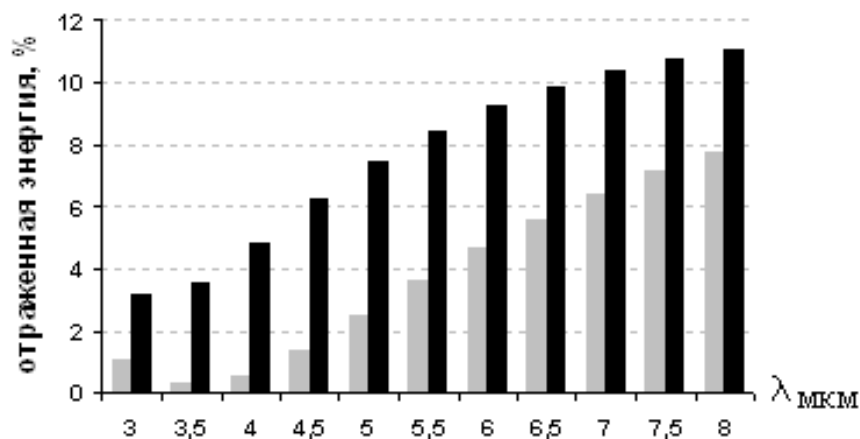


Рис. 2. Зависимость антиотражающего эффекта от типа волны (TE – серые столбики, TM – черные) и длины волны при использовании технологии плазмохимического травления матрицы штамповки

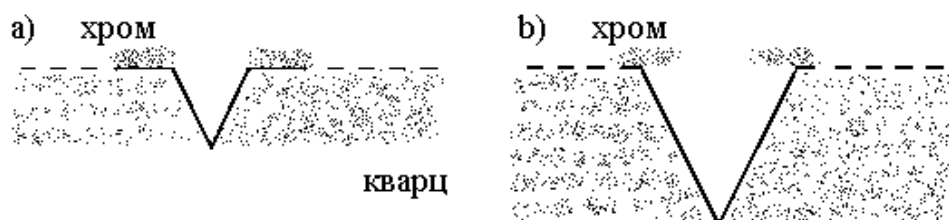


Рис. 3. Этапы комбинированной технологии формирования матрицы штамповки: плазмохимическое (а) и химическое (б) травление кварцевой пластины

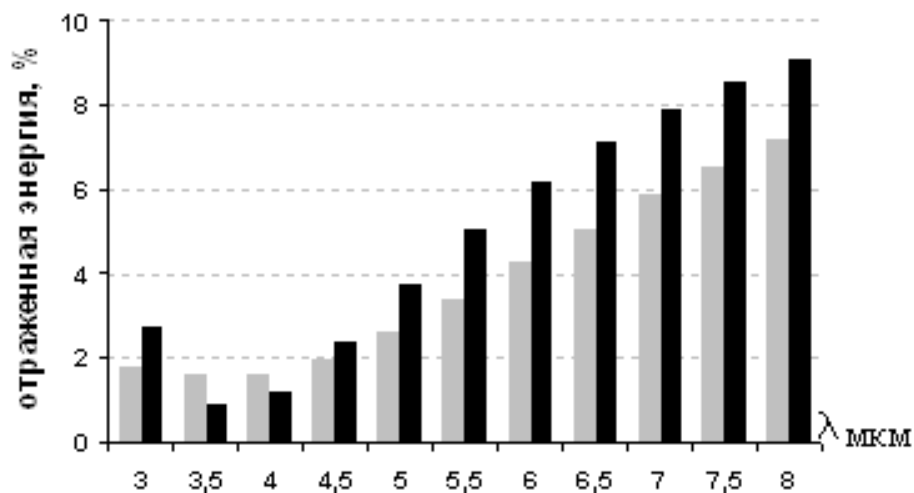


Рис. 4. Зависимость антиотражающего эффекта от типа волны (TE – серые столбики, TM – черные) и длины волны при использовании комбинированной технологии плазмохимического и химического травления матрицы штамповки

В отличие от результатов, представленных на рис. 2, антиотражающий эффект в данном случае выражен одинаково для TE- и

TM-волн, что позволяет говорить о независимости эффективности исследуемой решетки от типа падающей волны.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта CRDF, REC-SA-014-02 и гранта Президента РФ МД – 5303.2007.9.

## Выводы

Комбинирование технологии плазмохимического и химического травления при формировании рельефа матрицы штамповки позволяет значительно расширить диапазон геометрических параметров треугольного профиля галогенидной антиотражающей решетки, в частности, обойти ограничение на ширину основания треугольника и сформировать решетку, характеризующуюся независимостью антиотражающего эффекта от типа электромагнитной волны.

## Библиографический список

1. **Бородин, С.А.** Формирование и исследование дифракционного микрорельефа на торце галогенидного ИК волновода [текст] / С.А. Бородин [и др.] // Компьютерная оптика. – 2005. – №27. – С. 45-49.

2. **Raguin, D.H.** Diffraction analysis of antireflection surface-relief gratings on lossless dielectric surfaces [текст] / D.H. Raguin, G.M. Morris // JOSA technical Digest – 1990. – № 15. – P. 122-123.

3. **Борн, М.** Основы оптики: [текст] / М. Борн, Э. Вольф, пер. с англ. – М.:Наука, 1973. – 720 с.

## Сведения об авторах:

**Орехова Юлианна Александровна**, Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П. Королева, аспирантка кафедры «Техническая кибернетика». Область научных интересов: математическое моделирование в дифракционной оптике, вычислительная электродинамика.

**Моисеев Олег Юрьевич**, Институт систем обработки изображений РАН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Область научных интересов: технологии формирования поверхностных микроструктур, фотолитография, термохимическая запись.

**Головашкин Дмитрий Львович**, Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П. Королева, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Прикладная математика». Область научных интересов: дифракционная оптика, теория разностных схем, параллельные и векторные вычисления.