Relación de Comunicaciones

VIII REUNIÓN NACIONAL de ÓPTICA

Alicante, Septiembre 2006

Patrocinado por:

ALICANTE

BFi OPTiLAS an Avnet Company

FEDEROPTICOS Piensa en tus ojos

GENERALITAT VALENCIANA

INSTITUTO VARILUX visión de excelencia

LASER Technology

lasing, s.a.

MICOS IBERIA

mua

MULTIOPTICAS Nº1 EN SERVICIOS ÓPTICOS

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA

GLS Greenlight Solutions

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

MÉTODO DE LA MATRIZ DE RED PARA DESCRIBIR REDES DE DIFRACCIÓN DE VOLUMEN

Cristian Neipp López[(1)], Antonio Hernández[(1)], Andrés Márquez[(1)], Carolina Pascual[(1)], Mariela Álvarez[(1)], Inma Pascual[(1)], Augusto Beléndez[(1)]

Universidad de Alicante[(1)]

1. Introducción

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en la teoría de Holografía de Volumen es el análisis detallado de la interacción de la radiación electromagnética con medios periódicos. En esta línea se han propuesto diferentes modelos teóricos que describen con precisión el comportamiento de redes de difracción, y que posteriormente han sido generalizados al estudio de sistemas periódicos más complejos. El interés que posee el estudio riguroso de redes de difracción se debe a que ésta es la estructura periódica más sencilla que se puede registrar en un material fotosensible. Por ello, el principal objeto de estudio en la teoría de Holografía de Volumen es describir con la mayor exactitud posible este tipo de estructuras [1].

Una de las teorías más populares y predictivas para calcular los rendimientos de los órdenes que se propagan en el interior de una red de difracción es la Teoría de Ondas Acopladas de Kogelnik [2]. La popularidad de este modelo se debe a que, a pesar de que no constituye un tratamiento excesivamente complejo desde el punto de vista matemático, predice de forma precisa el rendimiento en difracción de los órdenes cero y –1 para redes de difracción de volumen y fase. Bien es cierto que el grado de validez de la teoría decrece cuando, o bien el espesor es bajo, o cuando se registran patrones sobremodulados (altos valores de modulación del índice de refracción). En estos casos es necesario aplicar la teoría de Ondas Acopladas (OA), que permite tener en cuenta más de dos órdenes o la teoría Rigurosa de Ondas Acopladas (ROA) [3], que no desprecia las segundas derivadas en las ecuaciones de onda acopladas, como sí lo hace la teoría OA.

Uno de los aspectos más importantes que se debe tener en cuenta cuando se aplican los métodos de Ondas Acopladas y la Teoría de Kogelnik, es el hecho de que en estas aproximaciones se desprecian las derivadas segundas en las ecuaciones de ondas acopladas. Esto afecta de dos maneras la precisión de los dos modelos mencionados. Por un lado, despreciar las segundas derivadas implica la presunción de que existe poco acoplamiento entre los diferentes órdenes en el interior del medio. Por otro, el no tener en cuenta las derivadas segundas supone la eliminación de las condiciones de frontera. Este último hecho implica que mientras no se utilice la teoría ROA, sólo se pueden obtener las amplitudes en el interior del medio. Por ello es necesario calcular las eficiencias de los diferentes órdenes en el medio y posteriormente corregir estos valores mediante los coeficientes de Fresnel, para incluir el efecto de las reflexiones internas que se producen en las superficies de separación que limitan los diferentes medios. Aunque las estrategia descrita ha demostrado ser lo suficientemente precisa, cuando se analizan redes de difracción sinusoidales, creemos que el hecho de tener en cuenta las reflexiones de Fresnel sugiere la existencia de múltiples reflexiones de los diferentes órdenes según un patrón Fabry-Perot.

En este trabajo se propone utilizar la descripción del método de la matriz de red (MMR) de una red de difracción, cuyos coeficientes se calculan utilizando la teoría de ondas acopladas de Kogelnik. Este tratamiento permite corregir las eficiencias de los diferentes órdenes en el interior del medio periódico teniendo en cuenta las múltiples reflexiones en la frontera. Se comprobará cómo esta estrategia de corrección predice la existencia de órdenes reflejados, como lo hace la teoría ROA.

2. Matriz de Red para una red de difracción por transmisión de volumen

Para empezar se obtendrá la matriz de red de una red de difracción por transmisión de volumen con franjas no inclinadas aplicando la Teoría de Ondas Acopladas de Kogelnik. Se supondrá que sólo dos órdenes se propagan en el interior del medio periódico, el órden 0, *R*, y el órden –1, *S*. Si se resuelven las ecuaciones de ondas acopladas obtenidas por Kogelnik para las amplitudes de los órdenes transmitido, *R*, y difractado, *S*, en caso de polarización TE bajo condiciones de contorno más generales:

$$R(0) = R_0 \tag{1}$$

$$S(0) = S_0 \tag{2}$$

se comprueba cómo las amplitudes, *R* y *S* se puden obtener en cualquier punto del holograma, z, en función de los parámetros iniciales. Si se define el vector U(z) como:

$$\mathrm{U}(z) = \begin{bmatrix} R(z) \\ S(z) \end{bmatrix} \tag{3}$$

U(*z*) se puede expresar en términos de U(0) según:

$$\mathrm{U}(z) = \mathrm{M}(z)\mathrm{U}(0) \tag{4}$$

donde

$$\mathrm{M}(z) = \begin{bmatrix} m_{11}(z) & m_{12}(z) \\ m_{22}(z) & m_{21}(z) \end{bmatrix} \tag{5}$$

siendo:

$$m_{11}(z) = \frac{1}{c_R(\gamma_1 - \gamma_2)}\left[(c_R\gamma_1 + \alpha)\exp(\gamma_2 z) - (c_R\gamma_2 + \alpha)\exp(\gamma_1 z)\right] \tag{6}$$

$$m_{12}(z) = \frac{j\kappa}{c_R(\gamma_1 - \gamma_2)}\left[\exp(\gamma_2 z) - \exp(\gamma_1 z)\right] \tag{7}$$

$$m_{21}(z) = \frac{j\kappa}{c_S(\gamma_1 - \gamma_2)}\left[\exp(\gamma_2 z) - \exp(\gamma_1 z)\right] \tag{8}$$

$$m_{22}(z) = \frac{1}{c_S(\gamma_1 - \gamma_2)}\left[(c_S\gamma_1 + \alpha + j\vartheta)\exp(\gamma_2 z) - (c_S\gamma_2 + \alpha + j\vartheta)\exp(\gamma_1 z)\right] \tag{9}$$

Habiéndose retenido las definiciones de la referencia [2].

Por tanto el problema de encontrar las soluciones de los rendimientos de los órdenes transmitido y difractado para la red de difracción por transmisión se ha convertido en obtener la matriz de red, M, de la red de difracción.

Demostraremos ahora cómo este método permite describir la existencia de múltiples reflexiones en el interior de la red de difracción. En la figura 1 se muestra el rendimiento en difracción del órden –1 reflejado para una red de difracción sinusoidal cuyo índice de refracción promedio es de $n_g = 1.61$, mientras que el índice de refracción del substrato de vidrio es $n_s = 1.54$. La longitud de onda de la onda incidente plana se fijó en □ = 0.633 nm. Finalmente se suposo que la red de difracción tenía una frecuencia espacial de 1000 lines/mm y una modulación del índice de refracción de 0.005. Como se observa la evolución del rendimiento en difracción del órden –1 reflejado en función del espesor es similar en ambos casos. Las diferencias en relación a la cantidad de energía entre los dos métodos se debe al hecho de que en el método MMR sólo se han considerado 3 órdenes, mientras que en el método ROA se han supuesto 7 órdenes propegándose en el holograma.

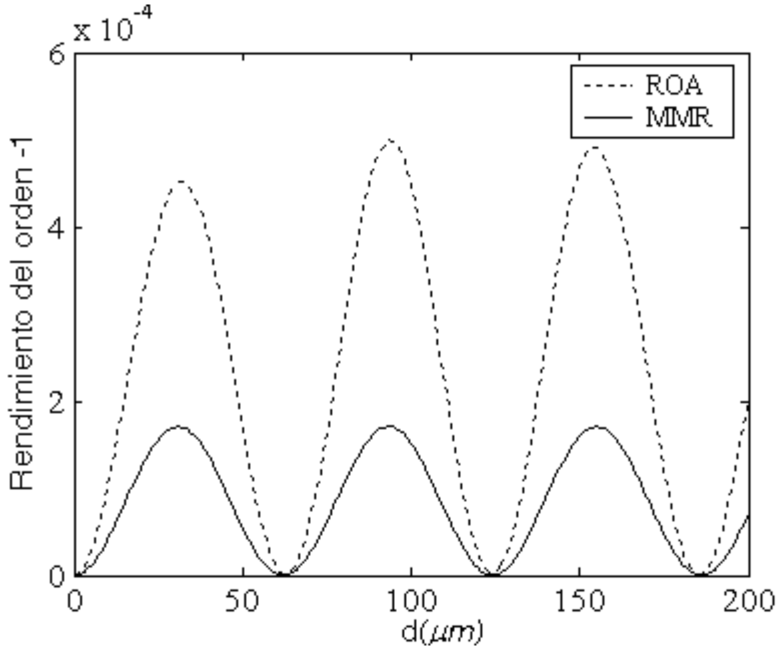

Figura 1. Rendimiento en difracción del órden –1 reflejado en función del espesor para una red de difracción

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con el apoyo del Ministerio de Ciencia y Tecnología por medio de los proyectos FIS2005-05881-C02-02 y FIS2005-05881-C02-01.

Referencias

[1] L. Solymar, D. J. Cooke, *Volume Holography and Volume Gratings*, Academic, London, 1981.

[2] Kogelnik, H., Bell Syst. Tech. J. **48** (2909-2947), 1969.

[3] Moharam, M. G., Gaylord, T. K., J. Opt. Soc. Am. **71** (811-818), 1981.