

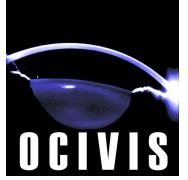


Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

# Elementos de fase multifocales y de foco extenso programables en pantallas de cristal líquido TN-LCD

Julían Espinosa, David Mas, Jorge Pérez, Carmen Vázquez, Carlos Illueca, Juan José Miret, Consuelo Hernández, Begoña Domenech

Grupo de Óptica y Ciencias de la Visión ( www.ocivis.net )  
Dpto. de Óptica, Farmacología y Anatomía. Universidad de Alicante



**Líneas de Investigación:** Estudio y diseño de elementos ópticos oftálmicos externos e internos. Análisis de la calidad óptica de imágenes. Técnicas no invasivas de medida de parámetros oculares. Cálculo numérico de patrones de luz a diferentes distancias. Métodos ópticos de análisis de superficies.

(\*) julian.espinosa@ua.es

## RESUMEN

En este trabajo se presenta la propuesta, estudio teórico y desarrollo experimental de nuevas máscaras de fase (MPM) implementables en tiempo real sobre pantallas de cristal líquido en fase nemática (o de posible fabricación en lentes oftálmicas convencionales). Dichos elementos proporcionan un número de focos a elección (con un límite superior en dicho número determinado teóricamente) entre dos posiciones fijas o una gran profundidad de campo. Las aplicaciones de este tipo de elementos pueden ser diversas, desde su utilización en el campo oftalmológico como lentes intraoculares multifocales correctoras de ametropías esféricas y presbicia a su utilización en técnicas de superresolución axial.

## PROPUESTA Y ESTUDIO TEÓRICO

Los elementos propuestos se modelizan considerándolos compuestos por  $n$  zonas, en forma de anillo, caracterizando cada una de las  $m$ -zonas por su potencia,  $P_m$  y por sus distancias radiales límite,  $a_{m-1}$  y  $a_m$ . Una elección sencilla para la función de potencias,  $P_m$  consiste en tomar una relación de recurrencia de la forma:

$$P_m = P_1 - \frac{m-1}{n-1}(P_1 - P_n)$$

Considerando que la lámina modificadora de fase tiene forma circular de diámetro  $2R_p$ , se han escogido los anillos tal que su área,  $S_m$  puede aumentar a medida que nos alejamos del centro, de manera inversamente proporcional a la diferencia de potencias entre dicha zona y la anterior,

$$S_m = S_{m-1} + h \frac{\pi}{P_{m-1} - P_m}; S_m = \pi(a_m^2 - a_{m-1}^2); m \geq 2, h \geq 0$$

La evaluación teórica de la integral de difracción, proporciona la distribución axial:

$$U^{ax}(z) = \frac{2\lambda_0 \pi}{j\lambda z} \sum_{m=1}^n A_m \frac{1}{b_m} \text{sinc} \left\{ \frac{1}{b_m} \left( \frac{\lambda_0}{z\lambda} - P_m \right) \right\} \exp \left\{ j \frac{\pi}{2\lambda_0} \left( \frac{\lambda_0}{z\lambda} - P_m \right) \left( \frac{(2m-1)R_p^2}{n} - h \frac{(n-1)[2mn+2m-2n-2m^2-1]}{2(P_1-P_n)} \right) \right\}$$

siendo:

$$b_m = \frac{2\lambda_0}{\left( \frac{R_p^2}{n} - h \frac{(n-1)(n-2m+1)}{2(P_1-P_n)} \right)}$$

Puede determinarse la existencia de un límite teórico tanto para el parámetro de modulación de área,  $h$ , como para el número de focos,  $n$ :

$$h \leq \frac{2(P_1 - P_n)R_p^2}{n(n-1)^2} = h_c \quad \frac{P_1 - P_n}{2\lambda_0(n-1)} \geq \frac{1}{\frac{R_p^2}{n} - h} + \frac{1}{\frac{R_p^2}{n} - h} \frac{(n^2 - 1)}{2(P_1 - P_n)}$$

En Fig. 1 se muestran los valores máximos de intensidad en los planos focales para máscaras con  $\lambda_0=555$  nm,  $R_p=3.5$  mm,  $P_1=1/20$  mm<sup>-1</sup>,  $P_n=1/25$  mm<sup>-1</sup>,  $h=0$ . La condición anterior limita el número de zonas a un máximo de 8, tal y como se muestra.

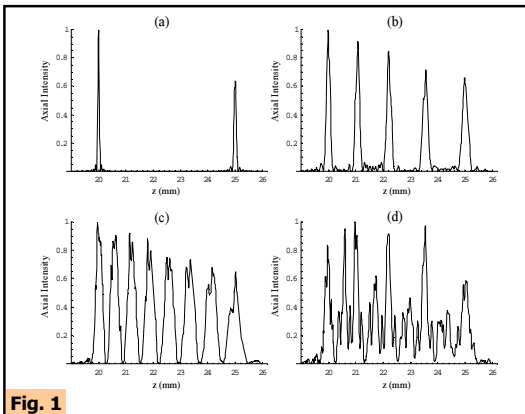


Fig. 1

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos: FIS2005-05053 del Ministerio de Educación y Ciencia y GRE07-7P del Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad de Alicante.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se han implementado (Fig. 2) los elementos propuestos en un TN-LCD, CRL-Opto (XGA3), cuya resolución es de 1024 x 768 pixels, y de tamaño de pixel 18x18  $\mu\text{m}^2$ . En la parte superior derecha de la figura se muestra una máscara pura de fase implementada con  $n=4$ ,  $h=h_c/1.8$ ,  $R_p=6.95$  mm,  $P_1=1.82$  D y  $P_n=0.40$  D.

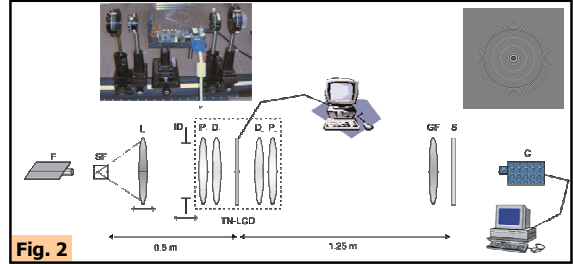


Fig. 2

En Fig. 3 (a) se muestran las distribuciones de luz teóricas cuando se utiliza la máscara de cuatro zonas. En Fig. 3(b) se ven las distribuciones de intensidad luminosa obtenidas experimentalmente (obsérvese la buena correlación teórico-experimental) en los planos focales correspondientes.

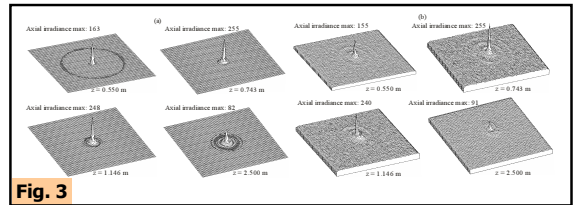


Fig. 3

También se ha estudiado el efecto que sobre las distribuciones de luz tiene del factor de modulación de área, encontrando que es posible cambiar a voluntad la intensidad máxima relativa de los focos. En las figuras 4 (a) y (b) se muestran los resultados teóricos y experimentales obtenidos para una máscara, de cuatro zonas, similar a la usada en Fig. 3 pero usando  $h=h_c$ . Obsérvese como desaparece uno de los focos.

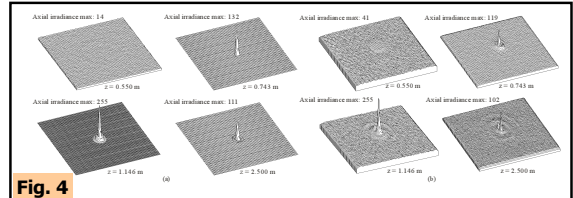


Fig. 4

Para un gran número de anillos, la distribución tiende a formar una sucesión continua de máximos. Por lo tanto, estos elementos podrían ser utilizados para producir muy alta profundidad focal. En Fig. 5 se presenta la distribución de intensidad axial para los mismos parámetros que en Fig. 1 salvo  $n=1000$  y  $h=h_c/3$ . Puede observarse que la intensidad de la luz se mantiene estable de 20 a 30 mm, proporcionando una profundidad focal de 16,7 D.

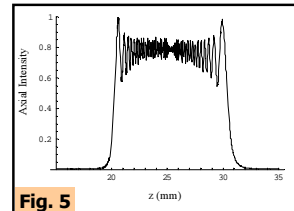


Fig. 5

## CONCLUSIONES

En este trabajo se han propuesto y estudiado nuevas máscaras multifocales que permiten modular, en tiempo real, la intensidad relativa entre picos. Experimentalmente, utilizando un cristal líquido en fase nemática como modulador de fase, se han conseguido reproducido los resultados teóricos.

## REFERENCIAS

1. D. Mas, J. Pérez, C. Hernández, C. Vázquez, J. J. Miret, C. Illueca, "Fast numerical calculation of Fresnel patterns in convergent systems", Opt. Commun. 227, 245-258, (2003).
2. J. Perez, J. Espinosa, C. Illueca, C. Vázquez, I. Moreno, "Real time modulable multifocality through annular optical elements", Opt. Express, 16, 5095-5016 (2008).