

Diseño de un interconector óptico GRIN reconfigurable

Design of reconfigurable GRIN planar optical interconnects

M. Teresa Flores-Arias^(*), Carmen Bao-Varela, Daniel Nieto, M. Victoria Pérez,
Carlos Gómez-Reino^(S)

Departamento de Física Aplicada, Área de Óptica. Facultad de Física. Campus Sur s/n. Universidad de Santiago de Compostela. 15782 Santiago de Compostela. España.

^(*) Email: maite.flores@usc.es

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Recibido / Received: 30/11/2009. Versión revisada / Revised version: 21/01/2010. Aceptado / Accepted: 17/02/2010

RESUMEN:

Se presenta el diseño de estructuras planas GRIN (GRADIENTE INDICE) reconfigurables para interconexiones planas y cruzadas. El análisis óptico se basa en las propiedades de imagen múltiple en eje y fuera de eje de los componentes GRIN. El análisis incluye el estudio de la Función respuesta de impulso (PSF) y la evaluación del Producto Anchura de Banda Espacio (SBP). Se estudia la dependencia del número de canales con la longitud de onda de la luz y con la apertura del interconector plano.

Palabras clave: Lentes GRIN, Interconexiones Ópticas.

ABSTRACT:

The design of all-optics reconfigurable GRIN (Gradient-Index) planar structure for crossover and parallel interconnects is presented. The optical analysis is based on-axis and off-axis multiple imaging property of GRIN components. The analysis includes the study of the Point Spread Function (PSF) and the evaluation of the Space Bandwidth Product (SBP). The dependence of the number of channels on the wavelength of the light and the aperture of the planar interconnect is shown.

Key words: GRIN Lens, Optical Interconnects.

REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] J. Jahns, A. Huang, "Planar integration of free-space optical components", *Appl. Opt.* **28**, 1602-1605 (1989).
 - [2] S. H. Song, E. H. Lee C. D. Carey, D. R. Selviah, J. E. Midwinter, "Planar optical implementation of crossover interconnects", *Opt. Lett.* **17**, 1253-1255 (1992).
 - [3] B. Acklin, J. Jahns, "Packaging considerations for planar optical interconnections systems", *Appl. Opt.* **33**, 1391-1397 (1994).
 - [4] A. Goulet, M. Naruse, M. Ishikawa, "Simple integration technique to realize parallel optical interconnects: implementation of a plugable 2-D optical data link", *Appl. Opt.* **41**, 5538-5551 (2002).
 - [5] M. T. Flores-Arias, C. Bao, A. Castelo, M. V. Pérez, C. Gómez-Reino, "Crossover interconnects in gradient-index planar optics", *Opt. Commun.* **266**, 490-494 (2006).
 - [6] C. Gómez-Reino, M. V. Pérez, C. Bao, M. T. Flores-Arias, "Design of GRIN optical components for coupling and interconnects", *Laser Photonics Rev.* **2**, 203-215 (2008).
-

1. Introducción

La óptica planar es un concepto para la microintegración de componentes difractivos y/o refractivos sobre superficies de substratos de vidrio de manera robusta y compacta. La luz viaja de un elemento a otro dentro del substrato homogéneo, a lo largo de caminos plegados por reflexión en las superficies del substrato. La interconexión óptica es una aplicación importante de los sistemas planares integrados y mediante la formación de imagen en eje y fuera de eje de estos sistemas se puede implementar la interconexión óptica paralela y/o cruzada [1-4]. Para interconexiones ópticas el sistema planar debe tener un alto SBP (producto espacio/anchura de banda) que estima el número de canales espaciales que puede soportar el substrato para este fin. Sin embargo, los sistemas planares inhomogéneos (GRIN) se pueden usar para realizar la operación de formación de imagen sin integrar microcomponentes sobre los substratos teniendo en cuenta la capacidad inherente de formación de imagen y transformada debido a la naturaleza GRIN de dichos sistemas. El trabajo trata sobre una estructura planar GRIN que se aplica a la interconexión paralela y cruzada para el diseño de una configuración básica de interconexión óptica reconfigurable.

2. Estructura planar GRIN

Como prototipo para el diseño de interconexiones en óptica planar consideramos un substrato GRIN

con una variación parabólica del índice de refracción, limitado por una superficie plana, que tiene la forma de un semicilindro que se puede fabricar cortando una lente selfoc a lo largo del eje longitudinal (Fig. 1). Para esta estructura, todo objeto (fuente luminosa) localizado en un punto sobre la superficie plana del substrato, se reproduce de forma secuencial sobre la superficie. Se tiene una imagen múltiple secuencial con inversión espacial entre imágenes sucesivas y del mismo tamaño que el objeto.

La Fig. 1a muestra la trayectoria de los rayos para la formación de imagen en óptica GRIN planar. En la figura 1b, se puede ver el interconector óptico en el que cada parte del substrato de longitud π/g , siendo g el parámetro de gradiente del índice de refracción, actúa como una lente refractiva. Por tanto, una señal de entrada colocada sobre la superficie de la estructura planar GRIN da lugar a una imagen múltiple secuencial sin la necesidad de integrar lentes sobre las superficies del substrato cuando éste es homogéneo. La Fig. 2 muestra tres fotografías de la formación de imagen en lentes selfoc semicilíndricas. La configuración GRIN se hizo usando 4 lentes selfoc de 0.25 pitch. El diámetro y longitud de cada lente es de 2 mm y 5.17 cm, respectivamente. El parámetro de gradiente es 0.304 mm^{-1} . Las 4 lentes están embebidas en un bloque de vidrio, se cementaron con epoxy y luego se pulieron hasta obtener una configuración semicilíndrica.

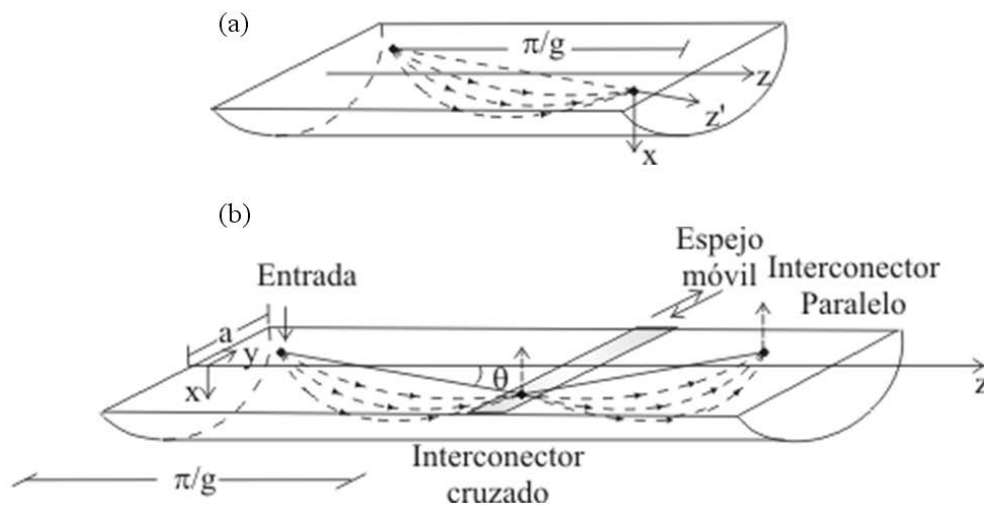


Fig. 1. (a) Trayectoria de rayos en un substrato planar GRIN y (b) interconector óptico reconfigurable.

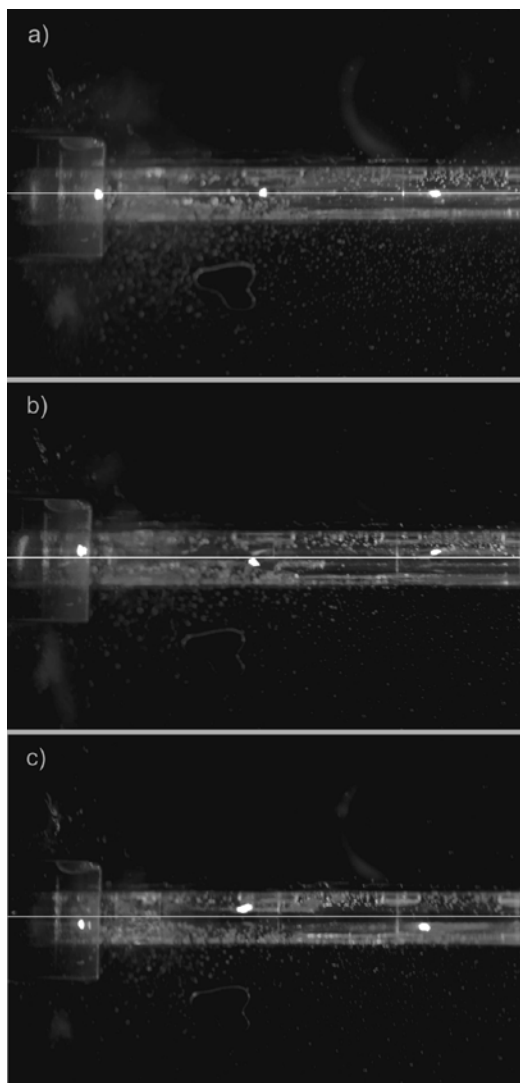


Fig. 2. Fotografías de la formación múltiple de imagen en lentes selfoc semicilíndricas: a) en eje, b) y c) fuera de eje.

Un láser de He-Ne emitiendo en 632.8 nm se acopló a la estructura GRIN mediante un prisma óptico de ángulo recto. La figura 2a muestra imagen múltiple a lo largo del eje y en las figuras 2b y 2c se observa la formación de imagen fuera de eje. Las imágenes sucesivas se desplazan hacia arriba y abajo del eje con aumento unidad debido a la inversión espacial que existe entre imágenes sucesivas. La imagen múltiple en la estructura planar GRIN ofrece la posibilidad de la implementación sencilla de interconectores ópticos cruzados y paralelos. La secuencia de interconexión cruzada/paralela se repite a lo largo del sustrato y la primera etapa de la configuración de red sirve como una interconexión cruzada y la segunda etapa suministra la interconexión paralela y se puede implementar ópticamente, por ejemplo, colocando

un espejo que se mueve transversalmente en las puertas de salida de la primera etapa con el fin de reflejar las imágenes hacia las puertas de salida de la segunda etapa dotando de reconfigurabilidad al componente planar fotónico (ver Fig. 1b). Por tanto, si la idea de la formación de imagen en óptica GRIN planar se extiende a interconexiones ópticas, la estructura GRIN de la Fig. 1 se puede aplicar al diseño de interconexiones ópticas cruzadas y paralelas de aumento unidad.

3. Producto espacio/anchura de banda: resultados

El número de canales espaciales que puede implementarse en interconexiones paralelas y cruzadas con una estructura planar GRIN viene dada por la figura de mérito conocida como producto espacio/anchura de banda (SBP) y está limitada por la difracción que determina el mínimo tamaño de los píxeles de la señal. El SBP óptimo vendrá dado por el máximo número de píxeles que son transformados por el sistema planar y se expresa por el producto del número máximo de *spots* resolubles N_y y N_z en las dos dimensiones del sistema planar [5,6], esto es

$$SBP^{opt} = N_y^{max} N_z^{max} = \left(\frac{\pi n_0 a}{\lambda \sqrt{\pi^2 + (2ag)^2}} \right)^2, \quad (1)$$

donde $2a$ es el tamaño transversal del sustrato GRIN, λ la longitud de onda de trabajo y n_0 el índice de refracción a lo largo del eje del sustrato siendo

$$N_y^{max} = \frac{2n_0 g a^2}{\lambda \sqrt{\pi^2 + (2ag)^2}}, \quad (2)$$

$$N_z^{max} = \frac{\pi^2 n_0}{2g \lambda \sqrt{\pi^2 + (2ag)^2}}. \quad (3)$$

En las ecuaciones (2) y (3) existe una dependencia explícita de la longitud de onda así como una dependencia implícita a través del índice de refracción n_0 y del parámetro de gradiente g . La dependencia del interconector planar GRIN con la longitud de onda es de vital importancia ya que obedeciendo a las ventanas de las comunicaciones ópticas, la longitud de onda de trabajo puede variar. Dos efectos son reseñables: primero, un cambio en la longitud de onda significa una escala diferente de

difracción y por tanto diferente SBP. El segundo efecto es la variación de la longitud del interconector planar ya que el periodo π/g de las trayectorias de los rayos dentro del substrato GRIN tiene dependencia con la longitud de onda.

La Fig. 3 representa el máximo número de canales espaciales que puede soportar un interconector GRIN en la dirección transversal en función del tamaño del interconector y de la longitud de onda. Los resultados se dan para cinco longitudes de onda de trabajo del diodo láser (LD) y para cuatro aperturas del interconector óptico. Para una longitud de onda dada, el número de canales aumenta con $2a$ y, al contrario, para una apertura dada el número de canales decrece con la longitud de onda. Un montaje para obtener un alto número de canales por mm de apertura transversal del interconector se podría realizar acoplando una matriz lineal de microlentes a un array lineal de fibras.

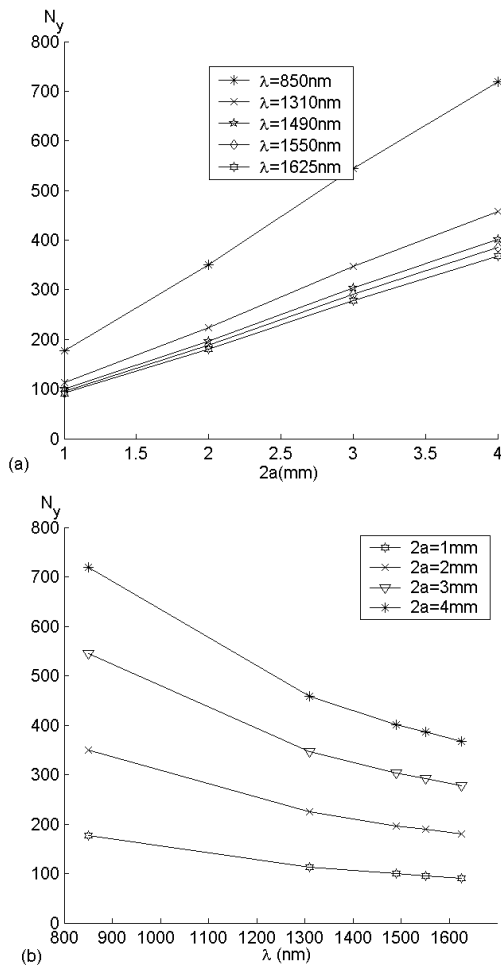


Fig. 3. Número máximo de canales en la dirección y en función de a) longitud de onda y b) apertura transversal.

4. Conclusiones

Se ha presentado el diseño de un componente fotónico planar para interconexión en sistemas de comunicaciones ópticas basado en la capacidad inherente de formación de imagen de los materiales GRIN. Un sistema óptico planar GRIN con variación radial parabólica del perfil de índice de refracción sirve para interconexión paralela y cruzada. Se ha utilizado el producto espacio-anchura de banda (SBP) como figura de mérito, para determinar el número de canales que puede soportar un interconector GRIN y se ha mostrado la dependencia de este número de canales con la longitud de onda de trabajo y el tamaño del interconector.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por la Consellería de Innovación, Industria e Comercio, Xunta de Galicia, proyecto PGDIT05TIC20601 PR y por el Ministerio de Educación y Ciencia a través de los proyectos TEC2006-10469 e INCITE08-PX1B206013PR.