

FABRICACION Y CARACTERIZACION DE GUIAS OPTICAS INTEGRADAS SOBRE SUBSTRATOS DE SILICIO

J. Roca¹, L. Torner¹, R. Alcubilla² y J. Calderer²

¹ Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions

² Departament d'Enginyeria Electrònica

Universitat Politècnica de Catalunya. Apt. 30002. 08080 Barcelona

Abstract

Silicon nitride (Si_3N_4) planar optical waveguides have been successfully grown by low-pressure chemical vapor deposition (LPCVD). Silicon p-type wafers with a (100) orientation were used as substrates, and the Si_3N_4 was separated from the lossy Si substrate by a thermally grown SiO_2 thin film.

Introducción

El diseño e implementación de dispositivos ópticos integrados sobre sustratos de silicio constituye un campo del máximo interés, debido a las altas posibilidades de integración monolítica que ofrece, en el marco de una tecnología muy bien conocida. Para una revisión véase, por ejemplo, el reciente trabajo de Kawachi [1].

El elemento esencial de un chip óptico es la guía de onda que confina la señal que se va a procesar. Hasta la fecha han sido demostrados diversos procedimientos de fabricación de guías de onda ópticas sobre sustratos de silicio, y se han obtenido estructuras con unas pérdidas de propagación muy pequeñas. La mayoría de los materiales utilizados en la fabricación de las regiones guías son amorfos (SiO_2 - TiO_2 , Si_3N_4 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5). Las pérdidas de propagación menores han sido obtenidas en capas delgadas de Si_3N_4 (≈ 0.1 dB/cm, $\lambda=632.8$ nm) [2] y de ZnO policristalino (1.0 - 0.01 dB/cm, $\lambda=632.8$ nm) [3]. Otra característica muy atractiva de las guías ópticas basadas en silicio proviene de los valores extremadamente pequeños de las pérdidas de inserción fibra-guía (≈ 0.01 dB) que han sido alcanzados [4].

En esta comunicación se presentan los resultados obtenidos en la fabricación y caracterización de guías ópticas planas de Si_3N_4 sobre substratos de Si. Los resultados que aquí se presentan corresponden básicamente al procedimiento de fabricación de las guías, por lo que deben entenderse como preliminares.

Fabricación

En este trabajo se han utilizado obleas de Si tipo p dopado con Boro, resistividad $1 \Omega\text{-cm}$, de 2" de diámetro y orientación (100). Debido a que, en el espectro visible, el silicio posee un índice de refracción muy elevado y, por otra parte, presenta unas pérdidas por absorción muy grandes ($n \simeq 3.85(1 - j 0.02)$, a $\lambda = 632.8 \text{ nm}$), es necesario aislar el substrato de Si de la capa guiante de nitruro. Por este motivo, en primer lugar se ha crecido una capa de SiO_2 encima del silicio, mediante oxidación térmica en un horno convencional a $1100 \text{ }^\circ\text{C}$.

El procedimiento utilizado consta básicamente de cinco partes: 1) rampa de calentamiento, 5 min; 2) oxidación seca, 10 min; 3) oxidación húmeda; 4) oxidación seca, 10 min; 5) rampa de enfriamiento, 5 min. En la fase de oxidación húmeda el O_2 que se introduce en el horno pasa previamente a través de un matraz de H_2O calentado a $90 \text{ }^\circ\text{C}$. La duración de la fase de oxidación húmeda es la que determina el grosor final de la capa de óxido.

El crecimiento de las capas de óxido de silicio ha sido llevado a cabo con cuatro familias de obleas (O1-O4), con diferentes tiempos de proceso: 95, 140, 200 y 300 minutos, que corresponden aproximadamente a unos grosores esperados de las capas de SiO_2 de 0.8, 1.0, 1.2 y 1.4 μm , respectivamente. Cada familia consta de tres obleas. Dos de las obleas se utilizan en el proceso posterior de crecimiento de Si_3N_4 , y la tercera es una oblea testigo, que se utiliza para medir el grosor y el índice de refracción de las capas de SiO_2 obtenidas.

Encima del óxido se ha depositado una capa de Si_3N_4 mediante LPCVD (*Low-Pressure Chemical Vapor-Deposition*), en el Centro Nacional de Microelectrónica de Bellaterra (Barcelona). El proceso se ha llevado a cabo para diez obleas: dos muestras de cada una de las familias O1-O4, y dos muestras testigo, que constituyen la familia O5, en las que no se había crecido previamente la capa de óxido de silicio. El grosor estimado de la capa de nitruro es de 0.43 μm . Se ha ensayado también un procedimiento alternativo de crecimiento de las capas de nitruro basado en la técnica de sputtering de RF, en un *Leybold-Heareus Z-400*, del Laboratorio de Estado Sólido de la UPC.

El esquema del procedimiento de fabricación se muestra en la Figura 1.

Caracterización

Los índices de refracción y los grosores de las capas de SiO_2 y Si_3N_4 han sido determinados a partir de medidas de espectrofotometría y de microscopía electrónica de barrido, respectivamente. Las medidas de espectrofotometría se han llevado a cabo mediante el espectrómetro de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) *BOMEM DA-3*, para valores del número de onda en el infrarrojo cercano ($4000\text{-}12000\text{ cm}^{-1}$). El índice de refracción se determina mediante un procedimiento del tipo de Abelès [5]. Se trata de un método interferencial que consiste en la medida simultánea de la reflectancia (o la transmitancia) de la capa a estudiar y del sustrato.

Resultados

Los resultados experimentales de la reflectancia que se han obtenido para una muestra testigo de la familia O1 se muestran en la Figura 2, junto con las curvas calculadas teóricamente con los valores del grosor y el índice de refracción convenientes. Debido a que en este tipo de medidas sólo es importante la separación entre los máximos y mínimos de la reflectancia en función del número de onda, y no el valor absoluto de la misma, las curvas calculadas teóricamente no están normalizadas al mismo valor que las medidas experimentales, por lo que aparecen decaladas una respecto a la otra.

La Figura 3 es una fotografía de una muestra de la familia O1 obtenida mediante el microscopio electrónico de barrido. La región sombreada que aparece con un tono más oscuro corresponde a la capa de óxido de silicio. La región con un sombreado más tenue, que en la fotografía aparece a la izquierda de la capa de SiO_2 , corresponde a la capa de nitruro. La poca nitidez de la separación entre las capas proviene del proceso de adquisición de la fotografía.

Las propiedades de guiado de las muestras obtenidas han sido investigadas a partir de la propagación de los modos TE y TM, soportados por las mismas, utilizando como fuente de radiación un laser de He-Ne. La luz ha sido acoplada a las guías mediante un prisma de rutilo y la adquisición de las imágenes que muestran la propagación del haz dentro de las muestras ha sido efectuada mediante una cámara Vidicon.

Conclusiones

En este trabajo se ha investigado el proceso de fabricación de guías ópticas planas de Si_3N_4 , a partir de LPCVD en sustratos de silicio separados del nitruro mediante una capa de SiO_2 . La propagación guiada dentro de las guías ha sido demostrada para las dos polarizaciones TE-TM. Los resultados obtenidos hasta la fecha sugieren una buena calidad óptica de las guías, en cuando a las pérdidas por absorción y scattering. La posibilidad de fabricación de guías bidimensionales, mediante la utilización de las máscaras convenientes, se está estudiando en la actualidad.

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación subvencionado por la CIRIT, de la Generalitat de Catalunya. Los autores expresan también su agradecimiento al Dr. E. Figueras del Centro Nacional de Microelectrónica de Bellaterra, y a los Drs. A. Cornet y J. Samitier del Departamento de Física Aplicada y Electrónica de la Universidad de Barcelona, por las facilidades disfrutadas en la utilización de las herramientas experimentales necesarias para la realización del proceso de LPCVD, y las medidas de espectrofotometría y microscopía electrónica de barrido, respectivamente.

Referencias

- [1] M. Kawachi, *Silica Waveguides on Silicon and their Application to Integrated-Optic Components*. Opt. Quantum Electron., **22** (1990) 391-416.
- [2] W. Stutius and W. Streifer, *Silicon Nitride Films on Silicon for Optical Waveguides*. Appl. Opt., **16** (1977) 3218-3222.
- [3] F.S. Hickernell, *Optical Waveguides on Silicon*. Solid State Technol., **31** (1988) 83-88.
- [4] N. Takato, M. Yasu and M. Kawachi, *Low-Loss High-Silica Single Mode Channel Waveguides*. Electron. Lett., **22** (1986) 321-322.
- [5] Véase, por ejemplo: O.S. Heavens, *Optical Properties of Thin Solid Films*, Dover, NY, 1955.

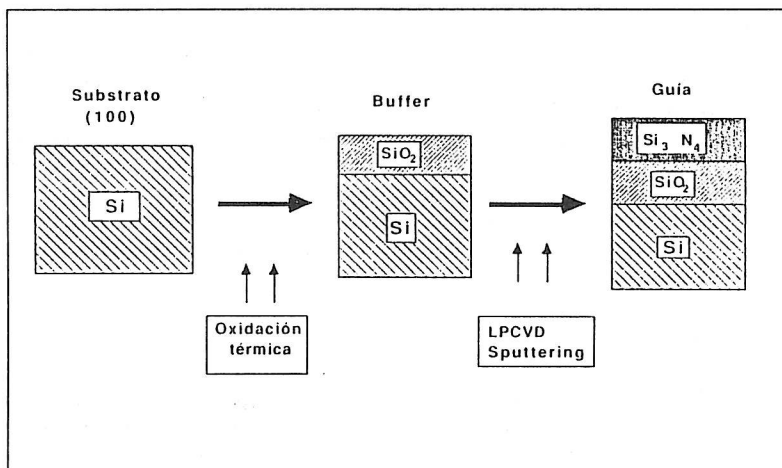


Figura 1: Esquema del proceso de fabricación.

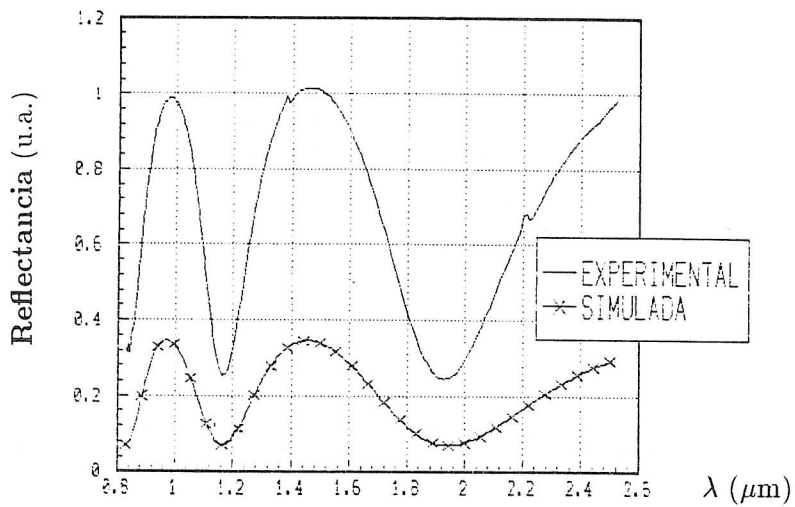


Figura 2: Medidas de la reflectancia (IR). Muestra testigo, familia O4.

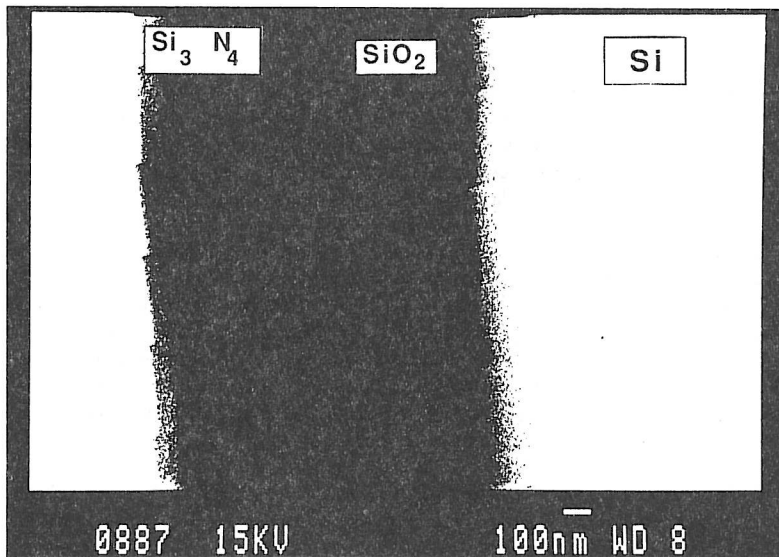


Figura 3: Fotografía de microscopio electrónico de barrido. Muestra O1.