



Doctoral Thesis

Embossed surface relief gratings on planar waveguides as integrated optical switches and gas sensors

Author(s):

Tiefenthaler, Kurt

Publication Date:

1985

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000342900> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No 7744

EMBOSSSED SURFACE RELIEF GRATINGS ON PLANAR WAVEGUIDES
AS INTEGRATED OPTICAL SWITCHES AND GAS SENSORS

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
Kurt Tiefenthaler
diplomierter Physiker ETH
born September 11th, 1955
citizen of Austria

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. W. Lukosz, examiner
Prof. Dr. H.P. Weber, co-examiner

1985

Abstract

We describe a novel embossing technique for fabricating integrated optical components in hard inorganic waveguiding materials of good optical quality. The desired structure is embossed into a dip-coated deformable gel film prepared from commercially available organometallic solutions, i.e. by a sol-gel process. Subsequent heat treatment transforms the waveguiding film into inorganic hard oxide material. The spatial frequencies of the embossed structure are preserved during drying and baking of the gel film. We have successfully fabricated surface relief gratings with a grating line density of 1200 lines/mm on $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ waveguides (with refractive index $n_F \approx 1.8$, thicknesses d_F between 120 nm and 160 nm, and losses < 1 dB/cm).

The embossed surface relief gratings were used as input and output grating couplers and as Bragg reflectors.

We have demonstrated new switching and gas-sensing effects in integrated optics using the embossed gratings as input grating couplers and Bragg reflectors. In the input grating coupler on-off switching of the guided mode is actuated by adsorption or desorption of water or other molecules (e.g., ethanol, acetone) on the surface of a planar $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ waveguide, or inside the volume of the waveguiding film itself. Adsorption (and desorption) increases (and decreases, respectively) the effective refractive index N of the waveguide under the grating and, thus, changes the incoupling efficiency of the grating coupler. Therefore the input grating coupler can be employed

as a sensor of extremely high sensitivity. The sensitivities of the sensor for surface and volume adsorption are derived theoretically. Switching requires the adsorption and desorption, respectively, of only one monolayer of H_2O . For the grating coupler used as a sensor we predict that variations in coverage of $\approx 1/100$ of one H_2O monolayer can be detected.

From measurements of the effective indices of at least two guided modes (preferably at more than one laser wavelength) the two adsorption processes, surface adsorption and volume (ab)sorption, can be distinguished. This is shown for the absorption of water in the porous SiO_2 - TiO_2 waveguides. Thus, a purely optical method permits to differentiate between the two adsorption mechanisms.

Kurzfassung

Es wird eine neuartige Prägetechnik vorgestellt, die es erlaubt, integriert optische Komponenten in harten und widerstandsfähigen anorganischen Materialien herzustellen. Die Schichten weisen eine hohe optische Güte auf und eignen sich deshalb für die Verwendung als Wellenleiter. Die gewünschte Struktur wird in einen gelartigen Film geprägt, der nach einem Tauch-Zieh-Verfahren (Sol-Gel-Prozess) aus organometallischen Lösungen hergestellt wird. Die anschließende Wärmebehandlung transformiert den wellenleitenden Film in eine harte anorganische Oxydschicht, wobei die eingeprägte Struktur, abgesehen von einer gewissen Abnahme der Modulationstiefe aufgrund der Schichtdicken-Schrumpfung, während des Ausheizungsverfahrens erhalten bleibt. Es ist gelungen, mit diesem Prägeverfahren Oberflächenreliefgitter mit einer Gitterperiode von 1200 Linien/mm auf planaren Wellenleitern (Brechzahl $n_F \simeq 1.8$, Schichtdicke $d_F \simeq 120$ nm und Dämpfung $\alpha < 1$ dB/cm) zu erzeugen. Diese Oberflächenreliefgitter haben wir in der integrierten Optik erfolgreich als Ein- und Auskoppler sowie als Bragg-Reflektoren verwendet.

Wir hoffen, dass es mit dieser neuartigen Prägetechnik auch möglich ist, andere integriert optische Komponenten wie Streifenwellenleiter, Verzweigungen, Interferometer etc. herzustellen.

Es sind mit den Gitterkopplern zum ersten Mal folgende neue Schalt- und Gassensor-Effekte beobachtet worden: Adsorption oder Desorption von Wasser oder von anderen Molekülen (z.B. Aethanol,

Azeton) auf der Oberfläche eines planaren $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ Wellenleiters oder im Volumen des wellenleitenden Films selbst bewirken, dass die eingekoppelte geführte Welle ein- bzw. ausgeschaltet wird. Adsorption (bzw. Desorption) verursacht eine Erhöhung (bzw. eine Erniedrigung) der effektiven Brechzahl N der geführten Welle (in der Gitterregion), was eine Änderung des Einkopplungswirkungsgrades des Gitterkopplers zur Folge hat. Der Gitterkoppler kann deshalb als ein Sensor von extrem hoher Empfindlichkeit betrachtet werden.

Im theoretischen Teil der Dissertation werden die Empfindlichkeiten des Sensors für Oberflächenadsorption sowie für Volumenabsorption hergeleitet. Dabei zeigt sich, dass Adsorption (bzw. Desorption) einer einzigen H_2O -Monoschicht ausreicht, um die geführte Welle ein- bzw. auszuschalten. Wird der Gitterkopplersensor in der höchsten Empfindlichkeit betrieben, so können Änderungen in der Oberflächenbelegung von weniger als einem Hundertstel einer Wassermonoschicht noch detektiert werden. Werden die effektiven Brechzahlen (wenigstens) zweier verschiedener Moden gemessen, kann zwischen Oberflächen- und Volumenadsorption unterschieden werden. Es können also mit einer rein optischen Methode die beiden Adsorptionsprozesse voneinander separiert werden.