



Doctoral Thesis

## Optical waveguides with copper film ion-exchange in glass

**Author(s):**

Lehky, Jan Marc

**Publication Date:**

2006

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005203774> →

**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. 16496

# OPTICAL WAVEGUIDES WITH COPPER FILM ION-EXCHANGE IN GLASS

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by

JAN MARC LEHKY

Ing. dipl. en microtechnique EPF

born 24.06.1976  
citizen of Naters (VS)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. W. Bächtold, examiner  
Prof. Dr. B. Witzigmann, co-examiner  
Prof. Dr. J. Špírková, co-examiner

2006

## Abstract

Optical interconnects are expected to complement or even replace electrical interconnects for shorter and shorter distances, as they allow for large data transmission rates as well as very high link densities. An attractive way to implement optical interconnects in modern multiprocessor systems is to integrate an optical waveguide layer into conventional printed circuit boards.

In this thesis, a technology based on copper-film ion-exchange in commercially available glass substrates was developed and proposed for the first time, as a fabrication technology for optical waveguides in the context of optical interconnects. Glass has unprecedented properties that make it the material of choice for many optical applications. It provides minimal optical attenuation and is rugged against a diversity of atmospheric, thermal and mechanical strains. This is crucial for a long-term stability of optical waveguides.

An experimental setup was developed and optical slab waveguides were produced by the electric field-assisted ion-exchange of copper films. These waveguides showed refractive index profiles with a constant index difference, irrespective of process conditions and exhibited an advantageous step-like profile, which could be further steepened by applying a potential also during the cooling phase. The waveguide properties were easily reproduced by the control of the transported electric charge and were largely independent of process temperature and applied potential.

Subsequently, well-defined multimode optical channel waveguides featuring low propagation losses were fabricated by the ion-exchange of copper stripes. Furthermore, functional optical waveguide devices for optical routing and power splitting were realized, thus demonstrating that this technology precisely reproduces defined lines and patterns in the glass.

Copper-film ion-exchange in glass reveals to be a highly promising method for the fabrication of low loss optical waveguides, especially also in the context of optical interconnects, because it is a scalable, industrially compatible and low-cost technology.

## Zusammenfassung

In Zukunft werden elektrische Verbindungen auf immer kürzeren Strecken durch optische ergänzt oder sogar ersetzt, da diese schnellere Datenübertragungsraten sowie hohe Verbindungsdichten ermöglichen. Eine attraktive Möglichkeit optische Verbindungen in moderne Multiprozessorsysteme zu implementieren bietet die Integration von optischen Wellenleitern in konventionelle Leiterplatten.

In der vorliegenden Doktorarbeit wurde eine Technologie, basierend auf dem Ionenaustausch eines Kupferfilms in handelsübliche Glassubstrate, entwickelt und zum ersten Mal als Herstellungstechnologie für optische Wellenleiter, insbesondere im Zusammenhang der optischen Verbindungen, vorgeschlagen. Die herausragenden Eigenschaften von Glas machen es zum Grundmaterial in vielen optischen Anwendungen. Glas weist minimale optische Verluste auf und ist besonders stabil gegenüber einer Vielfalt atmosphärischer, thermischer und mechanischer Belastungen. Solche Eigenschaften sind unabdingbar für die Herstellung von langzeitstabilen optischen Wellenleitern.

Mit dem eigens entwickelten Experimentalbau wurden durch den feldunterstützten Kupferfilm Ionenaustausch zunächst optische Flächenwellenleiter hergestellt und charakterisiert. Die Brechungsindexprofile dieser Wellenleiter wiesen einen konstanten Indexunterschied auf, unabhängig von den Prozessbedingungen, und zeigten einen stufenförmigen Verlauf, welcher, durch das Anlegen einer elektrischen Spannung auch während der Abkühlphase, zusätzlich verstärkt werden konnte. Die Wellenleitereigenschaften konnten ganz einfach durch die Kontrolle der transportierten Ladung reproduziert werden, und waren im Wesentlichen unabhängig von Prozesstemperatur und angelegtem elektrischen Feld.

Anschliessend, konnten durch Ionenaustausch von Kupferstreifen gut definierte, multimodale optische Kanalwellenleiter mit tiefen optischen Verlusten hergestellt werden. Zusätzlich wurden funktionstüchtige optische Komponenten, wie Kreuzungen und Lichtteiler, realisiert. Dadurch wurde gezeigt, dass diese Technologie es ermöglicht feine Strukturen präzise im Glas nachzubilden.

Der Kupferfilm basierte Ionenaustausch hat sich als äusserst viel versprechende Technologie zur Herstellung von verlustarmen optischen Wellenleitern, insbesondere auch im Zusammenhang mit optischen Verbindungen, erwiesen, da diese Technologie skalierbar, preiswert und industriekompatibel ist.