

**Verfahren für die inverse Modellierung  
von Ionenaustauschprozessen für den  
Entwurf optischer Multimode-Wellen-  
leiter in Dünnglasfolien**

**Dudu Zhang**

Forschungsberichte des Lehrstuhls für Theoretische  
Elektrotechnik & Photonik der Universität Siegen

Band 3

**Dudu Zhang**

**Verfahren für die inverse Modellierung von  
Ionenaustauschprozessen für den Entwurf  
optischer Multimode-Wellenleiter in Dünnglasfolien**

Shaker Verlag  
Aachen 2018

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Siegen, Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6269-4

ISSN 1869-3784

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Kurzfassung

Der zunehmende Bandbreitenbedarf sowie steigende Taktraten von Mikroprozessoren erfordern höhere Datenraten und hoch verdichtete Datenkanäle auch über kürzere Distanzen. Für die Datenübertragung auf Leiterplattenebene werden derzeit elektrische Verbindungen verwendet. Deren Leistung bei hohen Datenraten ist signifikant beschränkt durch Dämpfung und Dispersion. Weiterhin führt eine höhere Kanaldichte der elektrischen Verbindungen zu einer verringerten Datenrate.

Im Vergleich zu elektrischen Verbindungen haben optische Verbindungen einige Vorteile, wie zum Beispiel: keine frequenzabhängige Absorption, vergleichsweise geringe optische Absorptionen, höhere Kanaldichte und Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Störungen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, eine Vielzahl der elektrischen Verbindungen durch optische Verbindungen zu ersetzen. Dafür sind elektro-optische Leiterplatten ein vielversprechender Ansatz. Lichtwellenleiterstrukturen können in Dünnglasfolien durch Ionenaustauschprozesse erzeugt werden. Nach dem Einlaminierten in klassische elektrische Leiterplatten können optische Chip-to-Chip Verbindungen auf Leiterplattenebene realisiert werden.

Diese Arbeit fokussiert sich auf die inverse Modellierung von Ionenaustauschprozessen, welche für die Industrie interessant sind. Im Vordergrund steht dabei die Bestimmung der notwendigen Prozessparameter, um Wellenleiter mit vorgegebenen optischen Eigenschaften herstellen zu können. In dieser Arbeit werden zunächst die optischen Eigenschaften eines Glases aus dessen chemischer Zusammensetzung bestimmt. Die Brechungsindexänderung des Glases nach dem  $Ag^+$ - $Na^+$ -Ionenaustausch wird untersucht. Ein Modell zur Beschreibung der maximalen Brechungsindexänderung des Glases nach dem Ionenaustauschprozess wird entwickelt.

Zur Bestimmung der Prozessparameter für erwünschte Diffusionsprofile werden Optimierungsverfahren und Regressionsverfahren verwendet. Bei Verwen-

dung von Optimierungsverfahren wird eine Zielfunktion definiert und minimiert. Die adjungierte Methode wird in einer Ort-Zeit-Domäne zur Herleitung der adjungierten Gleichung einer partiellen Differentialgleichung in Koeffizientenform verwendet. Durch Auswahl der Koeffizienten kann die adjungierte Gleichung auf unterschiedliche Probleme, z.B. Diffusion, angewendet werden. Der Gradient der Zielfunktion kann durch Lösung der Diffusionsgleichung und der entsprechenden adjungierten Gleichung effizient berechnet werden.

Regressionsverfahren werden verwendet, wenn die mathematische Beschreibung des physikalischen Phänomens unbekannt ist. Mit den Datensätzen aus numerischen Experimenten werden Ionenaustauschprozesse durch Polynome und künstliche neuronale Netze modelliert. Die inverse Modellierung erfolgte danach durch die Verwendung einer *Desirability* Funktion. Das Modell eines künstlichen neuronalen Netzes hat eine sehr gute Generalisierungsfähigkeit und Robustheit gegen Rauschen gezeigt.