

Grundlegende Untersuchung des inversen Glasbohrens zur Herstellung einer photonischen Faser

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen
Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Marcel Werner

Berichter: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Peter Loosen
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Thomas Taubner

Tag der mündlichen Prüfung: 21.10.2014

Berichte aus der Lasertechnik

Marcel Werner

**Grundlegende Untersuchung des inversen Glas-
bohrens zur Herstellung einer photonischen Faser**

Shaker Verlag
Aachen 2015

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.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2014)

Copyright Shaker Verlag 2015

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3314-4

ISSN 0945-084X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Fraunhofer Institut für Lasertechnik in Aachen. Allen Mitarbeitern des Fraunhofer Instituts für Lasertechnik, des Lehrstuhls für Lasertechnik und des Lehrstuhls für Technologie Optischer Systeme möchte ich für ihre Unterstützung und die gute Zusammenarbeit danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. rer. nat. Peter Loosen für die Betreuung und für die Möglichkeit zur Durchführung dieser Arbeit sowie Herrn Prof. Dr. rer. nat. Thomas Taubner für die Übernahme des Zweitberichts.

Danken möchte ich auch Herrn Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann und Herrn Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. Martin Traub für die Zusammenarbeit und kritische Durchsicht meiner Arbeit.

Den Kollegen der Gruppe Optik-Design und Diodenlaser danke ich für die stets kollegiale und freundschaftliche Zusammenarbeit, insbesondere gilt mein Dank Herrn Dipl.-Ing. Erik Liermann und Herrn Dr. rer. nat. Thomas Westphalen für die freundschaftliche Unterstützung während meiner Zeit in Aachen.

Herrn Dipl.-Phys. Dominik Esser danke ich für die zahlreichen kritischen Anregungen und Diskussionen sowie die praktische Unterstützung bei der Erstellung meiner Arbeit.

Meinen studentischen Hilfskräften Frau Hamideh Sheikhan, Herrn Niels Krauch, Herrn Martin Bornheim und Herrn Yu Xia möchte ich für ihre Unterstützung danken.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Frau Vanessa, die mir auch während der Anfertigung der Doktorarbeit immerzu unterstützend und liebevoll zur Seite stand.

Besonders gilt mein Dank meinen Eltern dafür, dass sie mir das Studium ermöglichten und für die verständnisvolle Unterstützung auf meinem bisherigen Lebensweg.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
2	Theoretische Grundlagen und Stand der Technik	7
2.1	Eigenschaften von Glas	7
2.2	Eigenschaften von gepulster Laserstrahlung	10
2.3	Absorption von Laserstrahlung in transparenten Materialien . .	13
2.4	Ablationsverhalten von Glas	19
3	Experimentelle Grundlagen und Methoden	27
3.1	Auswahl des verwendeten Glases	27
3.2	Charakterisierung und Präparation der verwendeten Preformen	28
3.2.1	Präparation der Preformen	28
3.2.2	Charakterisierung der optischen Eigenschaften	30
3.3	Experimentelles Vorgehen	32
3.4	Prozessbeschreibung und Versuchsaufbau	35
3.5	Verwendete Strahlquelle und Strahlformung	39
4	Grundlegende Untersuchungen des inversen laserinduzierten Bohrens	47
4.1	Untersuchung des Abtrags von Einzelebenen	47
4.2	Charakterisierung des Bohrstaubs	51
4.3	Einfluss der Prozessparameter auf die Bohrtiefe	56
4.3.1	Kantenlänge und Querschnittsfläche des Bohrkanals . .	58
4.3.2	Staubtransport im Bohrkanal und Zerstörmechanismen der Bohrung	63
4.3.3	Repetitionsrate und Pulsenergie	74
4.3.4	Rasterabstand	78
4.3.5	Ebenenabstand	79

4.3.6	Wechselwirkung von einzelnen Bohrungen	79
4.3.7	Versatz der Abtragsebenen	82
4.4	Charakterisierung des Bohrkanals	84
4.5	Untersuchungen zu Lösungsstrategien	90
4.5.1	Anlegen eines elektrostatischen Feldes	92
4.5.2	Reduktion der Luftfeuchtigkeit	93
4.5.3	Ultraschallanregung der Preform	94
4.5.4	Umgebungsmedium Lauge	95
4.5.5	Variation der Abtragsstrategien	95
4.5.6	Reinigung der Kanalwände während des Prozesses	96
5	Anwendung	99
5.1	Herstellung einer photonischen Vollkernfaser	99
5.2	Charakterisierung der photonischen Faser	102
6	Zusammenfassung und Ausblick	107
	Formelzeichen	109
	Abkürzungsverzeichnis	113
	Literaturverzeichnis	123
	Abbildungsverzeichnis	126
	Tabellenverzeichnis	127