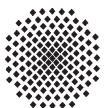
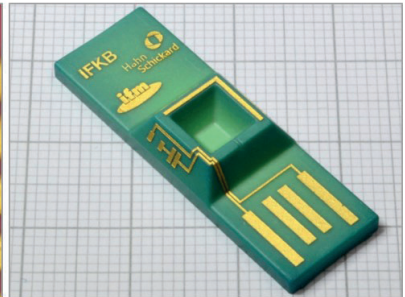
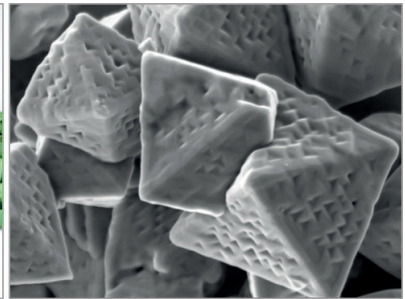


Philipp Ninz

***Dotierte Aluminiumoxid
Substrate und deren Herstellungs-
prozessketten für die selektive
laserinduzierte Metallisierung***



Dotierte Aluminiumoxid Substrate und deren Herstellungsprozessketten für die selektive laserinduzierte Metallisierung

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte
Abhandlung

Vorgelegt von
Philipp Ninz
aus Überlingen

Hauptberichter: o. Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. mult. Rainer Gadow
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. André Zimmermann

Tag der mündlichen Prüfung: 27.04.2021

Forschungsberichte des Instituts für
Fertigungstechnologie keramischer Bauteile (IFKB)

Philipp Ninz

**Dotierte Aluminiumoxid Substrate und deren
Herstellungsprozessketten für die selektive
laserinduzierte Metallisierung**

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag
Düren 2022

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.: Stuttgart, Univ., Diss., 2021

Copyright Shaker Verlag 2022

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8446-7

ISSN 1610-4803

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

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

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile und Verbundwerkstoffe (IFKB) der Universität Stuttgart im Zuge der Bearbeitung der öffentlich geförderten AiF IGF Projekte Lasker3D und ProKram3D. Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Personen bedanken, die mich während meiner Promotion unterstützt haben.

Zuallererst danke ich meiner Mutter für Ihre beruhigende Auffassung von Normalität.

Großer Dank geht an o. Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. mult. Rainer Gadow für die gegebene Möglichkeit und das entgegengebrachte Vertrauen, meine Promotion am Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile der Universität Stuttgart durchführen zu können. Ich bedanke mich insbesondere für die Unterstützung darin, das erarbeitete Wissen im Rahmen von nationalen und internationalen Tagungen vor Vertretern aus Forschung und Industrie vortragen und diskutieren zu können.

Danke auch an Prof. Dr. Ing. André Zimmermann für die Unterstützung von Seiten des Instituts für Mikrointegration und die Übernahme des Zweitgutachtens.

Großer und sehr herzlicher Dank geht an Frank Kern für die Unterstützung, die Freiheiten, die Geduld und das entgegengebrachte Vertrauen im Rahmen der Promotion und der Forschungsprojekte sowie für die Einführung in die Chemie (für Ingenieure!) und die Backkunst.

Vielen Dank an all die wundervollen Kollegen, ohne deren Unterstützung, gutes Zureden und in den ... treten ich es nicht geschafft hätte. Angefangen bei Andi, Richi, Dr. Sommer und Ulli bis hin zu next Generation, die mir besonders in der Endphase den Rücken freigehalten hat. Vielen Dank Andrea, Matthias, Chris, Betty, Simon und Ella. Vielen Dank auch an die Kollegen vom IFM Eugen, Haagen, Simon, Andrea, Alex, Sascha und besonders Hartmut für die vielen Hilfestellungen beim Spritzgießen.

Besonderer Dank gilt auch allen Kollegen aus der Industrie, welche mich an vielen Stellen mit fachlichen Diskussionen, Versuchsdurchführungen und Zugang zu Anlagen unterstützt haben. Ein herzliches Dankeschön geht insbesondere an Hartmut Walcher und Marco Maetzig, Jens Graf, Wolfgang Leonhardt und Martin Schwentenwein.

Ein unendlich großes Dankeschön geht an meine Freundin Nina für die genzenlose Unterstützung durch stillen Verzicht, tausendmal ausgesprochene Zuversicht, Liebe und Geduld! Ich danke auch meiner Familie und besonders meinem Vater für die vielen schönen und harten Gespräche und den wertvollen Erfahrungsaustausch.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Danksagung	I
Inhaltsverzeichnis	II
Formelzeichen und Abkürzungen	IV
Kurz Zusammenfassung	VI
Extended Abstract	VII
1 Einleitung und Motivation	1
2 Zielsetzung und Strategie	7
3 Stand der Forschung und Technik	9
3.1 Räumlich integrierte Schaltungsträger	9
3.2 Autokatalytische Metallisierung	13
3.3 Laserinduzierte Aktivierung	16
3.3.1 Laseraktivierung von Kunststoffen	16
3.3.2 Laserinduzierte Aktivierung von Keramiken	18
3.4 Grundlagen der Laserstrukturierung	21
3.4.1 Wechselwirkungen bei der Laser-Materie-Interaktion	23
3.4.2 Laserstrukturierung von Keramiken	25
3.5 Keramische Werkstoffe für die Laseraktivierung	28
3.5.1 Sintern keramischer Werkstoffe und der Einfluss von Dotierungen	28
3.5.2 Aluminiumoxid	30
3.5.3 Zirkonoxid	34
3.5.4 Zirkonoxid verstärktes Aluminiumoxid (ZTA)	36
3.5.5 Optische Eigenschaften von Keramiken	37
3.6 Herstellung keramischer Werkstoffe	38
3.6.1 Schlickergießen	38
3.6.2 Spritzgießen	39
3.6.3 Additive Fertigungsverfahren	47
3.6.4 Herstellung dotierter Keramiken	49
4 Experimentelles Vorgehen	51
4.1 Systematik und Vorgehensweise	51

4.2	Eingesetzte Werkstoffe	58
4.3	Herstellung schlickergegossener Substrate	60
4.4	Herstellung spritzgegossener Substrate	61
4.4.1	Masseaufbereitung und Feedstockherstellung	61
4.4.2	Formgebung	63
4.4.3	Entbinderung	64
4.5	Additive Fertigung von Aluminiumoxid Substraten	64
4.6	Tauchinfiltration von Weißteilen	65
4.7	Sinterung	67
4.8	Laseraktivierung	67
4.9	Autokatalytische Metallisierung	72
4.10	Angewandte Messmethoden und Analytik	73
5	Ergebnisse	78
5.1	Charakterisierung der Ausgangspulver	78
5.2	Materialscreening 1	80
5.3	Materialscreening 2	86
5.4	Chromoxid dotierte spritzgegossenen Substrate	108
5.5	Mittels Tauchinfiltration dotierte spritzgegossene Substrate	131
5.6	Mittels Tauchinfiltration dotierte additiv gefertigte Substrate	140
5.7	Dotierte ZTA Substrate	146
5.8	Untersuchungen des Aktivierungsmechanismus und weiterer Einflussfaktoren	153
6	Diskussion der Ergebnisse	160
7	Zusammenfassung und Ausblick	171
	Literaturverzeichnis	174