

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	iii
Abstract	v
Symbolverzeichnis	xi
Abkürzungsverzeichnis	xv
1 Einleitung	1
1.1 Piezokeramische Dickschichten	1
1.2 Zielstellung der Arbeit	1
2 Grundlagen und Stand der Technik	5
2.1 Mikrosysteme	5
2.2 Multilayertechnologie zur Fertigung von Substraten	5
2.2.1 Low-Temperature-Cofired-Ceramics, LTCC	6
2.2.2 High-Temperature-Cofired-Ceramics, HTCC	7
2.3 Druckverfahren zur Herstellung technischer Dickschichten	8
2.3.1 Sieb- und Schablonendruck	8
2.3.1.1 Elektrodenpasten	12
2.3.1.2 Dielektrische Pasten	13
2.3.2 Tintenstrahldruck	13
2.3.3 Aerosoldruck	14
2.4 Piezokeramische Werkstoffe	15
2.5 Piezokeramische Dickschichten	20
2.6 Diffusionsbarrieren	22
2.7 Piezoaktoren	23
2.8 Biegewandler	24
2.9 Ansteuerung piezokeramischer Schichten	27
3 Materialien und Prozessierung	31
3.1 Substrate	31
3.2 Elektroden	31
3.3 Isolationsmaterialien	32
3.4 PZT-Dickschichten	32
3.4.1 PZT-Basismaterialien, Sinterhilfsmittel und Pasten	32
3.4.2 Aktor- und Siebdesign	35
3.4.2.1 Layout von through-thickness-Aktoren	35
3.4.2.2 Layout von in-plane-Aktoren	36
3.4.3 Herstellung und Schichtaufbau von PZT-Dickschichten mittels Siebdruck	38
3.4.4 Vergleichsstrukturen mittels Pick-and-Place-Technik	41

4	Charakterisierungsmethoden	43
4.1	Schicht- und Materialcharakterisierung	43
4.1.1	Schwindung	43
4.1.2	Dichte	43
4.1.3	Gefügeanalyse	44
4.2	Methoden zur elektromechanischen Charakterisierung	44
4.2.1	Polung	44
4.2.2	Kleinsignalimpedanz	45
4.2.3	Curietemperatur	47
4.2.4	Großsignalimpedanz	48
4.2.5	Isolationswiderstand und Spezifischer Widerstand	49
4.2.6	Durchschlagfeldstärke	50
4.2.7	Freie Auslenkung und Blockierkraft	50
4.2.7.1	Probenvorbereitung	50
4.2.7.2	Messaufbau und -parameter zur Messung von freier Auslenkung und Blockierkraft	51
4.2.8	Betriebsverhalten	52
5	PZT-Dickschichtaktoren mit through-thickness-Ansteuerung	55
5.1	PZT-Dickschichten - Variation von PZT-Basismaterial und Sinterhilfsmittel	55
5.1.1	Schwindung	55
5.1.2	Dichte	56
5.1.3	Gefügeentwicklung von PZT-Dickschichten in Abhängigkeit vom BZ-Gehalt	57
5.1.4	Kleinsignal-Impedanzanalyse	67
5.1.5	Curietemperatur	71
5.1.6	Spezifischer Widerstand und Durchschlagfeldstärke	74
5.1.7	Großsignalimpedanz	75
5.1.8	Freie Auslenkung und Blockierkraft	82
5.1.9	Piezoelektrische Ladungskonstante	88
5.1.10	Betriebsverhalten piezokeramischer Bieger auf Basis von PZ 5100-Dickschichten	92
5.2	Vergleich mit anderen Biegeaktoren	94
5.2.1	Vergleich von PZT-Dickschichtaktoren mit industriell hergestellten Biegeaktoren	94
5.2.2	Pick-and-Place-Aktoren im Vergleich mit PZT-Dickschichtaktoren	95
6	PZT-Dickschichtaktoren mit in-plane-Ansteuerung	97
6.1	IDE-Aktoren mit Sandwich-IDE	97
6.1.1	Mikroskopische Analyse der Elektrodenanordnung	97
6.1.2	Freie Auslenkung und Blockierkraft	99
6.1.3	Simulation	102
6.2	IDE-Aktoren mit Zwischenschicht-IDE	105
6.2.1	Gefüge und Elektrodenausbildung	105
6.2.2	Freie Auslenkung und Blockierkraft	106
7	Piezokeramische Dickschichtaktoren für optische Mikrosysteme	109
7.1	Aktorrahmen	110
7.1.1	Ergebnisse und Messungen	110
7.2	S-Plattform	111
7.2.1	Design und Herstellung	112
7.2.2	Ergebnisse und Messungen	113

8 Zusammenfassung 115

9 Ausblick 121

Abbildungsverzeichnis 123

Tabellenverzeichnis 129

Literaturverzeichnis 131

Danksagungen 145

A Anhang A 1

Anhang A 1

 A.1 EDX-mapping A 1

 A.2 Messwerte PZ 5100 through-thickness A 3

 A.3 Messwerte PZ 5200 trough-thickness A 8

 A.4 Messwerte PZ 5300 trough-thickness A 14

 A.5 Messwerte Pick-and-Place A 20

 A.6 Messwerte PZ 5100 in-plane mit Sandwich-IDE A 21

 A.7 Messwerte PZ 5100 in-plane mit Intermediate-IDE A 21

 A.8 Messwerte PZ 5300 in-plane mit Sandwich-IDE A 22

 A.9 Diagramme Curietemperatur über BZ-Gehalt A 22

 A.10 Diagramme Zusatzversuch PZ 5100 in PbO-reicher Sinteratmosphäre A 23