

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	V
Veröffentlichungsliste	VII
Kurzfassung	XI
Abkürzungen und Symbole	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Anwendungsbeispiele	2
1.1.1 Torsionsmode: Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop	2
1.1.2 Translatorische Mode: Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer	4
1.2 Gliederung	5
2 Stand der Technik	7
2.1 PZT-Grundlagen und Bauelemente	7
2.1.1 Piezoelektrische Eigenschaft	7
2.1.2 Ferroelektrische Eigenschaft	9
2.1.3 PZT-Bauelemente	13
2.2 Überblick über Mikrospiegel	14
2.2.1 Elektrostatische Mikrospiegel	14
2.2.2 Magnetische Mikrospiegel	17
2.2.3 Thermische Mikrospiegel	19
2.2.4 Piezoelektrische Mikrospiegel	21
2.2.5 Vergleich der verschiedenen Antriebskonzepte	24
3 Designentwicklung	27

3.1 1D-Spiegel.....	27
3.1.1 Resonante Mikrospiegel mit einfachen Torsionsfedern.....	27
3.1.2 Resonante Mikrospiegel mit doppelten Torsionsfedern.....	42
3.2 2D-Spiegel.....	46
3.2.1 Resonante 2D-Mikrospiegel mit vier PZT-Aktuatoren.....	47
3.2.2 Kardanisch aufgehängte 2D-Mikrospiegel.....	52
4 Funktionsprinzipien der Positionsdetektion.....	57
4.1 Optische Positionserfassung.....	57
4.2 Piezoresistiver Effekt.....	58
4.2.1 Halbleitende piezoresistive Sensoren.....	58
4.2.2 Metallische Dehnungsmessstreifen.....	60
4.3 Kapazitive Positionserfassung.....	63
4.3.1 Kammelektrode.....	63
4.3.2 Plattenelektrode.....	64
4.4 Direkter piezoelektrischer Effekt.....	67
4.5 Zusammenfassung.....	69
5 Herstellung.....	71
5.1 Überblick über PZT-Abscheidungstechnologien.....	71
5.2 Herstellungsprozess der PZT-Mikrospiegel.....	75
5.2.1 Mikrospiegel mit einer einheitlichen poly-Si-Schichtdicke.....	75
5.2.2 Mikrospiegel mit verschiedenen poly-Si-Schichtdicken.....	81
6 Charakterisierung.....	87
6.1 Messaufbau.....	87
6.2 1D-Mikrospiegel.....	89
6.2.1 Mikrospiegel mit einfachen Torsionsfedern.....	91
6.2.2 Mikrospiegel mit doppelten Torsionsfedern.....	101

INHALTSVERZEICHNIS

6.3 2D-Mikrospiegel.....	107
6.3.1 2D-Mikrospiegel mit Quadpod-Designs	108
6.3.2 Kardanisch aufgehängte Mikrospiegel.....	114
6.4 Implementierte Sensorelemente.....	118
6.4.1 Kapazitive Messung.....	119
6.4.2 Metallische Dehnungsmessstreifen	120
6.4.3 Direkter piezoelektrischer Effekt.....	123
6.4.4 Gegenüberstellung	127
7 Abschlussbetrachtung.....	129
7.1 Zusammenfassung.....	129
7.1.1 1D-Mikrospiegel.....	129
7.1.2 2D-Mikrospiegel.....	131
7.1.3 Positionssensorelemente.....	133
7.2 Ausblick	133