

Inhaltsverzeichnis

Bibliographische Daten	v
Kurzreferat	v
Danksagung	vii
1 Einleitung und Motivation	1
1.1 Einführung.....	1
1.2 Anwendung von monokristallinen Dünnschichten auf Siliziumträgersubstraten	2
1.3 Ziel der Arbeit.....	3
2 Theoretische Grundlagen.....	5
2.1 Linear elastische Bruchmechanik und Grenzflächenbruchmechanik	6
2.1.1 Spannungsintensitätsfaktoren.....	6
2.1.2 Energiefreisetzungsraten	8
2.1.3 Grenzflächenbruchmechanik.....	9
2.1.4 Grenzflächenbruchmechanik von Dünnschichten	12
2.1.5 Virtuelle-Rissenschließ-Methode (VCCT).....	13
2.1.6 VCCT für Grenzflächenrisse.....	15
2.1.7 J-Integral	17
2.1.8 Phasenwinkel für die Grenzflächenbruchmechanik in der FEM	22
2.1.9 Vergleich der Methoden für ein homogenes Material	23
2.2 Schädigungsmechanik mittels der Kohäsivzonenmethode	23
2.3 Grundlagen der Kontakttheorie.....	26
2.3.1 Kontakttiefe.....	27
2.3.2 Kontaktfläche	28
3 Stand der Technik zur Bestimmung der Bruchzähigkeit	31
3.1 Bruchzähigkeit aus der Eindringprüfung	31
3.2 Säulen-Druckversuch.....	34
3.3 Bruchzähigkeit aus Mikrobiegeversuchen	35
3.4 Schlussfolgerung	37
4 Stand der Technik zur Haftfestigkeitsmessung von Dünnschichten	39
4.1 Biegeversuch.....	39

4.2	Superlayer.....	41
4.3	Laser-Spallation.....	42
4.4	SAW	43
4.5	Eindringversuche	43
4.5.1	Analytische Methoden.....	44
4.5.2	Numerische Modelle – FE-Simulationen.....	51
4.6	Schlussfolgerung	52
5	Materialsystem und Versuchsstand	55
5.1	Übersicht der verwendeten Materialien.....	55
5.1.1	Lithiumtantalat	55
5.1.2	Silizium und Polysilizium	56
5.1.3	Siliziumdioxid	57
5.1.4	Richtungsabhängigkeit von Silizium und Lithiumtantalat.....	57
5.2	Allgemeiner Herstellungsprozess	62
5.3	Versuchsstand: Nanoindenter G200.....	63
5.4	Probenübersicht und Präparation	65
5.5	Validierung der thermomechanischen Materialeigenschaften.....	66
6	Bruchzähigkeit von LTO.....	68
6.1	Experimentelle Untersuchungen.....	68
6.1.1	Eindringversuche	68
6.1.2	Biegeversuche	69
6.2	FE-Modell zur Auswertung der Bruchversuche.....	73
6.3	Ergebnisse der Bruchzähigkeitsbestimmung	76
6.3.1	Ergebnis der Bruchzähigkeit aus der Eindringprüfung	76
6.3.2	Ergebnis der Bruchzähigkeit aus den Biegeversuchen.....	77
7	Haftfestigkeit von LTO-Dünnsschichten auf Siliziumsubstrat	79
7.1	Experimenteller Versuchsablauf	79
7.1.1	Eindringprüfung	79
7.1.2	Kontakttiefe und Kalibrierung der Schneidenspitze	82
7.1.3	Bestimmung der Risslänge	87
7.1.4	Algorithmus zur Risslängenmessung	88
7.1.5	Stabilität der Risslängenmessung	89
7.1.6	Bestimmung der Rissfrontkrümmung	91
7.2	Analytische Abbildung zum Eindringversuch mittels Schneidenspitzen	93

7.2.1	Herleitung eines erweiterten analytischen Modells	93
7.2.2	Vergleich zum Modell nach Yang.....	96
7.3	Finite-Elemente-Simulation zum Eindringversuch mittels Schneidenspitzen	97
7.3.1	Finite-Elemente-Modell	97
7.3.2	Netzabhängigkeit	101
7.3.3	Parametervariation	102
7.3.4	Ergebnisse der FE-Simulation mit Parametervariation	107
7.3.5	Schichtspannung.....	110
7.3.6	Nichtstationärer Risszustand	111
7.3.7	Einfluss der Rissgeometrie und des Spannungszustandes	113
7.3.8	Einflussfaktoren der Modellierung	118
7.3.9	Einfluss der Eindringtiefe	121
7.3.10	Schneidenwinkel.....	123
7.3.11	Phasenwinkel und Rissmode-Verhältnis	124
7.3.12	Gültigkeitsbereich des vereinfachten Modells	134
7.4	Experimentelle Ergebnisse	136
7.4.1	Elastisch-plastische Eigenschaften von LTO	136
7.4.2	Entwicklung und Fortschritt der Rissfront.....	140
7.4.3	Variation der Schneidenlänge	143
7.4.4	Vergleich der Haftfestigkeit in Abhängigkeit der Wafer-Position.....	146
7.4.5	Vergleich zwischen Experiment und Simulation.....	147
7.4.6	REM-Untersuchungen	149
7.4.7	Optimale Schneidengröße.....	154
8	Zusammenfassung.....	157
8.1	Zusammenfassung des Messablaufs	158
8.2	Potenzial und Grenzen der Methode zur Bestimmung der Haftfestigkeit....	159
Literatur	163	
Liste der Veröffentlichungen	171	
Anhang A Weiterführende Ergänzungen zur Arbeit.....	173	
Anhang A.1	Versuchsergebnisse der Bruchzähigkeitsmessung von LTO	173
Anhang A.2	Simulationsergebnisse.....	174
Anhang A.3	Kontaktfläche der Schneidengeometrie.....	177
Anhang A.4	Parameter der FE-Simulationsmodelle.....	178