

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	Energiefreisetzungsrate 8
2.1.3	Grenzflächenbruchmechanik..... 9
2.1.4	Grenzflächenbruchmechanik von Dünnschichten 12
2.1.5	Virtuelle-Riss-schließ-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-Dünnschichten auf Siliziumsubstrat.....	79
7.1	Experimenteller Versuchsablauf.....	79
7.1.1	Eindringprüfung.....	79
7.1.2	Kontaktiefe 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