

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Übersicht und Stand der Entwicklung	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit	3
2	Das Materialsystem SrTiO₃	4
2.1	Kristallstruktur	4
2.2	Mikrostruktur	6
2.3	Defektchemie	6
2.4	Korngrenzen und Elektroden–Keramik Übergänge	8
3	Herstellungsmethoden	10
3.1	Physikalische Herstellungsmethoden	10
3.1.1	Verdampfungsverfahren	10
3.1.2	Laserablation	11
3.1.3	Kathodenzerstäubung	11
3.2	Chemische Herstellungsmethoden	12
3.2.1	Naßchemische Verfahren	12
3.2.2	Abscheidung aus der Gasphase	15
4	Elektrische Eigenschaften von SrTiO₃–Dünnschichten	16
4.1	Relative Dielektrizitätszahl	16
4.2	Optische Eigenschaften	17
4.3	Impedanzanalyse im Zeitbereich	18
5	Leckstrom– und Durchschlagsmechanismen	23
5.1	Theorie des Ladungstransports in Oxiden	23
5.1.1	Ionische und elektronische Leitfähigkeit bei kleinen Feldern	23
5.1.2	Elektroden–begrenzte Leitfähigkeit bei hohen Feldern	24
5.1.3	Bulk–begrenzte Leitfähigkeit bei hohen Feldern	26
5.2	Stand des Wissens über Leckströme in Titanat–Dünnschichten	33
5.3	Mechanismen des elektrischen Durchschlags in Dielektrika	36
5.3.1	Thermischer Durchschlag	36
5.3.2	Rein elektrischer Durchschlag	37
5.3.3	Andere Durchschlagsmechanismen	39
5.4	Stand des Wissens über den Durchschlag in Titanat–Dünnschichten	39

6	Simulation	44
6.1	Elektrisches Ersatzschaltbild	45
6.2	Simulationen von Stromantworten dünner dielektrischer Schichten	48
6.2.1	Komplexe Admittanz und Stromantworten im Zeitbereich	48
6.2.2	Simulation von Sprung- und Rampenantworten	49
6.2.3	Konsequenzen bezüglich der Meßtechnik	52
7	Probenherstellung	54
7.1	Aufbau der Proben	54
7.2	Naßchemische Herstellung der SrTiO ₃ -Dünnschichten	54
7.3	Kontaktierung der Schichten	56
7.4	Charakterisierung der Schichten	56
8	Meßtechnik zur Bestimmung der Leckströme	58
8.1	Gesamtsystem des Multi-Proben-Transientenmeßplatzes	58
8.2	Probenkonditioniersystem	58
8.3	Meßelektronik	60
8.3.1	Computergesteuertes Gleichspannungsnetzgerät	60
8.3.2	Strommessung im Kurzzeitbereich	61
8.3.3	Strommessung im Langzeitbereich	63
8.3.3.1	Meßmethoden	63
8.3.3.2	Eingesetzte Meßgeräte	64
8.3.3.3	Grenzen der Meßgenauigkeit durch äußere Einflüsse	66
8.3.4	Analog/Digital-Wandler	69
8.3.5	Referenzmessungen	69
9	Untersuchungen zum Leckstrom	72
9.1	Einfluß der Polarität und der Elektroden auf den Leckstrom	72
9.2	Temperaturabhängigkeit des Leckstromes	76
9.3	Feldabhängigkeit des Leckstromes	77
9.3.1	Feldabhängigkeit der transienten Ströme	78
9.3.2	Kennlinien für verschiedene Kontaktmaterialien	79
9.3.3	Temperaturabhängigkeit der Kennlinien	80
9.3.4	Verschiedene Kennlinienformen	81
9.4	Einfluß von Dotierungen auf den Leckstrom	82
9.5	Dickenabhängigkeit des Leckstromes	82
9.6	Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf den Leckstrom	83
9.7	Diskussion der Leckstrom-Experimente	84

10 Untersuchungen zur Widerstandsdegradation	88
10.1 Elektrodenabhängigkeit der Degradation	88
10.2 Temperaturabhängigkeit der Degradation	90
10.3 Feldabhängigkeit der Degradation	91
10.4 Dickenabhängigkeit der Degradation	93
10.5 Einfluß der Präparation auf die Degradation	94
10.6 Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Degradation	94
10.7 Diskussion der Degradations-Experimente	96
11 Untersuchungen zur Durchschlagfestigkeit	100
11.1 Meßmethode und Versuchsaufbau	100
11.2 Selbstheilende Durchschläge	102
11.3 Durchschlagfestigkeit in Abhängigkeit verschiedener Parameter	104
11.4 Diskussion der Durchschlags-Experimente	105
12 Modell für den Leckstrom in SrTiO₃-Dünnschichten	109
12.1 Energiebändermodell	109
12.2 Verifikation der thermionischen Emission von der Kathode	114
12.3 Feldabhängigkeit bei Schichten mit Schottky-Kennlinie	117
12.3.1 Ohmscher Bereich bei kleinen Spannungen	118
12.3.2 Sättigungsbereich	119
12.3.3 Schottky-Effekt	120
12.3.4 Hochfeld-Bereich	121
12.3.4.1 Allgemeine Injektionsgleichung	121
12.3.4.2 Näherungen für begrenzte Temperatur- und Feldbereiche	123
12.3.5 Ausdehnung der Raumladungszone	125
12.4 Feldabhängigkeit bei Schichten mit Varistor-Kennlinien	127
12.4.1 Ohmscher Bereich	128
12.4.2 Übergang zwischen Bulk- und Elektroden-begrenzter Leitfähigkeit	128
12.4.3 Varistor-Effekt	129
12.5 Auftreten der verschiedenen Kennlinienformen	131
13 Schlußfolgerungen	132
13.1 Zusammenfassung	132
13.2 Ausblick	134
Anhang	135
A.1 Verwendete SrTiO ₃ -Dünnschichten und Kontaktmaterialien	135
A.2 Rechnungen zur allgemeinen Injektionsgleichung	137
Literatur	140