

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b>	<b>II</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>III</b>
<b>Abkürzungen und Formelzeichen</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Polare Oxide	5
2.1.1 Ferroelektrika	7
2.1.2 Antiferroelektrika, Ferrielektrika und Relaxoren	13
2.1.3 Herstellungsverfahren ferroelektrischer Dünnschichten	16
2.1.4 Dünnschichteigenschaften ferroelektrischer Materialien	18
2.2 Ferroelektrische Speicher	22
2.2.1 Kondensatorbasiert	24
2.2.2 Ferroelektrischer Feldeffekttransistor	27
<b>3 Hafnium- und Zirkoniumdioxid</b>	<b>35</b>
3.1 Grundlegendes und der Einsatz dünner Schichten in der Mikroelektronik	35
3.1.1 Kristallphasen und deren Stabilität im Volumen und in Dünnschichten	36
3.1.2 Phasenstabilisierung mit Hilfe tri- und tetravalenter Dotanden	38
3.1.3 Einsatz als hoch- $\epsilon$ Dielektrikum in der Mikroelektronik	41
3.2 Strukturelle und elektrische Schichteigenschaften dotierter Systeme	45
3.2.1 Atomlagenabscheidung der mehrkomponentigen Schichtsysteme	46
3.2.2 Einfluss von Prozesstemperatur und Ozonpulszeit	51
3.2.3 Dotier- und Schichtdickenabhängigkeit der Kristallisationstemperatur	55
3.2.4 Phasenstabilität in Abhängigkeit von der Schichtdicke und der Dotierung	63
<b>4 Ferroelektrizität in Hafniumdioxid-basierten Dünnschichten</b>	<b>69</b>
4.1 Ferroelektrizität im tetravalent dotierten Si:HfO <sub>2</sub> -System	69
4.1.1 Elektrischer und elektromechanischer Nachweis	70
4.1.2 Strukturelle Untersuchungen zum Ursprung der Ferroelektrizität	76
4.1.3 Temperaturabhängigkeit und der Einfluss der Temperung	83
4.1.4 Einfluss der abdeckenden Metallelektrode auf die Phasenstabilität	92
4.1.5 Leckstromverhalten und Konditionierung der P-E-Hysteresis	99
4.2 Ferroelektrizität im HfO <sub>2</sub> -ZrO <sub>2</sub> Mischkristall	103
4.2.1 Antiferroelektrisches ZrO <sub>2</sub> und ferroelektrisches HfO <sub>2</sub> -ZrO <sub>2</sub>	104
4.2.2 Struktureller, elektrischer und elektromechanischer Nachweis	105
4.2.3 Einfluss von Temperatur, Schichtdicke und Temperung	110
4.3 Ferroelektrizität in HfO <sub>2</sub> -Dünnschichten mittels trivalenter Dotierung	114

4.3.1	Strukturelle und elektrische Charakterisierung des Y:HfO <sub>2</sub> -Systems . .	115
4.3.2	Strukturelle und elektrische Charakterisierung des Al:HfO <sub>2</sub> -Systems .	120
4.4	Anwendungspotential der ferroelektrischen Phase und deren Phasenübergang	126
<b>5</b>	<b>Hafniumdioxid-Ferroelektrika in nicht-flüchtigen Speicherbauelementen</b>	<b>135</b>
5.1	Ferroelektrischer Kondensator . . . . .	135
5.1.1	Schaltkinetik und Datenhaltung . . . . .	135
5.1.2	Fatigue und Imprint . . . . .	140
5.1.3	Skalierungsdilemma und das Potential HfO <sub>2</sub> -basierter Ferroelektrika .	144
5.2	Ferroelektrischer Feldeffekttransistor . . . . .	146
5.2.1	Grundlegende Funktionalität und Schaltkinetik . . . . .	147
5.2.2	Ferroelektrisches Schalten unter parasitärer Landungsträgerinjektion .	151
5.2.3	Datenhaltung und Zyklfestigkeit . . . . .	165
5.2.4	Skalierungspotential und Simulation von Optimierungsansätzen . . .	170
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerung</b>	<b>179</b>
6.1	Eine neue Klasse HfO <sub>2</sub> -basierter Ferroelektrika . . . . .	179
6.2	Anwendungspotential ferroelektrischer HfO <sub>2</sub> -Dünnschichten . . . . .	182
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>I</b>
<b>A</b>	<b>Prozessierung und Charakterisierung</b>	<b>XXVII</b>
A.1	Fertigung der Kondensator- und Transistorteststrukturen . . . . .	XXVII
A.2	Physikalische und elektrische Charakterisierungsverfahren . . . . .	XXIX
A.3	Prozessentwicklung der Atomlagenabscheidung . . . . .	XXXI
<b>B</b>	<b>Anhang zur Dissertation</b>	<b>XXXIX</b>
B.1	Danksagung . . . . .	XXXIX
B.2	Publikationsliste . . . . .	XL
B.3	Lebenslauf . . . . .	XLV