

# 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 Dünnschichtegenschaften ferroelektrischer Materialien . . . . .	18
2.2 Ferroelektrische Speicher . . . . .	22
2.2.1 Kondensatorbasiert . . . . .	24
2.2.2 Ferroelektrischer Feldeffekttransistor . . . . .	27
<b>3 Hafnium- und Zirconiumdioxid</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-e Dielektrikum in der Mikroelektronik . . . . .	41
3.2 Strukturelle und elektrische Schichtegenschaften dotierter Systeme . . . . .	45
3.2.1 Atomlagenabscheidung der mehrkomponentigen Schichtsysteme . . . . .	46
3.2.2 Einfluss von Prozessstemperatur 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-Hysterese . . . . .	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 Zyklenfestigkeit . . . . .	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> -Dünnsschichten . . . . .	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