

Inhaltsverzeichnis

1	Ziele der Arbeit	1
2	High-κ-Dielektrika	5
2.1	Grundlegende Eigenschaften	7
2.2	Anwendungsbeispiele in der Halbleitertechnologie	8
2.2.1	Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET)	9
2.2.2	Nicht flüchtige Speicherelemente (NVRAM)	11
2.2.3	Tunnel-Feldeffekttransistor (TFET)	14
2.3	Spezielle Anforderungen für die CMOS-Technologie	17
3	Charakterisierung von Hafniumoxid-Dünnschichten	21
3.1	Methoden zur Untersuchung der Schichtdicke, Dichte und Morphologie	21
3.1.1	Spektralellipsometrie (SE)	21
3.1.2	Röntgenreflektometrie (XRR)	24
3.1.3	Rasterelektronenmikroskopie (SEM)	26
3.1.4	Hochauflösende Transmissionselektronenmikroskopie (HRTEM)	26
3.2	Analyse der chemischen Zusammensetzung	27
3.2.1	Raster-TEM im annularen Dunkelfeld (ADF-STEM)	27
3.2.2	Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)	28
3.2.3	Röntgen-Photoelektronenspektroskopie (XPS)	28
3.3	Elektrische Charakterisierung dünner Gate-Dielektrika	30
3.3.1	Herstellung der MIS-Strukturen	30
3.3.2	Auswertung von Kapazitäts- und Leitwertmessungen	31
3.3.3	Verschiebung der Flachbandspannung	38
3.3.4	Grenzflächenzustandsdichte	39
3.3.5	Tunnelstromverhalten	42
3.3.6	Durchbruchfeldstärke	43
4	Atomlagenabscheidung zur Dünnschichtherstellung	45
4.1	Grundlagen des Herstellungsverfahrens	45
4.1.1	Definition der Atomlagenabscheidung	45
4.1.2	Voraussetzungen für selbstlimitierende Oberflächenreaktionen	47
4.1.3	Depositionskinetik einer ALD-Halbreaktion	49
4.1.4	Abgrenzung gegenüber chemischer Gasphasenabscheidung (CVD)	53

4.2	ALD von Hafniumdioxid	56
4.2.1	Kriterien zur Präkursorauswahl	56
4.2.2	Eigenschaften von Hafnium-Alkylamiden	58
4.2.3	Reaktionsmechanismus und -kinetik bei HfO ₂ -ALD mit TDMAH	60
5	Aufbau der ALD-Anlage.....	65
5.1	Bestehendes CVD-System als Ausgangssituation	65
5.2	Optimiertes Chemikalien-Zuliefersystem (CDS).....	68
5.2.1	Spezifische Reinheitsanforderungen des ALD-Präkursors.....	69
5.2.2	Präkursorleitung (PDS).....	70
5.2.3	Oxidationsmittel-Zuliefersystem (ODS)	73
5.2.4	Erweitertes ALD-Spülsystem (APS)	74
5.2.5	Reinigungssystem für die Präkursorleitung (PCS)	75
5.3	Temperaturregelung	76
6	Hafniumoxid-ALD mittels verschiedener Oxidationsmittel.....	79
6.1	Substratvorreinigung	79
6.1.1	Nasschemische Reinigungsverfahren	79
6.1.2	Optimierter <i>in situ</i> H ₂ -Bake	80
6.2	Abscheidung mit Wasser	82
6.2.1	Prozessparameter	82
6.2.2	Schichtwachstum	84
6.2.3	Gasphasenreaktion und Partikelbildung	85
6.3	ALD mit Tert-Butylalkohol.....	87
6.3.1	Prozessparameter	87
6.3.2	Schichtwachstum	88
6.3.3	Nachweis der Selbstlimitierung.....	93
6.4	ALD mit Ethanol.....	95
6.4.1	Prozessparameter	95
6.4.2	Schichtwachstum	97
6.4.3	Nachweis der Selbstlimitierung.....	98
7	Eigenschaften der Hafniumoxid-Filme	99
7.1	Chemische Zusammensetzung	99
7.2	Oberflächenrauigkeit und Morphologie	104
7.3	Elektrische Eigenschaften	107
7.4	Optimierung der Grenzfläche zum Siliziumsubstrat.....	113
7.4.1	Auswirkungen durch Formiergas-Tempere	114
7.4.2	Reduktion des Grenzflächenoxids	115
8	Schlussfolgerungen und Ausblick	119

Anhang	123
A.1 Herleitung des Modells zur Beschreibung der Depositionskinetik	123
A.2 Bestimmung des Potenzialverlaufs in der MIS-Struktur	125
A.3 Übersichtsschema des optimierten Chemikalien-Zuliefersystems	127
Formelzeichen	129
Abkürzungen	133
Verzeichnisse	135
Abbildungen.....	135
Tabellen.....	137
Literatur	139
Publikationen und Konferenzbeiträge	147
Danksagung	149

