

Dipl.-Ing. Alexander Klös, Hofheim

**Analytische Modellierung
mehrdimensionaler Effekte
in Submikron-MOSFET's**

Reihe **9**: Elektronik

Nr. **261**

Inhalt

1	Einführung	1
2	Kompaktmodellierung von MOSFET's	5
2.1	Anforderungen an Modelle für MOSFET's	5
2.2	Unterscheidung von Modelltypen	6
2.3	Problematik der Parameterextraktion	8
3	Kleingeometrieeffekte in MOSFET's	9
3.1	Schwellspannungsverschiebung	10
3.1.1	Kurzkanaleffekte	11
3.1.2	Schmalkanaleffekte	15
3.1.3	Compensated-MOSFET	18
3.1.4	Spezielle Effekte	19
3.2	Stromgleichungen in starker Inversion	20
3.2.1	Physikalische Grundgleichungen	20
3.2.2	Analytisch geschlossene Stromgleichungen	22
3.2.3	Kanallängenmodulation	23
3.2.4	Spezielle Effekte	24
3.3	Stromgleichungen in schwacher Inversion	25
3.3.1	Physikalische Grundgleichungen	25

3.3.2	Analytisch geschlossene Stromgleichungen	26
3.3.3	Kurzkanaleffekte	27
3.3.4	Schmalkanaleffekte	28
3.4	Zusammenfassende Bewertung	30
4	Mathematische Grundlagen	31
4.1	Die Poisson- und Laplacegleichung	31
4.2	Komplexe Potentialtheorie	32
4.3	Konforme Abbildungen	34
4.3.1	Transformation eines Potentials	34
4.3.2	Konforme Abbildung geschlossener Polygone	34
4.4	Zerlegungsstrategie	36
4.5	Potentiallösung von Randwertproblemen erster Ordnung	37
4.5.1	Potentiallösung in der oberen Halbebene	37
4.5.2	Lösungsverfahren für beliebige Randbedingungen	37
5	Entwicklung von Modellstrukturen	40
5.1	Konzeption der Modellierung	40
5.2	Partikuläre Lösung	42
5.3	Grundelement zur Potentiallösung	42
5.3.1	Konforme Abbildung	44
5.3.2	Potentiallösung für parabelförmige Randbedingungen	45
5.4	Kurzkanalstruktur	47
5.4.1	Kastennäherung des Source-/Draingebietes	49
5.4.2	Einführung von Flächenladungen	50
5.4.3	Randbedingungen des Grundelements	52
5.5	Schmalkanalstruktur	52

5.5.1	Ausdehnung des Feldoxids	53
5.5.2	Einführung von Linienladungen	53
5.5.3	Randbedingungen des Grundelements	55
6	Modellierung der Schwellspannung	57
6.1	Kurzkanaltransistor	58
6.1.1	Homogene Substratdotierung	59
6.1.2	Implantierte Surface-Channel-Strukturen	65
6.1.3	LDD-Strukturen	68
6.1.4	Implantierte Buried-Channel-Strukturen	69
6.1.5	Vergleich der Modelle mit Simulationen und Messungen	75
6.2	Schmalkanaltransistor	85
6.2.1	Randbedingungen	85
6.2.2	Tiefe der Linienladungen	87
6.2.3	Potentiallösung	88
6.2.4	Vergleich zwischen Modell und Simulationen	90
6.3	Kleingeometrietransistor	92
7	Modellierung des Subthresholdstroms	94
7.1	Konzeption der Modellierung	94
7.1.1	Stromgleichung	94
7.1.2	Transformation des Gateoxids	95
7.1.3	Partikuläre Lösung	96
7.2	Kurzkanaltransistor	97
7.2.1	Berechnung des Oberflächenpotentials	97
7.2.2	Lösung der Stromgleichung	100
7.2.3	Vergleich des Modells mit Simulationen	101

7.3	Schmalkanaltransistor	108
7.3.1	Berechnung des Oberflächenpotentials	108
7.3.2	Lösung der Stromgleichung	112
7.4	Kleingeometrietransistor	116
8	Modellierung von Kanallängenmodulationseffekten	117
8.1	Spannungsbezogene Lösung der Stromgleichung	117
8.2	Modellierung der Sättigungsspannung	122
8.3	Vergleich mit Simulationen und Messungen	123
9	Implementierung der Modelle	126
9.1	Auswahl des Simulationswerkzeugs	126
9.2	Übergangsmodellierung	127
9.3	Empirische Beschreibung der Driftsättigungsgeschwindigkeit	129
9.4	Parasitäre Elemente	129
9.5	Implementierung dynamischer Effekte	131
9.5.1	Intrinsische Kapazitäten	132
9.5.2	Parasitäre Kapazitäten	133
9.6	Zusätzlich implementierte Modelle	133
9.6.1	Schwellspannung in Standard-LOCOS-Strukturen	134
9.6.2	Schwellspannung in BC-Strukturen mit Trench-Isolation	134
9.6.3	Auswirkung auf das Subthresholdverhalten	134
9.7	Parameterextraktion am Beispiel von Teststrukturen	135
9.7.1	Verfahren zur sequentiellen Parameterextraktion	137
9.7.2	Bewertung der Ergebnisse	138
10	Zusammenfassung und Ausblick	154

A Fehlerabschätzung der Flächenladungen	157
B Modellgleichungen der intrinsischen Ladungen	159
B.1 Ladungen in starker Inversion	159
B.2 Ladungen im Subthresholdbetrieb	162
Literaturverzeichnis	164