

Inhaltsverzeichnis

1. Der MOS-Feldeffekttransistor, das wichtigste Bauelement innerhalb der Familie der Feldeffekttransistoren	1
2. Der MOS-Transistor als Funktionselement. Grundlagen, Wirkprinzip und Kennlinienmodell	15
2.1 Der MOS-Zweipol	15
2.1.1 Die Raumladungszone	17
2.1.2 Einfluß von Austrittsarbeit und Oberflächenzuständen auf die Flachbandspannung	31
2.1.3 Kapazität des MOS-Zweipols	34
2.1.4 Der MOS-Zweipol mit zugänglicher Inversionsschicht	39
2.2 Der MOS-Transistor. Grundlegende Kennlinieneigenschaften	53
2.2.1 Wirkprinzip. Grundmodell	54
2.3 Verbesserte Modellierung	60
2.3.1 Verallgemeinertes Flächenladungsmodell	61
2.3.1.1 Drift- und Diffusionsstrom-Kennlinienmodell	61
2.3.1.2 Kennlinie im Bereich starker Inversion	66
2.3.1.3 Linearisierung der Verarmungsladung	70
2.3.1.4 Vergleich der Kennlinienmodelle	73
2.3.1.5 Kennlinie bei schwacher Inversion	73
2.3.1.6 Bereich mittlerer Inversion	79
2.3.2 Besondere physikalische Effekte	80
2.3.2.1 Beweglichkeitsmodellierung	80
2.3.2.2 Kanallängenmodulation. Sättigungsverhalten	87
2.3.2.3 Durchbruchverhalten	93
2.3.2.3.1 Lawinendurchbruch	95
2.3.2.3.2 Gatedurchbruch. Schutzmaßnahmen	98
2.3.3 Strom-Spannungsverhalten verschiedener MOSFET	99
2.3.3.1 p-Kanal-Anreicherungs-MOSFET	100
2.3.3.2 n-Kanal-Verarmungs-MOSFET	102
2.3.3.3 MOSFET mit implantiertem Kanal gleichen Leitungstyps zum Substrat	103
2.3.3.4 MOSFET mit implantiertem Kanal entgegengesetzten Leitungstyps, n-Kanal-Verarmungstransistor	114
2.3.3.4.1 Betriebsmoden	118

2.3.3.4.2	Stromfluß. Kennlinie	125
2.3.3.4.3	Verarmungstransistor	128
2.3.3.4.4	Anreicherungstransistor	132
2.4	Der MOSFET bei abnehmenden Geometrien. Kurzkanal- und Schmalkanaleffekte. Submikrometertransistor	134
2.4.1	Geometrieabhängigkeit der Schwellspannung	139
2.4.1.1	Kurzkanalschwellspannung	139
2.4.1.2	Schmalkanalschwellspannung	149
2.4.1.3	Kleingeometrieeffekte	151
2.4.1.4	Kurzkanalschwellspannung des MOSFET mit vergrabenem Kanal	151
2.4.1.5	Kennlinien im Bereich schwacher Inversion bei Kurzkanaleffekt	153
2.4.2	Hochfeldeffekte	155
2.4.2.1	Durchgreifeffekt	156
2.4.2.2	Heißelektroneneffekte	161
2.4.2.2.1	Heiße Ladungsträger im Oxid. Gatestrom	162
2.4.2.2.2	Durchbrucherscheinungen	169
2.4.3	Transporteffekte	173
2.4.3.1	Beweglichkeit, Geschwindigkeitssättigung	174
2.4.3.2	Transporteffekte	177
2.4.4	Source-Drainwiderstände und ihre Auswirkungen	182
2.4.5	Skalierung	186
3.	Der MOSFET im dynamischen Betrieb	192
3.1	Kleinsignalverhalten für tiefe Frequenzen	192
3.1.1	Formale Darstellung. Kleinsignalparameter	193
3.1.2	Kleinsignalparameter	195
3.1.2.1	Gatesteilheit g_m	197
3.1.2.2	Substratsteilheit g_{mb}	201
3.1.2.3	Drainleitwert g_d	203
3.1.2.4	Gate-, Substratdurchgriff	206
3.1.2.5	Einfluß der Bahnwiderstände	207
3.2	Signalverhalten im quasistationären Betrieb	207
3.2.1	Der MOSFET als ladungsgesteuertes Bauelement	209
3.2.1.1	Prinzip der Ladungssteuerung	209
3.2.1.2	Strom-Ladungsbeziehungen	211
3.2.1.3	Ladungsanalyse	217
3.2.1.3.1	Ladungsmodell des Langkanaltransistors	219
3.2.1.3.2	Ladungsmodell des Kurzkanaltransistors	227
3.2.1.3.3	Ladungsmodell des Verarmungstransistors	231
3.2.2	Linearisierung des ladungsgesteuerten MOSFET. Kapazitäten	231
3.2.2.1	Nichttreziproke Kapazität	231
3.2.2.2	Kapazitätsbeziehungen	234

3.2.2.3	Kapazitätsanordnung in der Vierpolersatzschaltung	235
3.2.2.4	Ladung und Kapazitäten	239
3.2.2.5	Parasitäre Elemente	247
3.2.3	Allgemeine Kleinsignalersatzschaltung	248
3.3	Dynamisches Verhalten	251
3.3.1	Modell, Grundgleichungen	251
3.3.2	Quasistatische Betrachtung	253
3.3.3	Substrateinbezug	256
3.3.3.1	Grundgleichung der Kanalspannung und ihre Lösung	256
3.3.3.2	Die Admittanzparameter und Ersatzschaltelemente	262
3.3.4	Ersatzschaltung	267
3.3.4.1	Quasistatische Ersatzschaltung	272
3.3.4.2	Nichtquasistatische Ersatzschaltung	277
3.3.5	Vergleich der Ladungsmodelle	281
3.4	MOSFET-Modelle für den Schaltungsentwurf	288
3.4.1	Kompaktmodelle für die Schaltungssimulation	291
3.4.1.1	Kompaktmodelle für den Digitalschaltungsentwurf	292
3.4.1.2	Kompaktmodelle für den Analogschaltungsentwurf	304
3.4.2	Tabellenmodelle	307
3.5	Schalt- und Impulsverhalten	310
3.5.1	Quasistatisches Schaltverhalten	312
3.5.2	Dynamisches Verhalten	317
3.5.3	Schaltverhalten des dynamischen Grundelementes	320
4.	Bauformen des MOSFET	324
4.1	Der MOSFET in integrierten Schaltungen	324
4.1.1	Bauformen	325
4.1.2	CMOS-Technik	332
4.1.2.1	CMOS-Inverter	335
4.1.2.2	Durchschalteffekt	336
4.1.2.3	Technologieaspekte	338
4.1.3	SOI-MOSFET	340
4.1.3.1	Typische Eigenschaften der MISIS-Grundstruktur	342
4.1.3.2	Kennlinien	353
4.2	Speicherfeldeffekttransistoren	356
4.2.1	MNOSFET	358
4.2.2	Floating-Gate-MOSFET	366
4.3	MOS-Leistungsbaulemente	369
4.3.1	Bauformen	370
4.3.2	Elektrische Eigenschaften	372
4.3.3	Weitere MOS-Leistungsbaulemente	380
4.3.4	Leistungshalbleiter-Schaltkreise	384
4.4	Temperaturverhalten	386
4.4.1	Kanaltemperatur, Temperaturkoeffizienten	386

4.4.2 Verhalten bei sehr tiefer Temperatur	391
4.4.3 Thermisch-elektrische Wechselwirkung in MOSFETs	392
 Anhang	 398
 Literaturverzeichnis	 408
 Sachverzeichnis	 432