

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einführung in die Halbleiter-Physik | 1 |
| 1.1 | Bandstrukturen | 1 |
| 1.2 | Halbleiter und Isolatoren | 3 |
| 1.2.1 | Das Löchermodell | 7 |
| 1.3 | Silizium | 7 |
| 1.3.1 | Reines Silizium | 7 |
| 1.3.2 | Dotiertes Silizium | 9 |
| 1.4 | Der gestörte Halbleiter | 14 |
| 1.4.1 | Drift und Diffusion | 15 |
| 1.4.2 | Generations- und Rekombinationsstatistik | 18 |
| 1.4.3 | Zustandsgleichungen | 19 |
| 1.5 | Wichtige Formeln | 23 |
| 2 | Inhomogene Halbleiter | 24 |
| 2.1 | Der pn-Übergang | 24 |
| 2.2 | pn-Übergang mit Vorspannung | 31 |
| 2.3 | Spannungs- und Stromcharakteristik der Diode | 35 |
| 2.4 | Wichtige Formeln | 42 |
| 3 | Der MOS-Kondensator | 44 |
| 3.1 | Die Schwellenspannung | 45 |
| 3.2 | Einfache Theorie des MOS-Kondensators | 47 |
| 3.3 | Ergänzungen zur Theorie des MOS-Kondensators | 51 |
| 3.3.1 | Austrittsarbeitsdifferenz | 51 |
| 3.3.2 | Oxidladungen | 54 |
| 3.3.3 | Oberflächenzustände | 55 |
| 3.3.4 | Durchführung und Auswertung von C(U)-Messungen | 57 |
| 3.4 | Wichtige Formeln | 58 |
| 4 | MOS-Transistor | 59 |
| 4.1 | Das einfachste MOS-Transistormodell | 59 |
| 4.2 | Der PMOS-Transistor | 68 |
| 4.3 | Ergänzungen zum einfachen MOS-Modell | 71 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.3.1 | Die Querfeldbeweglichkeitsreduktion | 71 |
| 4.3.2 | Der Substrateffekt | 72 |
| 4.3.3 | Die schwache Inversion | 73 |
| 4.3.4 | Durchbruchseffekte | 74 |
| 4.3.5 | Latchup | 78 |
| 4.4 | Feinstruktureffekte | 80 |
| 4.4.1 | Kurzkanaleffekt | 81 |
| 4.4.2 | Hot-Electron-Effect | 82 |
| 4.5 | Spezielle MOS-Strukturen | 84 |
| 4.5.1 | Depletion-Transistoren | 84 |
| 4.5.2 | Spannungsfeste MOS-Transistoren | 85 |
| 4.5.3 | Programmierbare MOS-Transistoren | 88 |
| 4.5.4 | Charge-Coupled-Device | 90 |
| 4.6 | Wichtige Formeln: | 92 |
| 5 | CMOS-Technologie | 95 |
| 5.1 | Einleitung | 95 |
| 5.1.1 | Isolation | 95 |
| 5.2 | Grundlegende Fertigungsschritte | 96 |
| 5.2.1 | Fotolithographie | 97 |
| 5.2.2 | Ionenimplantation | 106 |
| 5.2.3 | Diffusion | 108 |
| 5.2.4 | Schichterzeugung | 113 |
| 5.2.5 | Schichtstrukturierung | 125 |
| 5.2.6 | Reinigungsprozesse | 129 |
| 5.3 | Halbleiter-Prozesse | 131 |
| 5.3.1 | Ein hypothetischer CMOS-Prozess | 131 |
| 5.3.2 | Prozessergänzungen | 143 |
| 6 | Der Inverter | 151 |
| 6.1 | Last- und Schaltelemente, Grundfunktionen | 151 |
| 6.1.1 | Inverter mit ohmscher Last | 153 |
| 6.1.2 | Inverter mit Enhancement-Last | 156 |
| 6.1.3 | Inverter mit Depletion-Last | 162 |
| 6.1.4 | Der CMOS-Inverter | 164 |
| 6.1.5 | Störfestigkeit | 167 |
| 6.1.6 | Vergleich der Invertertypen | 168 |
| 6.2 | Dynamisches Verhalten von MOS-Invertern | 169 |
| 6.2.1 | Entladung (Abfallzeit) | 170 |
| 6.2.2 | Aufladung über eine Depletion-Last (Anstiegszeit) | 173 |
| 6.2.3 | Anstiegszeit des CMOS-Inverters | 176 |
| 7 | Verstärker, Treiber und Gatter | 180 |
| 7.1 | Verstärker | 180 |
| 7.2 | Treiberschaltungen | 181 |

| | |
|--|------------|
| Inhaltsverzeichnis | XI |
| 7.3 Logische Gatter | 184 |
| 7.4 Komplex-Gatter | 186 |
| 7.5 Dynamische Gatter | 192 |
| 8 Flip-Flops, RAM und ROM | 196 |
| 8.1 Flip-Flops | 196 |
| 8.2 Speicher, RAM und ROM | 197 |
| 9 Ein- und Ausgangsschaltungen | 202 |
| 9.1 Ausgangstreiber | 202 |
| 9.2 Eingangsschaltungen | 204 |
| 10 Entwurfsunterlagen | 215 |
| 10.1 Design-Regeln | 215 |
| 10.2 Elektrische Entwurfsunterlagen | 220 |
| 10.3 Teststrukturen | 222 |
| 11 Entwurfswerkzeuge | 224 |
| 11.1 Grafische Editoren | 224 |
| 11.2 Simulatoren | 227 |
| 11.2.1 Prozesssimulatoren | 229 |
| 11.2.2 Devicesimulation | 232 |
| 11.2.3 Schaltungs-Simulatoren (analog) | 234 |
| 11.2.4 Digital-Simulatoren | 240 |
| 11.2.5 Hardware Beschreibungssprachen | 246 |
| 11.3 Hilfsprogramme | 248 |
| 11.3.1 Platzierung und Verdrahtung | 248 |
| 11.3.2 Überprüfungsprogramme | 249 |
| 12 Entwurfssystematik | 251 |
| 12.1 Entwurfsstrategien | 252 |
| 12.1.1 Der Standardzellen-Entwurf | 253 |
| 12.1.2 Der Gate-Array-Entwurf | 253 |
| Literatur zur CMOS-Technologie | 259 |
| Formelzeichen und Abkürzungen | 262 |
| Physikalische Konstanten | 264 |
| Index | 265 |