

Inhaltsverzeichnis

Bezeichnungen und Symbole	13
1 Einleitung	16
2 Herstellung integrierter Schaltungen	20
2.1 Struktur einer integrierten Bipolarschaltung	20
2.2 Schritte bei Entwurf und Herstellung integrierter Schaltungen – eine Übersicht	22
2.3 Technologische Verfahren der Silizium-Planartechnik. Prozeßfolge	31
2.3.1 Fotolack- und Ätztechnik	31
2.3.2 Herstellung der Substratscheiben	33
2.3.3 Epitaxie	33
2.3.4 Dotierungsverfahren	34
2.3.4.1 Dotierungselemente in der Silizium-Planartechnik	34
2.3.4.2 Dotierungsverlauf in einem integrierten Transistor	35
2.3.4.3 Diffusion von Dotierungsatomen	37
2.3.4.4 Ionenimplantation	42
2.3.5 Herstellung von Siliziumdioxid-Schichten	45
2.3.6 Metallisierung	46
2.3.7 Prozeßfolge bei der Integration	49
2.4 Einige spezielle Isolationsverfahren	51
3 Elemente integrierter Schaltungen – Aufbau, Eigenschaften, Dimensionierung	56
3.1 Widerstände	57
3.1.1 Spezifischer Widerstand und Driftbeweglichkeit	57
3.1.2 Dimensionierung eines typischen integrierten Widerstandes	59
3.1.3 Weitere Widerstandsformen	62
3.1.4 Quantitativer Zusammenhang zwischen Schichtwiderstand und Dotierungsprofil. Messung des Schichtwiderstandes	66
3.2 Leiterbahnkreuzungen	68

3.3 Kondensatoren und parasitäre Kapazitäten	70
3.3.1 Berechnung der Sperrsichtkapazitäten	71
3.3.2 Ausführungsformen integrierter Kondensatoren	74
3.4 pn-Dioden	76
3.5 Schottky-Dioden	78
3.6 Integrierte Transistorstrukturen	80
3.6.1 Zusammenfassung mehrerer npn-Transistoren	80
3.6.2 pnp-Transistoren	81
3.7 Ersatzschaltbilder und Kenngrößen integrierter Transistoren	85
3.7.1 Transistorersatzschaltbilder	85
3.7.2 Einige wichtige Transistorparameter	91
3.7.2.1 Stromverstärkung	91
3.7.2.2 Durchlaßspannung der Basis-Emitter-Diode	93
3.7.2.3 Basisbahnwiderstand	95
3.7.2.4 Restspannung (Sättigungsspannung) und Kollektorbahnwiderstand	99
3.7.2.5 Transitfrequenz und Basislaufzeit	100
3.7.2.6 Sättigungszeitkonstante	103
3.7.2.7 Sperrsichtkapazitäten	104
3.7.3 Zahlenbeispiel zu den Transistorparametern	105
3.7.4 Dimensionierung des Transistors zur Vermeidung von Hochstromeffekten	108
3.7.5 Kompromisse bei der Wahl der Transistorparameter	111
4 Integrierte Digitalschaltungen	114
4.1 Die wichtigsten Kenngrößen digitaler Grundschaltungen	114
4.1.1 Logische Grundfunktionen	114
4.1.2 Übertragungskennlinie und Spannungspegel	115
4.1.3 Störabstände	116
4.1.4 Verlustleistung	119
4.1.5 Definition der Schaltzeiten	121
4.1.6 Gütemaß integrierter Digitalschaltungen ($t_D P$ -Produkt)	122
4.2 Der Transistorinverter als einfachste Digitalschaltung	123
4.2.1 Der gesättigte Transistorinverter	124
4.2.1.1 Spannungspegel und Kennlinien	124
4.2.1.2 Schaltverhalten	127
4.2.2 Der ungesättigte Transistorinverter mit Schottky-Diode	131
4.2.2.1 Vorbemerkung und Prinzip	131
4.2.2.2 Ausführung und Dimensionierung eines SD-Transistors	134
4.2.2.3 Vergleich der SD-Technik mit gesättigten Schaltungen	137
4.3 Direkt gekoppelte Transistorlogik (DCTL) und Widerstand-Transistor-Logik (RTL)	137

4.4 Dioden-Transistor-Logik (DTL)	139
4.4.1 Prinzipielle Funktionsweise und Grundschaltungen	139
4.4.2 DTL mit Schottky-Dioden	142
4.5 DTL mit hohem Störabstand	143
4.6 Transistor-Transistor-Logik (TTL)	144
4.6.1 Prinzipielle Funktionsweise, Vergleich mit der DTL	145
4.6.2 Grundgatter der gesättigten Standardfamilie	148
4.6.2.1 NAND-Gatter mit offenem Kollektor am Ausgang	148
4.6.2.2 NAND-Gatter mit Gegentaktausgang	150
4.6.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Eigenschaften des Gegentaktausgangs. Die „Tri-State-TTL“	156
4.6.4 „Interne“ TTL-Gatter	158
4.6.5 Ungesättigte TTL-Schaltungen mit Schottky-Dioden	158
4.6.6 Einige Daten verschiedener TTL-Familien	163
4.7 Stromschaltertechnik (ECL, E²CL u. a.)	164
4.7.1 Der Stromschalter	164
4.7.2 Zwei wichtige Schaltungskonzepte der Stromschaltertechnik: ECL und E ² CL	167
4.7.3 Leitungsansteuerung mit ECL- und E ² CL-Schaltungen, Vergleich mit der TTL	170
4.7.4 Ein typisches ECL-Gatter	174
4.7.5 ECL mit verbesserter Spannungs- und Temperatur- kompensation	178
4.7.6 Spezielle Schaltungsprinzipien der ECL	179
4.7.7 Einige Daten verschiedener ECL-Familien	181
4.7.8 ECL-Schaltungen mit kleiner Verlustleistung. Die rückgekoppelte ECL	183
4.8 Schaltkreistechniken und Systemkonzepte für hochintegrierte Logikbausteine	185
4.8.1 Technische Voraussetzungen für einen hohen Integrationsgrad	187
4.8.2 Grundgatter für hochintegrierte Schaltungen	189
4.8.3 Integrierte Injektionslogik (I ² L bzw. MTL)	192
4.8.3.1 Prinzip und grundlegende Eigenschaften	192
4.8.3.2 Realisierung logischer Funktionen	196
4.8.3.3 Ausgangsfächerung und Bedeutung der „Aufwärts- stromverstärkung“	196
4.8.3.4 Technologische Realisierung	198
4.8.3.5 Ein- und Ausgangsstufen	200
4.8.3.6 Verzögerungszeit eines I ² L-Gatters	201
4.8.3.7 Maßnahmen zur Verringerung der Schaltzeit. I ² L mit Schottky-Dioden	204
4.8.4 Eine grundlegende Bemerkung zum Leistungsverbrauch und zum $t_{\text{d}}P$ -Produkt bipolarer Digitalschaltungen	207
4.8.5 Systemkonzepte für hochintegrierte Logikbausteine	209

4.9 Bipolarspeicher	215
4.9.1 Vorbemerkung zu den Halbleiterspeichern	215
4.9.2 Lese/Schreib-Speicher	218
4.9.2.1 Aufbau eines Speicherchips	218
4.9.2.2 Speicherzellen	220
4.9.3 Festwertspeicher	232
4.9.3.1 Maskenprogrammierte Festwertspeicher (ROM)	232
4.9.3.2 Elektrisch programmierbare Festwertspeicher (PROM)	234
4.9.4 Daten einiger käuflicher Bipolarspeicher	237
5 Integrierte Analogschaltungen	240
5.1 Vorbemerkung	240
5.2 Das Transistorpaar, Offsetstrom und Offsetspannung	242
5.3 Stromspiegelschaltungen	245
5.3.1 Grundschaltung – Eigenschaften und Anwendungen	245
5.3.2 Modifizierte Stromspiegelschaltungen	250
5.4 Differenzverstärker	256
5.4.1 Differenzverstärker mit Emitterkopplung, Grundschaltung und Varianten	256
5.4.2 Differenzverstärker mit Basiskopplung	263
5.4.3 Differenzverstärker mit kleinen Eingangsruhestromen	265
5.5 Endstufen	268
5.6 Einfache Referenzspannungsschaltungen	271
5.7 Bandabstands-Referenz	274
5.8 Multiplizierer	277
5.9 Operationsverstärker	280
5.9.1 Idealer und realer Operationsverstärker	280
5.9.2 Schaltung und Eigenschaften eines typischen Operationsverstärkers	282
5.9.3 Weitere Typen von Operationsverstärkern	287
6 Anhang	291
Literaturverzeichnis	298
Sachverzeichnis	315