

# Inhaltsverzeichnis

<b>Bezeichnungen und Symbole</b> . . . . .	13
<b>1 Einleitung.</b> . . . . .	16
<b>2 Herstellung integrierter Schaltungen</b> . . . . .	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
<b>3 Elemente integrierter Schaltungen – Aufbau, Eigenschaften,     Dimensionierung</b> . . . . .	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 Sperrschichtkapazitäten . . . . .	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 Kollektor- bahnwiderstand . . . . .	99
3.7.2.5	Transitfrequenz und Basislaufzeit . . . . .	100
3.7.2.6	Sättigungszeitkonstante . . . . .	103
3.7.2.7	Sperrschichtkapazitäten . . . . .	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
<b>4</b>	<b>Integrierte Digitalschaltungen . . . . .</b>	<b>114</b>
4.1	Die wichtigsten Kenngrößen digitaler Grundsaltungen . . . . .	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 ( $t_P P$ -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, E <sup>2</sup> CL u. a.) . . . . .	164
4.7.1 Der Stromschalter . . . . .	164
4.7.2 Zwei wichtige Schaltungskonzepte der Stromschaltertechnik: ECL und E <sup>2</sup> CL . . . . .	167
4.7.3 Leitungsansteuerung mit ECL- und E <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> L-Gatters . . . . .	201
4.8.3.7 Maßnahmen zur Verringerung der Schaltzeit. I <sup>2</sup> L mit Schottky-Dioden . . . . .	204
4.8.4 Eine grundlegende Bemerkung zum Leistungsverbrauch und zum $t_D P$ -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
<b>5 Integrierte Analogschaltungen . . . . .</b>	<b>240</b>
5.1 Vorbemerkung . . . . .	240
5.2 Das Transistorpaar, Offsetstrom und Offsetspannung . . . . .	242
5.3 Stromspiegelschaltungen. . . . .	245
5.3.1 Grundschialtung – Eigenschaften und Anwendungen . . . . .	245
5.3.2 Modifizierte Stromspiegelschaltungen . . . . .	250
5.4 Differenzverstärker . . . . .	256
5.4.1 Differenzverstärker mit Emittterkopplung, Grundschialtung und Varianten . . . . .	256
5.4.2 Differenzverstärker mit Basiskopplung . . . . .	263
5.4.3 Differenzverstärker mit kleinen Eingangsruheströmen . . . . .	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
<b>6 Anhang . . . . .</b>	<b>291</b>
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>298</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>315</b>