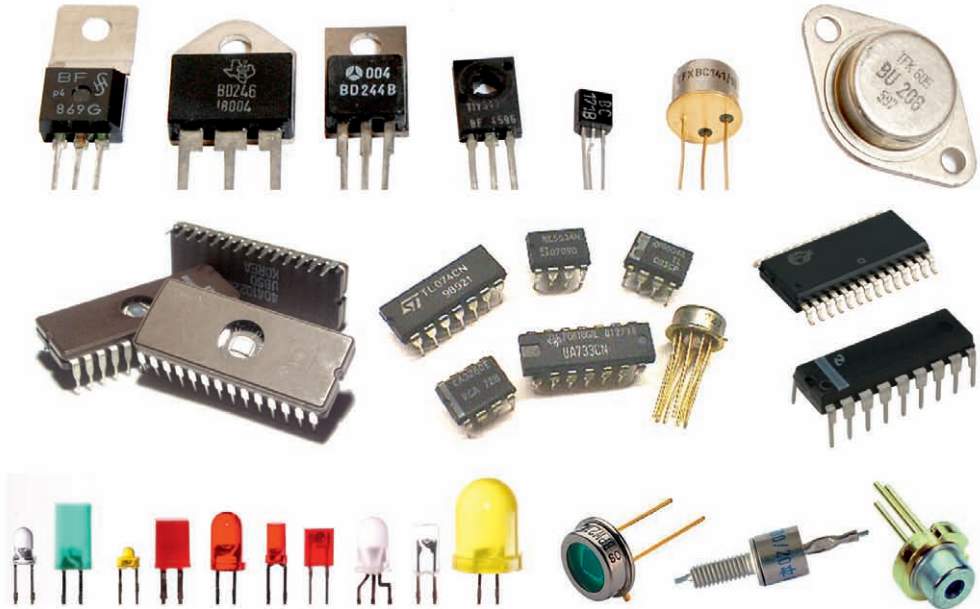


Leonhard Stiny



Handbuch aktiver elektronischer Bauelemente

Aufbau, Strukturen, Wirkungsweise, Eigenschaften und praktischer Einsatz diskreter und integrierter Halbleiter-Bauteile

Vorwort

Dieses Buch stellt allen, ob in Ausbildung, Lehre, Studium oder Beruf, detailliertes, umfangreiches und in der Elektronikpraxis anwendbares Wissen über aktive elektronische Bauelemente zur Verfügung. Dabei werden nicht nur die im eigentlichen Sinne aktiven, sondern alle auf Halbleitern basierenden Bauteile behandelt. Das Werk vermittelt ausführliche Kenntnisse über Aufbau, Eigenschaften, Funktionsweise und Einsatzmöglichkeiten dieser Bauelemente. Es kann als Lehrbuch im Studium, in der beruflichen Fortbildung, zum Selbststudium und als Nachschlagewerk in der Laborpraxis verwendet werden. Das Buch bildet eine Brücke zwischen den physikalischen Grundlagen von Halbleiter-Bauelementen und deren ingenieurtechnischen Anwendungen in der Praxis der modernen Elektronik. Dabei werden auch neueste Bausteine der Computertechnologie behandelt.

Damit der Anwender elektronische Bauelemente in Schaltungen zu fehlerfreien und betriebssicheren Funktionseinheiten, Baugruppen oder Geräten zusammenfügen kann, muss er die Wirkungsweise dieser Bauelemente verstanden haben. Nur das Wissen über ihre Kenngrößen und speziellen Eigenschaften ermöglicht es, entsprechend Datenblattangaben und Herstellerunterlagen die optimalen Bauteile für eine bestimmte Anwendung auszuwählen. Sowohl für die Analyse elektronischer Schaltungen als auch bei der Schaltungsdimensionierung sind Kenntnisse von Aufbau und Funktionsweise der eingesetzten Bauelemente der Halbleiterelektronik unbedingt erforderlich.

Die theoretischen und physikalischen Grundlagen der Halbleitertechnik werden als Grundgerüst vermittelt. Auf dieser Basis werden für alle Halbleiter-Bauelemente Aufbau und Wirkungsweise erläutert, spezifische Merkmale, Daten, Kenngrößen und Charakteristiken angegeben und deren Bedeutung erklärt. Für die verschiedenen Typen von Bauteilen werden übersichtlich die Vor- und Nachteile sowie mögliche Anwendungen aufgezeigt. Dabei werden alle technischen Aspekte von der Herstellung bis zum Einsatz betrachtet. Durch zahlreiche Abbildungen wird eine Vorstellung von Aufbau und Aussehen der Bauelemente vermittelt. Viele Tabellen und Beispiele mit Berechnungen unterstützen die Auswahl, Dimensionierung und Anwendung von elektronischen Halbleiter-Bauelementen. Einen in der Praxis verwertbaren Nutzen liefern in diesem Werk allgemein gehaltene, für jeden Einsatzfall gültige Beschreibungen, welche auf spezielle Ansätze leicht anpassbar und erweiterbar sind. So findet man Formeln für den täglichen Gebrauch in der Laborpraxis, aber auch ihre Herleitungen, um den theoretischen Hintergrund komplexer Sachverhalte verständlich zu machen.

An dieser Stelle sei noch auf mein Werk »Handbuch passiver elektronischer Bauelemente« (Franzis Verlag) hingewiesen, welches alle Aspekte dieser großen Gruppe von Bauteilen der Elektronik behandelt.

Haag a. d. Amper, im Juni 2009

Leonhard Stiny

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	17
2	Grundlagen der Halbleiter	21
2.1	Halbleiter im Periodensystem der Elemente	21
2.2	Halbleiter zwischen Nichtleiter und Leiter	23
2.3	Aufbau der Atome	23
2.3.1	Bohrsches Atommodell	24
2.3.2	Elektronenpaarbindung, Kristallgitter	25
2.3.3	Schalenmodell und Wechselwirkung	28
2.3.4	Bändermodell und Fermi-Statistik	29
2.4	Direkte und indirekte Halbleiter	36
2.4.1	Quanten und Wellen	36
2.4.2	Direkte Rekombination	38
2.4.3	Indirekte Rekombination	38
2.5	Eigenleitung	39
2.5.1	Eigenleitungsdichte	40
2.5.2	Ladungsträgerlebensdauer	43
2.5.3	Beweglichkeit	44
2.6	Störstellenleitung	45
2.6.1	Dotieren	45
2.6.2	Störstellenleitung im Bändermodell	47
2.6.3	Allgemeines zu dotierten Halbleitern	48
2.6.4	Einfluss der Temperatur auf dotierte Halbleiter	49
2.6.5	Auswirkung der Temperatur auf Halbleiterbauelemente	50
3	Der pn-Übergang	51
3.1	Der pn-Übergang ohne äußere Spannung	51
3.1.1	Der ideale abrupte pn-Übergang	51
3.1.2	Diffusion und Rekombination im pn-Grenzgebiet	52
3.1.3	Ladungsträgerdichte	53
3.1.4	Raumladungsdichte	55
3.1.5	Diffusionsspannung	55
3.1.6	Sperrschichtweite	57
3.1.7	Sperrschichtkapazität	58
3.1.8	Energiebänder-Modell des pn-Übergangs	58
3.2	Der pn-Übergang mit äußerer Spannung	59
3.2.1	Äußere Spannung in Sperrrichtung	59

3.2.2	Äußere Spannung in Flussrichtung.....	64
3.3	Durchbruchmechanismen beim pn-Übergang	68
3.3.1	Lawinen-Durchbruch.....	68
3.3.2	Zener-Durchbruch.....	70
3.3.3	Überlappung von Lawinen- und Zener-Effekt.....	72
3.3.4	Thermischer Durchbruch (2. Durchbruch).....	72
3.3.5	Durchgriff (punch-through)	73
3.4	Schaltverhalten des pn-Übergangs	75
3.4.1	Einschaltvorgang	75
3.4.2	Aus- und Umschaltvorgang	76
3.5	Gesamtkennlinie des pn-Übergangs	78
3.6	Halbleiter-Metall-Übergang.....	79
4	Halbleiterdioden	81
4.1	Ausführung.....	81
4.2	Aufbau.....	81
4.3	Elektrische Funktion	82
4.4	Bauarten.....	83
4.5	Verhalten einer Diode	84
4.5.1	Kennlinienbereiche.....	84
4.5.2	Näherungen für die Diodenkennlinie.....	87
4.5.3	Beschreibung durch Gleichungen	90
4.5.4	Bestimmung der Diodenparameter mit Regressionsverfahren	92
4.5.5	Kleinsignalverhalten von Dioden	94
4.5.6	Schaltverhalten von Dioden.....	97
4.6	Temperaturabhängigkeit der Diodenparameter.....	101
4.6.1	Temperaturabhängigkeit des Sperrstromes.....	101
4.6.2	Temperaturabhängigkeit der Durchlassspannung.....	102
4.6.3	Zusammenfassung: Temperaturabhängigkeit der Diodenparameter..	103
4.7	Kenn- und Grenzdaten von Dioden.....	103
4.7.1	Grenzspannungen	104
4.7.2	Grenzströme	104
4.7.3	Sperrstrom	104
4.7.4	Maximale Verlustleistung	105
4.8	Auszüge aus Datenblättern von Dioden	105
4.8.1	Silizium-Epitaxial-Planar-Diode 1N 4148	105
4.8.2	Silizium-Diffusions-Dioden 1N 4001...1N 4007.....	109
4.9	Herstellungsmethoden für pn-Übergänge.....	111
4.9.1	Legierungstechnik	111
4.9.2	Planartechnik	112
4.10	Aufbau von Halbleiterdioden	115
4.10.1	Einzeldiode.....	115
4.10.2	Integrierte Diode.....	120

4.11	Diodentypen	121
4.11.1	Schaltdiode, Universaldiode	121
4.11.2	Gleichrichterdiode	121
4.11.3	Schottky-Diode	121
4.11.4	Suppressordiode	122
4.11.5	Temperatursensoren	125
4.11.6	DIAC	125
4.11.7	Zenerdiode, Z-Diode	129
4.11.8	Avalanchediode	131
4.11.9	Stromregeldiode	131
4.11.10	Leuchtdiode (Lumineszenzdiode, LED)	132
4.11.11	Organische Leuchtdiode (OLED)	144
4.11.12	Laserdiode (LD)	149
4.11.13	Fotodiode	160
4.11.14	Solarzelle	170
4.11.15	Kapazitätsdiode (Varaktor-Diode)	180
4.11.16	pin-Diode	186
4.11.17	Tunneldiode (Esaki-Diode)	189
4.11.18	Rückwärtsdiode (Backwarddiode)	195
4.11.19	Gunndiode	196
4.11.20	IMPATT-Diode	202
4.11.21	TRAPATT-Diode	205
4.11.22	BARITT-Diode	206
4.11.23	DOVETT-Diode	207
4.11.24	Ladungsspeicherungsdiode	207
4.11.25	Speicherschaltodiode (Step-Recovery-Diode)	208
4.11.26	Magnetdiode	209
5	Bipolare Transistoren	213
5.1	Definition und Klassifizierung von Transistoren	213
5.2	Grundsätzlicher Aufbau des Transistors	216
5.3	Richtung von Strömen und Spannungen	217
5.4	Betriebszustände (Arbeitsbereiche)	218
5.4.1	Aktiver Zustand (Normalbetrieb, Vorwärtsbetrieb)	218
5.4.2	Gesättigter Zustand (Sättigungsbetrieb)	219
5.4.3	Gesperrter Zustand (Sperrbetrieb)	219
5.4.4	Inverser Zustand (Inversbetrieb, Rückwärtsbetrieb)	219
5.5	Signaldynamik und Signalgröße	220
5.6	Funktionsweise	220
5.7	Die drei Grundschaltungen des Bipolartransistors	226
5.8	Einsatz als Verstärker oder Schalter	226
5.8.1	Verstärkerbetrieb	227
5.8.2	Schalterbetrieb	228

5.9	Kennlinien des Transistors.....	229
5.9.1	Eingangskennlinie	229
5.9.2	Ausgangskennlinie	233
5.9.3	Steuerkennlinien	239
5.9.4	Rückwirkungskennlinie.....	241
5.9.5	Vierquadranten-Kennlinienfeld	242
5.10	Durchbruchspannungen und Grenzströme.....	245
5.10.1	Durchbruch 1. Art.....	245
5.10.2	Durchbruch 2. Art.....	246
5.10.3	Grenzströme	247
5.11	Maximale Verlustleistung	247
5.11.1	Statischer Betrieb	247
5.11.2	Pulsbetrieb	250
5.12	Erlaubter Arbeitsbereich	251
5.13	Rauschen beim Bipolartransistor	252
5.13.1	Allgemeines zum Rauschen	252
5.13.2	Beschreibung stochastischer Signale	254
5.13.3	Rauschquellen beim Bipolartransistor	262
5.13.4	Rauschzahl.....	265
5.14	Beschreibung durch Gleichungen	268
5.15	Abhängigkeiten der Stromverstärkung.....	270
5.15.1	Abhängigkeit der Stromverstärkung vom Arbeitspunkt.....	270
5.15.2	Abhängigkeit der Stromverstärkung von der Grundschialtung.....	271
5.15.3	Stromverstärkung in Abhängigkeit der Frequenz, Grenzfrequenzen ..	273
5.16	Dynamisches Schaltverhalten des Bipolartransistors.....	275
5.16.1	Schaltzeiten	276
5.17	Modelle und Ersatzschaltungen des Bipolartransistors.....	279
5.17.1	Die physikalische Ersatzschaltung.....	281
5.17.2	Die formale Ersatzschaltung	291
5.17.3	Wechselstrom-Kleinsignalersatzschaltbild.....	306
5.18	Aufbau und Herstellungserfahren von Bipolartransistoren	308
5.18.1	Spitzentransistor	308
5.18.2	Legierungstransistor	309
5.18.3	Mesatransistor	309
5.18.4	Planartransistor.....	310
5.19	Hetero-Bipolartransistor (HBT)	316
5.20	Darlington-Transistor	320
5.20.1	Verlauf der Stromverstärkung	321
5.20.2	Schaltverhalten	324
5.20.3	Kleinsignalverhalten	325
5.20.4	Weitere Besonderheiten des Darlington-Transistors.....	325

6	Feldeffekttransistoren	327
6.1	Allgemeine Eigenschaften.....	327
6.2	Funktionsprinzip und Klassifikation.....	328
6.2.1	Praxis mit Feldeffekttransistoren.....	332
6.2.2	Unterschiede zwischen unipolaren und bipolaren Transistoren	333
6.3	Die drei Grundschaltungen des Feldeffekttransistors	334
6.4	Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise des Sperrschicht-FET	335
6.4.1	JFET ohne äußere Spannung	335
6.4.2	U_{GS} variabel, U_{DS} klein und konstant	336
6.4.3	U_{DS} variabel, $U_{GS} = 0$	337
6.4.4	U_{DS} und U_{GS} variabel	339
6.4.5	Kennlinien des JFET, Beschreibung durch Gleichungen	340
6.4.6	Temperaturabhängigkeit der JFET-Parameter.....	345
6.5	Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise des MOSFETs.....	346
6.5.1	MOS-Kondensator, Grundlagen des MOSFETs	346
6.5.2	Aufbau eines n-Kanal-MOSFETs	349
6.5.3	Wirkungsweise des n-Kanal-MOSFETs, Anreicherungstyp.....	351
6.5.4	Wirkungsweise des n-Kanal-MOSFETs, Verarmungstyp.....	355
6.5.5	Kennlinien des MOSFETs, Beschreibung durch Gleichungen	357
6.5.6	MOSFET als steuerbarer Widerstand	362
6.5.7	Temperaturabhängigkeit der MOSFET-Parameter	365
6.6	Modelle und Ersatzschaltungen des Feldeffekttransistors.....	367
6.6.1	Statisches Verhalten.....	367
6.6.2	Dynamisches Verhalten	368
6.6.3	Kleinsignalmodell.....	369
6.7	Grenzdaten und Sperrströme	374
6.7.1	Durchbruchspannungen	374
6.7.2	Grenzströme	375
6.7.3	Sperrströme.....	376
6.7.4	Maximale Verlustleistung	376
6.7.5	Erlaubter Arbeitsbereich	377
6.8	Der FET als Schalter	377
6.8.1	Schaltstufen mit FET	377
6.8.2	Dynamisches Verhalten von FET-Schaltstufen	379
6.9	Rauschen beim Feldeffekttransistor.....	380
6.10	Spezielle Bauformen von Feldeffekttransistoren	381
6.10.1	Leistungs-MOSFETs	381
6.10.2	Intelligente Leistungs-FETs.....	387
6.10.3	Weitere Bauformen von FETs.....	388
6.11	Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT).....	394
6.11.1	Struktureller Aufbau	395
6.11.2	NPT- und PT-Struktur.....	395
6.11.3	Funktionsweise.....	398

6.11.4	IGBT Latch-Up	400
6.11.5	Kennlinien	402
6.11.6	Schaltverhalten	404
6.11.7	Trench-IGBT	407
7	Thyristoren	409
7.1	Einteilung der Thyristoren	409
7.2	Einrichtungs-Thyristortriode (Thyristor)	410
7.2.1	Grundlagen der Funktionsweise	410
7.2.2	Aufbau	412
7.2.3	Strom-Spannungs-Kennlinie	414
7.2.4	Der Zündvorgang	417
7.2.5	Löschen des Thyristors	422
7.2.6	Kennlinie des Steuerkreises	422
7.2.7	Temperaturabhängigkeit	424
7.2.8	Dynamische Eigenschaften	424
7.2.9	Spannungs- und Stromgrenzwerte	429
7.2.10	Phasenanschnittsteuerung mit Thyristor	429
7.2.11	Zusammenfassung der Eigenschaften von Thyristoren	432
7.2.12	Vergleich von Thyristor und mechanischem Schalter	432
7.3	Spezielle Bauformen des Thyristors	433
7.3.1	Zweirichtungs-Thyristordiode (TRIAC)	433
7.3.2	Einrichtungs-Thyristortetrode	436
7.3.3	Asymmetrisch sperrende Thyristoren	436
7.3.4	Gate Turn-Off Thyristor (GTO)	437
7.3.5	MOS-gesteuerter Thyristor (MCT)	440
7.3.6	Lichtgesteuerter Thyristor (LTT)	442
7.3.7	Feldgesteuerter Thyristor (FCT)	443
7.3.8	Gate-Commutated Thyristor (GCT, IGCT)	444
7.3.9	Unijunction-Transistor (UJT)	445
8	Operationsverstärker	449
8.1	Allgemeines, Überblick	449
8.2	Schaltsymbol, Anschlüsse	450
8.3	Ausführungsformen	451
8.4	Betriebsspannungen	452
8.5	Operationsverstärker-Typen	453
8.5.1	Normaler Operationsverstärker	454
8.5.2	Transkonduktanz-Verstärker	455
8.5.3	Transimpedanz-Verstärker	456
8.5.4	Strom-Verstärker	456
8.6	Der normale Operationsverstärker	457
8.6.1	Begriffsdefinitionen	457

8.6.2	Differenzverstärkung, Leerlaufspannungsverstärkung V_0	459
8.6.3	Übertragungskennlinie	460
8.6.4	Gleichtaktverstärkung, Gleichtaktunterdrückung	461
8.6.5	Eingangswiderstände	463
8.6.6	Ausgangswiderstand	465
8.6.7	Eingangsströme	466
8.6.8	Offsetspannung	468
8.6.9	Verstärkungseinstellung durch Gegenkopplung	471
8.6.10	Verstärkungs-Bandbreiteprodukt	472
8.6.11	Frequenzgangkorrektur	474
8.6.12	Spannungsbereich und Stromaufnahme	487
8.6.13	Temperaturbereich	488
8.6.14	Anstiegsgeschwindigkeit	488
8.6.15	Maximale Ausgangsspannung	490
8.6.16	Einschwingzeit (Settling Time)	490
8.6.17	Zeitverzögerung nach Überlast	491
8.6.18	Rauschen	491
8.7	Der ideale Operationsverstärker	494
8.8	Interner Aufbau von Operationsverstärkern	495
8.8.1	Übersicht	495
8.8.2	Die Eingangsstufe (Differenzverstärker)	496
8.8.3	Die Koppelstufe	501
8.8.4	Die Ausgangsstufe	502
8.9	Tipps zum praktischen Einsatz von Operationsverstärkern	503
9	Grundlagen integrierter Halbleiterschaltungen	505
9.1	Allgemeines zu integrierten Schaltungen	505
9.1.1	Definition und Arten der Integration	505
9.1.2	Vor- und Nachteile integrierter Schaltungen	511
9.1.3	Einteilung integrierter Schaltungen	512
9.2	Kenngrößen digitaler Schaltkreise	517
9.2.1	Betriebsspannung	517
9.2.2	Pegelbereiche und Übertragungskennlinie logischer Schaltungen	518
9.2.3	Spannungspegel, Störabstand	519
9.2.4	Lastfaktoren	521
9.2.5	Ausgangsstufen	521
9.2.6	Schaltzeiten	522
9.2.7	Verlustleistung	523
9.3	Logikbaureihen	524
9.3.1	Übersicht bipolare Schaltkreisfamilien	524
9.3.2	Übersicht MOS-Schaltkreisfamilien	524
9.4	Bipolare Schaltkreisfamilien	525
9.4.1	RTL	525

9.4.2	DTL	526
9.4.3	ECL	527
9.4.4	I ² L	530
9.4.5	TTL	531
9.5	MOS-Schaltkreisfamilien	547
9.5.1	Vorteile von MOSFETs in integrierten Schaltungen	547
9.5.2	PMOS-Technologie	547
9.5.3	NMOS-Technologie	547
9.5.4	CMOS-Technologie	549
9.5.5	BICMOS-Logik	558
10	Halbleiterspeicher	561
10.1	Einteilung digitaler Halbleiterspeicher	561
10.2	Allgemeiner Aufbau der Speicherbausteine	562
10.2.1	Speicherorganisation	563
10.2.2	Der Adressdekoder	565
10.2.3	Die Speicherzelle	567
10.2.4	Aufbau von Speicherbausteinen, Zusammenfassung	567
10.2.5	Busleitungen, Steuersignale	568
10.2.6	Kenndaten	569
10.3	Einteilung der Tabellenspeicher	571
10.4	Einteilung der Festwertspeicher	571
10.4.1	Masken-ROM	571
10.4.2	Mit Programmiergerät programmierbare PROMs	573
10.4.3	In der Schaltung lösch- und programmierbare PROMs	578
10.4.4	MRAM (Magnetic Random Access Memory)	587
10.4.5	FRAM (Ferroelectric Random Access Memory)	591
10.5	Einteilung der flüchtigen Speicher	595
10.5.1	Statisches RAM (SRAM)	596
10.5.2	Dynamisches RAM (DRAM)	600
11	Anwendungsspezifische integrierte Bausteine	611
11.1	Einsatz von ASICs	611
11.2	Einteilung von ASICs	612
11.2.1	Full-Custom-ASIC	612
11.2.2	Standardzellen-ASIC	613
11.2.3	Gate Array	614
11.2.4	Programmierbare Logikbausteine	614
11.3	Entwurfsablauf eines ASIC	616
11.3.1	Vorüberlegungen	616
11.3.2	Schaltungsentwicklung	618
11.3.3	Schaltungseingabe	620
11.3.4	Simulation	622

11.3.5	Layout	624
11.3.6	Entwurfsprüfung	626
11.3.7	Fertigung	627
11.3.8	Mechanischer Aufbau	628
11.3.9	Test	629
11.4	Einteilung programmierbarer Logikbausteine.....	634
11.4.1	Übersicht und Begriffe	634
11.4.2	Architektur anwenderprogrammierbarer Logikschaltkreise.....	635
11.4.3	PAL	640
11.4.4	GAL.....	645
11.4.5	CPLD.....	648
11.4.6	FPGA.....	653
12	Literaturverzeichnis	661
	Stichwortverzeichnis.....	665

Leonhard Stiny

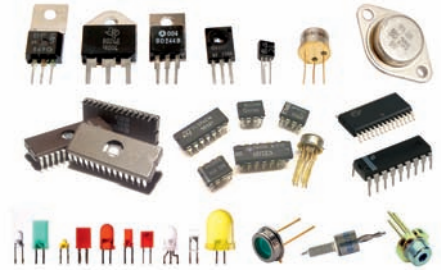
Handbuch aktiver elektronischer Bauelemente

Das Werk bietet ein umfangreiches Wissen über diskrete und integrierte Bauelemente der Halbleitertechnik. Es werden sowohl Standard-Bauelemente als auch neueste Bausteine der Mikroelektronik und Computertechnologie behandelt. Das Buch kann zum Selbststudium, in der Lehre, als Handbuch in der Elektronikpraxis und als ausführliches Nachschlagewerk eingesetzt werden.

Als kleinste Einheiten einer Schaltung werden elektronische Bauelemente zu Funktionseinheiten, Baugruppen oder Geräten zusammengefügt. Um entsprechend den Herstellerunterlagen die für eine bestimmte Anwendung optimalen Bauteile auswählen zu können, muss der Anwender die Wirkungsweise auch sehr komplexer Halbleiter-Bauelemente verstanden haben. Analyse und Entwurf elektronischer Schaltungen erfordern als Voraussetzung für fehlerfreie und betriebssichere Elektronikprodukte gründliche Kenntnisse von Aufbau und Funktionsweise der eingesetzten Bauelemente der Halbleiterelektronik. Bei einer Schaltungsauslegung müssen die Kenngrößen und speziellen Eigenschaften der eingesetzten Bauelemente berücksichtigt werden, um sowohl eine technisch als auch wirtschaftlich bestmögliche Lösung zu finden.

Dieses Buch bildet eine Brücke zwischen den physikalischen Grundlagen von Halbleiter-Bauelementen und deren ingenieurtechnischen Anwendungen in der Praxis der modernen Elektronik. Als Basis werden die theoretischen und physikalischen Grundlagen der Halbleitertechnik vermittelt. Darauf aufbauend, werden für alle Halbleiter-Bauelemente Aufbau und Wirkungsweise erläutert, spezifische Merkmale, Daten, Kenngrößen und Charakteristiken angegeben und deren Bedeutung erklärt. Für die verschiedenen Typen von Bauteilen werden übersichtlich die Vor- und Nachteile sowie mögliche Anwendungen aufgezeigt. Allgemein gehaltene, für jeden Einsatzfall gültige Beschreibungen können auf spezielle Ansätze leicht angepasst, erweitert und so in der Praxis direkt angewendet werden.

Zahlreiche Abbildungen vermitteln eine Vorstellung von Aufbau und Aussehen der Bauelemente. Tabellarische Übersichten und Beispiele mit ausführlichen und nachvollziehbaren Berechnungen unterstützen die Auswahl, Dimensionierung und Anwendung von elektronischen Halbleiter-Bauelementen.



Aus dem Inhalt:

- Grundlagen der Halbleiter, pn-Übergang
- Aufbau, Eigenschaften und Funktion von Halbleiterdioden
- Diodentypen und ihre Anwendungen
- Bipolare Transistoren
- Transistortypen, Kenngrößen und Einsatzbereiche
- Feldeffekttransistoren
- Bauformen und Betrieb von FETs
- Thyristoren, Ausführungsformen und Kenndaten
- Operationsverstärker, Typen und praktischer Einsatz
- Grundlagen integrierter Halbleiterschaltungen
- Halbleiterspeicher, Einteilung und Verwendung
- Anwendungsspezifische integrierte Bausteine
- Und vieles mehr ...

Über den Autor:

Leonhard Stiny ist Dipl.-Ing. Univ. der Elektrotechnik. Vor dem Ruhestand war er als Abteilungsleiter in der Elektronikentwicklung tätig. Zurzeit ist er Dozent an der IHK München und Lehrbeauftragter an der Fachhochschule Regensburg für das Fach „Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik“.

ISBN 978-3-7723-5116-7



Euro **49,95** [D]