

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Elektronische Schaltungen und Mikrosysteme .....</b>	<b>11</b>
1.1 Die Entwicklung integrierter Schaltungen .....	11
1.2 Produktion von ICs .....	14
1.3 Strukturgröße und Yield .....	17
1.4 Mikrosysteme .....	20
<b>2 Integrierte elektronische Bauteile .....</b>	<b>22</b>
2.1 Die elektrische Leitfähigkeit .....	22
2.1.1 Das Bohrsche Atommodell .....	22
2.1.2 Das quantenmechanische Orbitalmodell .....	24
2.1.3 Das Bändermodell für Festkörper .....	26
2.1.4 Strom, Spannung und Widerstand .....	28
2.1.5 Die elektrische Leitfähigkeit bei Leiter und Nichtleiter .....	29
2.1.6 Eigenleitung bei Halbleitern .....	30
2.1.7 Dotierte Halbleiter .....	31
2.2 Die Diode .....	33
2.2.1 Der pn-Übergang .....	33
2.2.2 Die Diodenkennlinie .....	35
2.2.3 Aufbau einer Diode .....	37
2.3 Der ohmsche Widerstand .....	38
2.3.1 Der spezifische Widerstand .....	38
2.3.2 Der Polywiderstand .....	39
2.3.3 Der Aktivgebietswiderstand .....	40
2.4 Der Kondensator .....	41
2.4.1 Die Kapazität .....	41
2.4.2 Der Aufbau eines MOS-Kondensators .....	42
2.5 Der Bipolar-Transistor .....	43
2.5.1 Funktion und Emitterschaltung .....	44
2.5.2 Aufbau eines npn-Transistors .....	46
2.6 Der MOS-Transistor .....	47
2.6.1 Aufbau und Funktion .....	47
2.6.2 Kurzkanal-Effekte .....	51
2.6.3 Parasitäre Feldtransistoren .....	54
2.7 Der CMOS-Inverter .....	55
2.7.1 Die CMOS-Technologie .....	55
2.7.2 Der Inverter .....	56
2.7.3 Der Latchup-Effekt .....	56
2.8 Speicherbauteile .....	57
2.8.1 RAM-Speicher .....	57
2.8.2 ROM-Speicher .....	59

<b>3 Reinraumtechnik .....</b>	<b>61</b>
3.1 Verunreinigungen .....	61
3.1.1 Partikulare Verunreinigungen .....	61
3.1.2 AMC-Verunreinigungen .....	63
3.1.3 Elektrostatische Aufladungen .....	64
3.2 Der Reinraum .....	64
3.2.1 Aufbau des Reinraumes und Reinraumklassen .....	64
3.2.2 Turbulente Durchmischung und Laminar Flow .....	66
3.3 Der Mensch im Reinraum .....	67
<b>4 Siliziumwafer .....</b>	<b>69</b>
4.1 Halbleitermaterialien .....	69
4.2 Herstellung des Reinstsiliziums (Trichlorsilan-Prozess) .....	70
4.3 Einkristallines Silizium .....	73
4.3.1 Siliziumkristallstruktur und die Oberfläche .....	73
4.3.2 Das Czochralski-Verfahren .....	76
4.3.3 Das Zonenzieh-Verfahren .....	78
4.3.4 Kristallfehler .....	79
4.4 Endfertigung des Wafers .....	80
<b>5 Herstellung dünner Schichten .....</b>	<b>83</b>
5.1 Thermische Oxidation .....	83
5.1.1 Die Oxidation von Siliziumoberflächen .....	83
5.1.2 Trockene und feuchte Oxidation .....	85
5.1.3 Einflüsse auf die Oxidationsrate .....	87
5.1.4 Eigenschaften und Einsatz der Oxidschichten .....	88
5.1.5 Segregation .....	90
5.1.6 Oxidationsöfen .....	91
5.2 Chemische Gasphasendeposition (CVD) .....	93
5.2.1 Grundlagen der Deposition .....	93
5.2.2 Wachstumsgeschwindigkeit, Strukturzonenmodell und Konformität .....	95
5.2.3 APCVD-Verfahren (Epitaxie) .....	97
5.2.4 LPCVD-Verfahren .....	99
5.2.5 PECVD-Verfahren .....	102
5.2.6 Niederdruckplasma im Parallelplattenreaktor .....	103
5.3 Physikalische Gasphasendeposition (PVD) .....	105
5.3.1 Aufdampfen .....	106
5.3.2 Sputtern .....	106
5.4 Messung von Schichtdicken .....	109
5.4.1 Spektralphotometrische Schichtdickenmessung .....	109
5.4.2 Ellipsometer .....	110
<b>6 Fotolithographie .....</b>	<b>112</b>
6.1 Mikrostrukturtechniken .....	112
6.2 Belichtungsverfahren .....	114

6.2.1	Kontakt- und Abstandsbelichtung .....	114
6.2.2	Die Projektionsbelichtung .....	116
6.3	Auflösungsvermögen der Projektionsbelichtung .....	119
6.3.1	Die Lichtbeugung .....	119
6.3.2	Das Rayleigh-Kriterium und die Schärfentiefe .....	121
6.4	Die Masken .....	124
6.4.1	Elektronenstrahlolithographie .....	124
6.4.2	Mastermasken und Reticles .....	125
6.4.3	Phasenschiebe-Masken .....	126
6.5	Der Fotolack .....	127
6.5.1	Die chemische Reaktion bei der Belichtung und Entwicklung .....	127
6.5.2	Mehrschichtlacktechnik .....	129
6.5.3	Die Schleuderbeschichtung .....	130
6.5.4	Entwicklung und Lackhärtung .....	132
<b>7</b>	<b>Ätzprozesse .....</b>	<b>134</b>
7.1	Wafereinigung .....	134
7.1.1	Reinigungsprozesse .....	134
7.1.2	Spülen und Trocknen der Wafer .....	137
7.1.3	Reinigungsanlagen .....	138
7.2	Nasschemisches Ätzen .....	139
7.2.1	Ätzrate und Selektivität .....	139
7.2.2	Isotropie und Ätzprofil .....	140
7.2.3	Angewandte Nassätzprozesse .....	142
7.2.4	Nasschemische Ätzanlagen .....	143
7.3	Trockene Ätzprozesse .....	144
7.3.1	Plasmaätzen .....	144
7.3.2	Sputterätzen .....	146
7.3.3	Reaktives Ionenätzen .....	149
7.4	Messtechnik .....	154
7.4.1	Endpunktdetektion .....	154
7.4.2	Messung von Strukturbreiten .....	154
7.4.3	Kontaktwinkelmessung .....	155
<b>8</b>	<b>Dotierung .....</b>	<b>156</b>
8.1	Das Legierungsverfahren .....	156
8.2	Das Diffusionsverfahren .....	157
8.2.1	Thermische Diffusion .....	157
8.2.2	Technische Diffusionsverfahren .....	159
8.3	Die Ionenimplantation .....	162
8.3.1	Reichweite der Ionen (Channeling) .....	163
8.3.2	Strahlenschäden und Aktivierung .....	166
8.3.3	Ionendosis .....	168
8.3.4	Aufbau des Ionenimplanters .....	169
8.4	Messung der Dotierung .....	171

<b>9 Prozessintegration .....</b>	<b>172</b>
9.1 LOCOS-Prozess .....	172
9.1.1 Historische Entwicklung .....	172
9.1.2 Prozessablauf .....	174
9.2 Metallisierung .....	185
9.2.1 Grenzfläche Silizium/Aluminium .....	186
9.2.2 Mehrlagenverdrahtung und Kontaktlöcher .....	189
9.2.3 Planarisierung .....	190
9.2.4 Korrosion und Elektromigration .....	192
9.2.5 Der Metallisierungsprozess .....	193
9.3 SOI-Technologie .....	198
9.3.1 Vorteile der SOI-Technik .....	198
9.3.2 Herstellung der SOI-Wafer .....	199
9.3.3 Der Trench-Prozess .....	201
9.4 Parametertest .....	203
9.4.1 Die Teststruktur und DUT-Board .....	203
9.4.2 Die Probecard .....	205
9.4.3 Der Waferprober .....	206
<b>10 Aufbau- und Verbindungstechnik .....</b>	<b>208</b>
10.1 Einhäusen integrierter Schaltungen .....	208
10.1.1 Assembly und Backend .....	208
10.1.2 Backgrinden und Sägen .....	209
10.1.3 Die-Bonding .....	211
10.1.4 Draht-Bonding .....	212
10.1.5 Molding .....	214
10.2 Das IC-Gehäuse .....	215
10.2.1 Gehäusetypen .....	215
10.2.2 Eigenschaften der Kunststoffgehäuse .....	217
10.3 Montage ungehäuster Bauelemente .....	218
<b>11 Qualität integrierter Schaltungen .....</b>	<b>220</b>
11.1 Funktionsfähigkeit .....	220
11.1.1 Ausfallmechanismen .....	220
11.1.2 Der Funktionstest .....	221
11.1.3 Handler .....	223
11.2 Zuverlässigkeit .....	225
11.2.1 Zuverlässigkeit und Ausfallrate .....	225
11.2.2 Der Burn-In-Prozess .....	227
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>228</b>
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>229</b>