

Inhaltsverzeichnis

1 Elektronische Schaltungen und Mikrosysteme	11
1.1 Die Entwicklung integrierter Schaltungen	11
1.2 Produktion von ICs	14
1.3 Strukturgröße und Yield	17
1.4 Mikrosysteme	20
2 Integrierte elektronische Bauteile	22
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

3 Reinraumtechnik	61
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
4 Siliziumwafer	69
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
5 Herstellung dünner Schichten	83
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
6 Fotolithographie	112
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
7 Ätzprozesse	134
7.1 Waferreinigung	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 Endpunkt detektion	154
7.4.2 Messung von Strukturbreiten	154
7.4.3 Kontaktwinkelmessung	155
8 Dotierung	156
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

9 Prozessintegration	172
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 Probocard	205
9.4.3 Der Waferprober	206
10 Aufbau- und Verbindungstechnik	208
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
11 Qualität integrierter Schaltungen	220
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
Literaturverzeichnis	228
Sachwortverzeichnis	229