

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufgaben	3
	Literatur	4
2	Herstellung von Siliziumscheiben	5
2.1	Silizium als Basismaterial	5
2.2	Herstellung und Reinigung des Rohmaterials	7
2.2.1	Herstellung von technischem Silizium	7
2.2.2	Chemische Reinigung des technischen Siliziums	8
2.2.3	Zonenreinigung	9
2.3	Herstellung von Einkristallen	10
2.3.1	Die Kristallstruktur	11
2.3.2	Kristallziehverfahren nach Czochralski	12
2.3.3	Tiegelfreies Zonenziehen	14
2.3.4	Kristallfehler	15
2.4	Kristallbearbeitung	16
2.4.1	Sägen	16
2.4.2	Oberflächenbehandlung	17
2.5	Aufgaben zur Scheibenherstellung	20
	Literatur	20
3	Oxidation des Siliziums	21
3.1	Die thermische Oxidation von Silizium	22
3.1.1	Trockene Oxidation	23
3.1.2	Nasse Oxidation	23
3.1.3	H ₂ O ₂ -Verbrennung	25
3.2	Modellierung der Oxidation	25
3.3	Die Grenzfläche SiO ₂ /Silizium	26
3.4	Segregation	28

3.5	Abscheideverfahren für Oxid	29
3.5.1	Die Silan-Pyrolyse	29
3.5.2	Die TEOS-Oxidabscheidung	30
3.6	Aufgaben zur Oxidation des Siliziums	30
	Literatur	31
4	Lithografie	33
4.1	Maskentechnik	34
4.1.1	Pattern-Generator und Step- und Repeat-Belichtung	35
4.1.2	Direktschreiben der Maske mit dem Elektronenstrahl	35
4.1.3	Maskentechniken für höchste Auflösungen	36
4.2	Belackung	37
4.2.1	Aufbau der Fotolacke	37
4.2.2	Aufbringen der Lackschichten	37
4.3	Belichtungsverfahren	39
4.3.1	Optische Lithografie (Fotolithografie)	39
4.3.2	Elektronenstrahl-Lithografie	47
4.3.3	Röntgenstrahl-Lithografie	49
4.3.4	Weitere Verfahren zur Strukturierung	50
4.4	Lackbearbeitung	53
4.4.1	Entwickeln und Härten des Lackes	53
4.4.2	Linienweitenkontrolle	54
4.4.3	Ablösen der Lackmaske	56
4.5	Aufgaben zur Lithografiertechnik	56
	Literatur	57
5	Ätztechnik	59
5.1	Nasschemisches Ätzen	60
5.1.1	Tauchätzung	60
5.1.2	Sprühätzung	61
5.1.3	Ätzlösungen für die nasschemische Strukturierung	61
5.2	Trockenätzen	64
5.2.1	Plasmaätzen (PE)	65
5.2.2	Reaktives Ionenätzen (RIE)	67
5.2.3	Ionenstrahlätzen	72
5.2.4	Trockenätzverfahren für hohe Ätzraten	73
5.2.5	Atomic Layer Etching (ALE)	74
5.3	Endpunktdetektion	75
5.3.1	Visuelle Kontrolle	76
5.3.2	Ellipsometrie	76
5.3.3	Optische Spektroskopie	76

5.3.4	Interferometrie	77
5.3.5	Massenspektrometrie	77
5.4	Aufgaben zur Ätztechnik	78
	Literatur	79
6	Dotiertechniken	81
6.1	Legierung	82
6.2	Diffusion	84
6.2.1	Fick'sche Gesetze	85
6.2.2	Diffusionsverfahren	88
6.2.3	Ablauf des Diffusionsprozesses	90
6.2.4	Grenzen der Diffusionstechnik	91
6.3	Ionenimplantation	92
6.3.1	Reichweite implantierter Ionen	92
6.3.2	Channeling	94
6.3.3	Aktivierung der Dotierstoffe	94
6.3.4	Technische Ausführung der Ionenimplantation	98
6.3.5	Charakteristiken der Implantation	101
6.4	Aufgaben zu den Dotiertechniken	101
	Literatur	102
7	Depositionsverfahren	105
7.1	Chemische Depositionsverfahren	105
7.1.1	Die Silizium-Gasphasenepitaxie	105
7.1.2	Die CVD-Verfahren zur Schichtdeposition	108
7.1.3	Atomic Layer Deposition (ALD)	113
7.2	Physikalische Depositionsverfahren	116
7.2.1	Molekularstrahlepitaxie (MBE)	116
7.2.2	Aufdampfen	117
7.2.3	Kathodenzerstäubung (Sputtern)	118
7.3	Aufgaben zu den Abscheidetechniken	122
	Literatur	122
8	Metallisierung und Kontakte	123
8.1	Der Metall-Halbleiter-Kontakt	124
8.2	Mehrlagenverdrahtung	127
8.2.1	Planarisierungstechniken	128
8.2.2	Auffüllen von Kontaktöffnungen	132
8.3	Zuverlässigkeit der Aluminium-Metallisierung	133
8.4	Kupfermetallisierung	135
8.5	Aufgaben zur Metallisierung	138
	Literatur	139

9	Scheibenreinigung	141
9.1	Verunreinigungen und ihre Auswirkungen	142
9.1.1	Mikroskopische Verunreinigungen	143
9.1.2	Molekulare Verunreinigungen	143
9.1.3	Alkalische und atomare Verunreinigungen	144
9.2	Reinigungstechniken	145
9.3	Ätzlösungen zur Scheibenreinigung	146
9.4	Beispiel einer Reinigungssequenz	147
9.5	Aufgaben zur Scheibenreinigung	149
	Literatur	149
10	MOS-Technologien zur Schaltungsintegration	151
10.1	Einkanal MOS-Techniken	152
10.1.1	Der PMOS Aluminium-Gate-Prozess	152
10.1.2	Die n-Kanal Aluminium-Gate MOS-Technik	154
10.1.3	Die n-Kanal Silizium-Gate MOS-Technologie	157
10.2	Der n-Wannen Silizium-Gate CMOS-Prozess	159
10.2.1	Schaltungselemente der CMOS-Technik	167
10.2.2	Latchup-Effekt	169
10.3	Funktionstest und Parametererfassung	172
10.4	Aufgaben zur MOS-Technik	174
	Literatur	175
11	Erweiterungen zur Höchstintegration	177
11.1	Lokale Oxidation von Silizium (LOCOS)	177
11.1.1	Die einfache Lokale Oxidation von Silizium	178
11.1.2	SPOT-Technik zur Lokalen Oxidation	180
11.1.3	Die SILO-Technik	181
11.1.4	Poly-buffered LOCOS	182
11.1.5	Die SWAMI-LOCOS-Technik	183
11.1.6	Graben-Isolation	186
11.2	MOS-Transistoren für die Höchstintegration	187
11.2.1	Durchbruchmechanismen in MOS-Transistoren	188
11.2.2	Die Spacer-Technik zur Dotierungsoptimierung	191
11.2.3	Selbstjustierende Kontakte	195
11.3	SOI-Techniken	199
11.3.1	SOI-Substrate	199
11.3.2	Prozessführung in der SOI-Technik	205
11.4	Transistoren mit Nanometer-Abmessungen	207
11.4.1	Voraussetzungen für die weitere Skalierung	207
11.4.2	Analyse von n-Kanal Feldeffekttransistoren im Nanometermaßstab	209

11.4.3	Der FINFET in SOI-Technik	211
11.4.4	FINFET im Substrat	212
11.5	Aufgaben zur Höchstintegrationstechnik	213
	Literatur	214
12	Bipolar-Technologie	215
12.1	Die Standard-Buried-Collector Technik	216
12.2	Fortgeschrittene SBC-Technik	218
12.3	Bipolarprozess mit selbstjustiertem Emitter	219
12.4	BiCMOS-Techniken	222
12.5	Aufgaben zur Bipolartechnologie	224
	Literatur	224
13	Montage integrierter Schaltungen	225
13.1	Vorbereitung der Scheiben zur Montage	225
13.1.1	Verringerung der Scheibendicke	226
13.1.2	Rückseitenmetallisierung	226
13.1.3	Trennen der Chips	227
13.2	Schaltungsmontage	229
13.2.1	Substrate/Systemträger	229
13.2.2	Befestigungstechniken	232
13.3	Kontaktierverfahren	233
13.3.1	Einzeldraht-Kontaktierung (Bonding)	234
13.3.2	Komplettkontaktierung	238
13.4	Endbearbeitung der Substrate	243
13.5	Aufgaben zur Chipmontage	244
	Literatur	245
	Anhänge	247
	Abkürzungen	265
	Literatur zu den Anhängen	267
	Stichwortverzeichnis	269