
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	10
2.3.2	Kristallziehverfahren nach Czochralski	11
2.3.3	Tiegelfreies Zonenziehen	13
2.3.4	Kristallfehler	15
2.4	Kristallbearbeitung	15
2.4.1	Sägen	16
2.4.2	Oberflächenbehandlung	17
2.5	Aufgaben zur Scheibenherstellung	19
	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	24
3.2	Modellierung der Oxidation	25
3.3	Die Grenzfläche SiO ₂ /Silizium	27
3.4	Segregation	28

3.5	Abscheidungsverfahren für Oxid	30
3.5.1	Die Silan-Pyrolyse	30
3.5.2	Die TEOS-Oxidabscheidung	30
3.6	Aufgaben zur Oxidation des Siliziums	31
	Literatur	31
4	Lithografie	33
4.1	Maskentechnik	34
4.1.1	Pattern-Generator und Step- und Repeat-Belichtung	34
4.1.2	Direktschreiben der Maske mit dem Elektronenstrahl	35
4.1.3	Maskentechniken für höchste Auflösungen	36
4.2	Belackung	36
4.2.1	Aufbau der Fotolacke	36
4.2.2	Aufbringen der Lackschichten	37
4.3	Belichtungsverfahren	39
4.3.1	Optische Lithografie (Fotolithografie)	39
4.3.2	Elektronenstrahl-Lithografie	44
4.3.3	Röntgenstrahl-Lithografie	47
4.3.4	Weitere Verfahren zur Strukturierung	48
4.4	Lackbearbeitung	50
4.4.1	Entwickeln und Härten des Lackes	51
4.4.2	Linienweitenkontrolle	52
4.4.3	Ablösen der Lackmaske	53
4.5	Aufgaben zur Lithografiertechnik	54
	Literatur	55
5	Ätztechnik	57
5.1	Nasschemisches Ätzen	58
5.1.1	Tauchätzung	58
5.1.2	Sprühätzung	59
5.1.3	Ätzlösungen für die nasschemische Strukturierung	59
5.2	Trockenätzen	62
5.2.1	Plasmaätzen (PE)	63
5.2.2	Reaktives Ionenätzen (RIE)	65
5.2.3	Ionenstrahlätzen	70
5.2.4	Trockenätzverfahren für hohe Ätzraten	71
5.3	Endpunktdetektion	72
5.3.1	Visuelle Kontrolle	73
5.3.2	Ellipsometrie	73
5.3.3	Optische Spektroskopie	74
5.3.4	Interferometrie	74
5.3.5	Massenspektrometrie	74
5.4	Aufgaben zur Ätztechnik	75
	Literatur	76

6	Dotiertechniken	77
6.1	Legierung	78
6.2	Diffusion	80
6.2.1	Fick'sche Gesetze	81
6.2.2	Diffusionsverfahren	84
6.2.3	Ablauf des Diffusionsprozesses	86
6.2.4	Grenzen der Diffusionstechnik	87
6.3	Ionenimplantation	88
6.3.1	Reichweite implantierter Ionen	88
6.3.2	Channeling	90
6.3.3	Aktivierung der Dotierstoffe	91
6.3.4	Technische Ausführung der Ionenimplantation	93
6.3.5	Charakteristiken der Implantation	97
6.4	Aufgaben zu den Dotiertechniken	97
	Literatur	98
7	Depositionsverfahren	99
7.1	Chemische Depositionsverfahren	99
7.1.1	Die Silizium-Gasphasenepitaxie	99
7.1.2	Die CVD-Verfahren zur Schichtdeposition	102
7.1.3	Atomic Layer Deposition (ALD)	108
7.2	Physikalische Depositionsverfahren	109
7.2.1	Molekularstrahlepitaxie (MBE)	109
7.2.2	Aufdampfen	111
7.2.3	Kathodenzerstäubung (Sputtern)	112
7.3	Aufgaben zu den Abscheidetechniken	115
	Literatur	116
8	Metallisierung und Kontakte	117
8.1	Der Metall-Halbleiter-Kontakt	118
8.2	Mehrlagenverdrahtung	121
8.2.1	Planarisierungstechniken	122
8.2.2	Auffüllen von Kontaktöffnungen	126
8.3	Zuverlässigkeit der Aluminium-Metallisierung	127
8.4	Kupfermetallisierung	129
8.5	Aufgaben zur Metallisierung	131
	Literatur	132
9	Scheibenreinigung	133
9.1	Verunreinigungen und ihre Auswirkungen	134
9.1.1	Mikroskopische Verunreinigungen	135
9.1.2	Molekulare Verunreinigungen	135
9.1.3	Alkalische und atomare Verunreinigungen	136
9.2	Reinigungstechniken	137

9.3	Ätzlösungen zur Scheibenreinigung	138
9.4	Beispiel einer Reinigungssequenz	139
9.5	Aufgaben zur Scheibenreinigung	141
	Literatur	141
10	MOS-Technologien zur Schaltungsintegration	143
10.1	Einkanal MOS-Techniken	144
10.1.1	Der PMOS Aluminium-Gate-Prozess	144
10.1.2	Die n-Kanal Aluminium-Gate MOS-Technik	146
10.1.3	Die n-Kanal Silizium-Gate MOS-Technologie	149
10.2	Der n-Wannen Silizium-Gate CMOS-Prozess	151
10.2.1	Schaltungselemente der CMOS-Technik	158
10.2.2	Latchup-Effekt	161
10.3	Funktionstest und Parametererfassung	163
10.4	Aufgaben zur MOS-Technik	165
	Literatur	167
11	Erweiterungen zur Höchstintegration	169
11.1	Lokale Oxidation von Silizium (LOCOS)	169
11.1.1	Die einfache Lokale Oxidation von Silizium	170
11.1.2	SPOT-Technik zur Lokalen Oxidation	172
11.1.3	Die SILO-Technik	173
11.1.4	Poly-buffered LOCOS	174
11.1.5	Die SWAMI-LOCOS-Technik	175
11.1.6	Graben-Isolation	178
11.2	MOS-Transistoren für die Höchstintegration	178
11.2.1	Durchbruchmechanismen in MOS-Transistoren	180
11.2.2	Die Spacer-Technik zur Dotierungsoptimierung	183
11.2.3	Selbstjustierende Kontakte	187
11.3	SOI-Techniken	190
11.3.1	SOI-Substrate	191
11.3.2	Prozessführung in der SOI-Technik	197
11.4	Transistoren mit Nanometer-Abmessungen	198
11.4.1	Voraussetzungen für die weitere Skalierung	198
11.4.2	Analyse von n-Kanal Feldeffekttransistoren im Nanometermaßstab	200
11.4.3	Der FINFET in SOI-Technik	202
11.4.4	FINFET im Substrat	203
11.5	Aufgaben zur Höchstintegrationstechnik	204
	Literatur	205
12	Bipolar-Technologie	207
12.1	Die Standard-Buried-Collector Technik	208
12.2	Fortgeschrittene SBC-Technik	210

12.3 Bipolarprozess mit selbstjustiertem Emitter	211
12.4 BiCMOS-Techniken	214
12.5 Aufgaben zur Bipolartechnologie	216
Literatur	216
13 Montage integrierter Schaltungen	217
13.1 Vorbereitung der Scheiben zur Montage	217
13.1.1 Verringerung der Scheibendicke	218
13.1.2 Rückseitenmetallisierung	218
13.1.3 Trennen der Chips	219
13.2 Schaltungsmontage	221
13.2.1 Substrate/Systemträger	221
13.2.2 Befestigungstechniken	224
13.3 Kontaktierverfahren	225
13.3.1 Einzeldraht-Kontaktierung (Bonding)	226
13.3.2 Komplettkontaktierung	230
13.4 Endbearbeitung der Substrate	234
13.5 Aufgaben zur Chipmontage	236
Literatur	236
Anhänge	237
Sachverzeichnis	257