

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	1
1.1 Aufgaben	4
<b>2 Herstellung von Siliziumscheiben</b>	5
2.1 Silizium als Basismaterial	5
2.2 Herstellung und Reinigung des Rohmaterials	8
2.2.1 Herstellung von technischem Silizium	8
2.2.2 Chemische Reinigung des technischen Siliziums	9
2.2.3 Zonenreinigung	11
2.3 Herstellung von Einkristallen	12
2.3.1 Die Kristallstruktur	12
2.3.2 Kristallziehverfahren nach Czochralski	14
2.3.3 Tiegelfreies Zonenziehen	16
2.3.4 Kristallfehler	18
2.4 Kristallbearbeitung	19
2.4.1 Sägen	20
2.4.2 Oberflächenbehandlung	20
2.4.2.1 Lappen	21
2.4.2.2 Scheibenrand abrunden	22
2.4.2.3 Ätzen	22
2.4.2.4 Polieren	23
2.5 Aufgaben zur Scheibenherstellung	23
<b>3 Oxidation des dotierten Siliziums</b>	25
3.1 Die thermische Oxidation von Silizium	26
3.1.1 Trockene Oxidation	27
3.1.2 Nasse Oxidation	28
3.1.3 $\text{H}_2\text{O}_2$ -Verbrennung	30
3.2 Modellierung der Oxidation	31

3.3 Die Grenzfläche SiO <sub>2</sub> /Silizium	32
3.4 Segregation	34
3.5 Abscheideverfahren für Oxid	36
3.5.1 Die Silan Pyrolyse	36
3.5.2 Die TEOS-Oxidabscheidung	37
3.6 Aufgaben zur Oxidation des Siliziums	38
<b>4 Lithografie</b>	<b>39</b>
4.1 Maskentechnik	40
4.1.1 Pattern-Generator und Step- und-Repeat-Belichtung	41
4.1.2 Direktschreiben der Maske mit dem Elektronenstrahl	42
4.1.3 Maskentechniken für höchste Auflösungen	42
4.2 Belackung	43
4.2.1 Aufbau der Fotolacke	43
4.2.2 Aufbringen der Lackschichten	44
4.3 Belichtungsverfahren	46
4.3.1 Optische Lithografie (Fotolithografie)	47
4.3.1.1 Kontaktbelichtung	47
4.3.1.2 Abstandsbelichtung (Proximity)	48
4.3.1.3 Projektionsbelichtung	49
4.3.1.4 Verkleinernde Projektionsbelichtung	51
4.3.2 Elektronenstrahl-Lithografie	53
4.3.3 Röntgenstrahl-Lithografie	56
4.3.4 Weitere Verfahren zur Strukturierung	58
4.4 Lackbearbeitung	58
4.4.1 Entwickeln und Härten des Lackes	59
4.4.2 Linienweitenkontrolle	61
4.4.3 Ablösen der Lackmaske	62
4.5 Aufgaben zur Lithografiertechnik	63

<b>5 Ätztechnik</b>	<b>65</b>
5.1 Nasschemisches Ätzen	66
5.1.1 Tauchätzung	67
5.1.2 Sprühätzung	68
5.1.3 Ätzlösungen für die nasschemische Strukturierung	68
5.1.3.1 Isotrop wirkende Ätzlösungen	68
5.1.3.2 Anisotrope Siliziumätzung	70
5.2 Trockenätzen	71
5.2.1 Plasmaätzen (PE)	73
5.2.2 Reaktives Ionenätzen (RIE)	75
5.2.2.1 Prozessparameter des reaktiven Ionenätzens	76
5.2.2.2 Reaktionsgase	79
5.2.3 Ionenstrahlätzen	83
5.2.4 Trockenätzverfahren für hohe Ätzraten	84
5.3 Endpunktdetektion	86
5.3.1 Visuelle Kontrolle	86
5.3.2 Ellipsometrie	87
5.3.3 Spektroskopie	87
5.3.4 Interferometrie	88
5.3.5 Massenspektrometrie	88
5.4 Aufgaben zur Ätztechnik	89
<b>6 Dotiertechniken</b>	<b>91</b>
6.1 Legierung	92
6.2 Diffusion	94
6.2.1 Fick'sche Gesetze	95
6.2.1.1 Die Diffusion aus unerschöpflicher Quelle	96
6.2.1.2 Die Diffusion aus erschöpflicher Quelle	98
6.2.2 Diffusionsverfahren	100
6.2.3 Ablauf des Diffusionsprozesses	102
6.2.4 Grenzen der Diffusionstechnik	103
6.3 Ionenimplantation	105
6.3.1 Reichweite implantierter Ionen	106
6.3.2 Channeling	108

6.3.3 Aktivierung der Dotierstoffe	109
6.3.4 Technische Ausführung der Ionenimplantation	112
6.3.5 Charakteristiken der Implantation	116
6.4 Aufgaben zu den Dotiertechniken	117
<b>7 Depositionsverfahren</b>	119
7.1 Chemische Depositionsverfahren	119
7.1.1 Die Silizium-Gasphasenepitaxie	119
7.1.2 Die CVD-Verfahren zur Schichtdeposition	123
7.1.2.1 APCVD-Verfahren	124
7.1.2.2 Low Pressure CVD-Verfahren (LPCVD)	126
7.1.2.3 Plasma Enhanced CVD-Verfahren (PECVD)	128
7.2 Physikalische Depositionsverfahren	129
7.2.1 Molekularstrahlepitaxie (MBE)	129
7.2.2 Aufdampfen	130
7.2.3 Kathodenzerstäubung (Sputtern)	132
7.3 Aufgaben zu den Abscheidetechniken	137
<b>8 Metallisierung und Kontakte</b>	138
8.1 Der Metall-Halbleiter-Kontakt	139
8.2 Mehrlagenverdrahtung	144
8.2.1 Planarisierungstechniken	144
8.2.1.1 Der BPSG-Reflow	145
8.2.1.2 Reflow- und Rückätztechnik organischer Schichten	146
8.2.1.3 Spin-On-Gläser	147
8.2.1.4 Chemisch-mechanisches Polieren	148
8.2.2 Auffüllen von Kontaktöffnungen	150
8.3 Zuverlässigkeit der Aluminium-Metallisierung	152
8.4 Kupfermetallisierung	154
8.4 Aufgaben zur Kontaktierung	158

<b>9 Scheibenreinigung</b>	160
9.1 Verunreinigungen und ihre Auswirkungen	161
9.1.1 Mikroskopische Verunreinigungen	162
9.1.2 Molekulare Verunreinigungen	163
9.1.3 Alkalische und atomare Verunreinigungen	164
9.2 Reinigungstechniken	165
9.3 Ätzlösungen zur Scheibenreinigung	166
9.4 Beispiel einer Reinigungssequenz	168
9.5 Aufgaben zur Scheibenreinigung	170
<b>10 MOS-Technologien zur Schaltungsintegration</b>	171
10.1 Einkanal MOS-Techniken	171
10.1.1 Der PMOS Aluminium-Gate-Prozess	171
10.1.2 Die n-Kanal Aluminium-Gate MOS-Technik	175
10.1.3 Die n-Kanal Silizium-Gate MOS-Technologie	178
10.2 Der n-Wannen Silizium-Gate CMOS-Prozess	181
10.2.1 Schaltungselemente der CMOS-Technik	191
10.2.2 Latchup-Effekt	195
10.3 Funktionstest und Parametererfassung	198
10.4 Aufgaben zur MOS-Technik	200
<b>11 Erweiterungen zur Höchstintegration</b>	203
11.1 Lokale Oxidation von Silizium (LOCOS-Technik)	203
11.1.1 Die einfache Lokale Oxidation von Silizium	204
11.1.2 SPOT-Technik zur Lokalen Oxidation	207
11.1.3 Die SILO-Technik	208
11.1.4 Poly-buffered LOCOS	210
11.1.5 Die SWAMI-LOCOS-Technik	211
11.1.6 Graben-Isolation	214
11.2 MOS-Transistoren für die Höchstintegration	215
11.2.1 Durchbruchmechanismen in MOS-Transistoren	217
11.2.1.1 Kanallängenmodulation	217

11.2.1.2 Drain-Durchgriff (Punch-Through)	218
11.2.1.3 Drain-Substrat Durchbruch (Snap-Back)	219
11.2.1.4 Transistoralterung durch heiße Elektronen	220
11.2.2 Die Spacer-Technik zur Dotierungsoptimierung	221
11.2.2.1 LDD n-Kanal MOS-Transistoren	221
11.2.2.2 P-Kanal Offset-Transistoren	224
11.2.3 Selbstjustierende Kontakte	227
11.3 SOI-Techniken	231
11.3.1 SOI-Substrate	231
11.3.1.1 FIPOS - Full Isolation by Porous Oxidized Silicon	231
11.3.1.2 SIMOX - Silicon Implanted Oxide	233
11.3.1.3 Wafer-Bonding	235
11.3.1.4 ELO - Epitaxial Lateral Overgrowth	236
11.3.1.5 Die SOS-Technik	237
11.3.1.6 SOI-Schichten durch Rekrystallisationsverfahren	238
11.3.2 Prozessführung in der SOI-Technik	240
11.4 Transistoren mit Nanometer-Abmessungen	242
11.5 Aufgaben zur Höchstintegrationstechnik	246
<b>12 Bipolar-Technologie</b>	<b>248</b>
12.1 Die Standard-Buried-Collector Technik	249
12.2 Fortgeschrittene SBC-Technik	252
12.3 Bipolarprozess mit selbstjustiertem Emitter	254
12.4 BiCMOS-Techniken	258
12.5 Aufgaben zur Bipolartechnologie	260
<b>13 Montage integrierter Schaltungen</b>	<b>262</b>
13.1 Vorbereitung der Scheiben zur Montage	262
13.1.1 Verringerung der Scheibendicke	263
13.1.2 Rückseitenmetallisierung	264
13.1.3 Trennen der Chips	265

13.1.3.1 Ritzen	265
13.1.3.2 Lasertrennen	266
13.1.3.3 Sägen/Trennschleifen	267
13.2 Schaltungsmontage	267
13.2.1 Substrate/Systemträger	268
13.2.2 Befestigungstechniken	271
13.2.2.1 Kleben	271
13.2.2.2 Löten	272
13.2.2.3 Legieren	273
13.3 Kontaktierverfahren	274
13.3.1 Einzeldraht-Kontaktierung (Bonding)	274
13.3.1.1 Thermokompressionsverfahren	275
13.3.1.2 Ultraschallbonden	277
13.3.1.3 Thermosonic-Verfahren	280
13.3.2 Komplettkontaktierung	280
13.3.2.1 Spider-Kontaktierung	281
13.3.2.2 Flipchip-Kontaktierung	283
13.3.2.3 Beamlead-Kontaktierung	285
13.4 Endbearbeitung der Substrate	287
13.5 Aufgaben zur Chipmontage	289
<b>Anhang A: Lösungen der Aufgaben</b>	290
<b>Anhang B: Farbtabelle Oxiddicken</b>	309
<b>Anhang C: Chemische Verbindungen und Abkürzungen</b>	310
<b>Literaturverzeichnis</b>	315
<b>Stichwortverzeichnis</b>	318