

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Aufgaben .....	3
	Literatur .....	4
<b>2</b>	<b>Herstellung von Siliziumscheiben</b> .....	<b>5</b>
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
<b>3</b>	<b>Oxidation des Siliziums</b> .....	<b>21</b>
3.1	Die thermische Oxidation von Silizium .....	22
3.1.1	Trockene Oxidation .....	23
3.1.2	Nasse Oxidation .....	23
3.1.3	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Verbrennung .....	24
3.2	Modellierung der Oxidation .....	25
3.3	Die Grenzfläche SiO <sub>2</sub> /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
<b>4</b>	<b>Lithografie</b> .....	<b>33</b>
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
<b>5</b>	<b>Ätztechnik</b> .....	<b>57</b>
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

---

<b>6</b>	<b>Dotiertechniken</b>	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
<b>7</b>	<b>Depositionsverfahren</b>	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
<b>8</b>	<b>Metallisierung und Kontakte</b>	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
<b>9</b>	<b>Scheibenreinigung</b>	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
<b>10</b>	<b>MOS-Technologien zur Schaltungsintegration .....</b>	<b>143</b>
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
<b>11</b>	<b>Erweiterungen zur Höchstintegration .....</b>	<b>169</b>
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
<b>12</b>	<b>Bipolar-Technologie .....</b>	<b>207</b>
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
<b>13 Montage integrierter Schaltungen .....</b>	<b>217</b>
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
<b>Anhänge .....</b>	<b>237</b>
<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>257</b>