

D. Widmann · H. Mader · H. Friedrich

# Technologie hochintegrierter Schaltungen

Mit 200 Abbildungen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo 1988

# Inhaltsverzeichnis

<b>Bezeichnungen und Symbole</b> . . . . .	13
<b>1 Einleitung</b> . . . . .	17
Literatur zu Kapitel 1 . . . . .	22
<b>2 Grundzüge der Technologie von Integrierten Schaltungen</b> . . . . .	23
Literatur zu Kapitel 2 . . . . .	31
<b>3 Schichttechnik</b> . . . . .	32
3.1 Verfahren der Schichterzeugung . . . . .	32
3.1.1 CVD-Verfahren . . . . .	32
3.1.2 Thermische Oxidation . . . . .	38
3.1.3 Aufdampfverfahren . . . . .	46
3.1.4 Sputterverfahren . . . . .	47
3.1.5 Schleuderbeschichtung . . . . .	51
3.1.6 Schichterzeugung mittels Ionenimplantation . . . . .	52
3.1.7 Temperverfahren . . . . .	53
3.2 Die monokristalline Siliziumscheibe . . . . .	55
3.2.1 Geometrie und Kristallographie von Siliziumscheiben . . . . .	55
3.2.2 Dotierung von Siliziumscheiben . . . . .	56
3.2.3 Zonengezogenes und tiegelgezogenes Silizium . . . . .	57
3.3 Epitaxieschichten . . . . .	59
3.3.1 Anwendung von Epitaxieschichten . . . . .	59
3.3.2 Diffusion von Dotieratomen aus dem Substrat in die Epitaxieschichten . . . . .	61
3.4 Thermische SiO <sub>2</sub> -Schichten . . . . .	64
3.4.1 Anwendung von thermischen SiO <sub>2</sub> -Schichten . . . . .	64
3.4.2 LOCOS-Technik . . . . .	67
3.4.3 Charakterisierung von thermischen SiO <sub>2</sub> -Schichten . . . . .	72

3.5 Abgeschiedene SiO <sub>2</sub> -Schichten . . . . .	75
3.5.1 Erzeugung von abgeschiedenen SiO <sub>2</sub> -Schichten . . . . .	75
3.5.2 Anwendung abgeschiedener SiO <sub>2</sub> -Schichten . . . . .	76
3.5.3 Spacertechnik . . . . .	76
3.5.4 Grabenisolierung . . . . .	78
3.5.5 SiO <sub>2</sub> -Isolationsschichten für die Mehrlagenverdrahtung . . . . .	79
3.6 Phosphorglasschichten . . . . .	80
3.6.1 Erzeugung von Phosphorglasschichten . . . . .	80
3.6.2 Flow-Glas . . . . .	82
3.6.3 Thermisches Phosphorglas . . . . .	83
3.7 Siliziumnitridschichten . . . . .	83
3.7.1 Erzeugung von Siliziumnitridschichten . . . . .	83
3.7.2 Nitridschichten als Oxidationssperre . . . . .	85
3.7.3 Nitridschichten für Varaktoren . . . . .	85
3.7.4 Nitridschichten als Passivierung . . . . .	85
3.8 Polysiliziumschichten . . . . .	86
3.8.1 Erzeugung . . . . .	86
3.8.2 Kornstruktur . . . . .	87
3.8.3 Leitfähigkeit . . . . .	88
3.8.4 Anwendung . . . . .	90
3.9 Silizidschichten . . . . .	95
3.9.1 Erzeugung von Silizidschichten . . . . .	95
3.9.2 Polyzidschichten . . . . .	98
3.9.3 Silizidkontakte . . . . .	100
3.9.4 Silizierung von Source/Drain-Bereichen . . . . .	101
3.10 Refraktär-Metallschichten . . . . .	102
3.11 Aluminiumschichten . . . . .	104
3.11.1 Erzeugung von Aluminiumschichten . . . . .	104
3.11.2 Kristallstruktur von Aluminiumschichten . . . . .	105
3.11.3 Elektromigration in Aluminiumleiterbahnen . . . . .	106
3.11.4 Aluminium-Siliziumkontakte . . . . .	107
3.11.5 Aluminium-Aluminium-Kontakte . . . . .	110
3.12 Organische Schichten . . . . .	111
3.12.1 Spin-On-Glasschichten . . . . .	111
3.12.2 Polyimidschichten . . . . .	112
3.13 Literatur zu Kapitel 3 . . . . .	113
<b>4 Lithographie . . . . .</b>	<b>115</b>
4.1 Strukturgröße, Lagefehler und Defekte . . . . .	116
4.2 Photolithographie . . . . .	118
4.2.1 Photoresistschichten . . . . .	118

4.2.2 Ausbildung von Photoresiststrukturen . . . . .	122
4.2.3 Schwankung der Lichtintensität im Photoresist . . . . .	125
4.2.4 Spezielle Photoresisttechniken . . . . .	130
4.2.5 Optische Belichtungsverfahren . . . . .	137
4.2.6 Auflösungsvermögen der lichtoptischen Belichtungsgeräte .	140
4.2.7 Justiergenauigkeit von lichtoptischen Belichtungsgeräten .	149
4.2.8 Defekte bei der lichtoptischen Lithographie . . . . .	153
<b>4.3 Röntgenlithographie . . . . .</b>	<b>154</b>
4.3.1 Wellenlängenbereich für die Röntgenlithographie . . . . .	155
4.3.2 Röntgenresists . . . . .	156
4.3.3 Röntgenquellen . . . . .	157
4.3.4 Röntgenmasken . . . . .	162
4.3.5 Justierverfahren der Röntgenlithographie . . . . .	164
4.3.6 Strahlenschäden bei der Röntgenlithographie . . . . .	164
<b>4.4 Elektronenlithographie . . . . .</b>	<b>165</b>
4.4.1 Elektronenresists . . . . .	165
4.4.2 Auflösungsvermögen der Elektronenlithographie . . . . .	166
4.4.3 Elektronenstrahlschreibgeräte . . . . .	169
4.4.4 Elektronenprojektionsgeräte . . . . .	173
4.4.5 Justierverfahren der Elektronenlithographie . . . . .	174
4.4.6 Strahlenschäden bei der Elektronenlithographie . . . . .	175
<b>4.5 Ionenlithographie . . . . .</b>	<b>177</b>
4.5.1 Ionenresists . . . . .	177
4.5.2 Ionenstrahlschreiben . . . . .	179
4.5.3 Ionenstrahlprojektion . . . . .	181
4.5.4 Auflösungsvermögen der Ionenlithographie . . . . .	184
<b>4.6 Literatur zu Kapitel 4 . . . . .</b>	<b>187</b>
<b>5 Ätztechnik . . . . .</b>	<b>189</b>
5.1 Naßchemisches Ätzen . . . . .	190
5.2 Plasmaunterstütztes Ätzen . . . . .	193
5.2.1 Physikalisches Ätzen . . . . .	194
5.2.2 Chemisches Ätzen . . . . .	194
5.2.3 Chemisch-Physikalisches Ätzen . . . . .	195
5.2.4 Chemische Ätzreaktionen . . . . .	201
5.2.5 Ätzgase . . . . .	203
5.2.6 Prozeßoptimierung . . . . .	204
5.2.7 Endpunktterkennung . . . . .	207
5.3 Plasmaunterstützte Ätzprozesse . . . . .	210
5.3.1 Siliziumnitrid . . . . .	211
5.3.2 Polysilizium . . . . .	211
5.3.3 Einkristallines Silizium . . . . .	213

5.3.4 Metallsilizide und Refraktär-Metalle . . . . .	215
5.3.5 Siliziumdioxid . . . . .	216
5.3.6 Aluminium . . . . .	218
5.3.7 Polymere . . . . .	220
5.4 Literatur zu Kapitel 5 . . . . .	221
<b>6 Dotiertechnik . . . . .</b>	<b>223</b>
6.1 Thermische Dotierung . . . . .	224
6.2 Dotierung mittels Ionenimplantation . . . . .	225
6.2.1 Ionenimplantationsanlagen . . . . .	225
6.2.2 Implantierte Dotierprofile . . . . .	227
6.3 Aktivierung und Diffusion von Dotieratomen . . . . .	234
6.3.1 Aktivierung implantierter Dotieratome . . . . .	234
6.3.2 Intrinsische Diffusion von Dotieratomen . . . . .	235
6.3.3 Diffusion bei hohen Dotieratomkonzentrationen . . . . .	238
6.3.4 Oxidationsbeschleunigte Diffusion . . . . .	239
6.3.5 Diffusion von Dotieratomen an Grenzflächen . . . . .	240
6.3.6 Diffusion von Dotieratomen in Schichten . . . . .	242
6.3.7 Schichtwiderstand von dotierten Schichten . . . . .	243
6.3.8 Diffusion am Rand von dotierten Bereichen . . . . .	245
6.4 Diffusion von nichtdotierenden Stoffen . . . . .	246
6.5 Literatur zu Kapitel 6 . . . . .	249
<b>7 Reinigungstechnik . . . . .</b>	<b>250</b>
7.1 Verunreinigungen und ihre Auswirkungen . . . . .	250
7.2 Scheibenreinigung . . . . .	253
7.2.1 Beseitigung von Partikeln . . . . .	253
7.2.2 Naßchemische Scheibenreinigung . . . . .	253
7.2.3 Getterverfahren . . . . .	255
7.3 Reine Räume, Materialien und Prozesse . . . . .	255
7.3.1 Reinräume . . . . .	255
7.3.2 Reine Materialien . . . . .	257
7.3.3 Saubere Prozeßführung . . . . .	259
7.4 Literatur zu Kapitel 7 . . . . .	260
<b>8 Der Gesamtprozeß – Architektur und Integration . . . . .</b>	<b>261</b>
8.1 MOS-Technologie . . . . .	261
8.1.1 Silizium-Gate- und LOCOS-Technologie . . . . .	263
8.1.2 N-Kanal-Technologie . . . . .	264

8.1.3 Doppel-Polysilizium-Technologie . . . . .	265
8.1.4 Der dynamische 1 Mbit-Speicher in CMOS-Technologie .	268
8.1.5 Der dynamische 4 Mbit-Speicher, Grenzen der planaren, zweidimensionalen Technologie . . . . .	270
8.1.6 Prozeßvarianten für Logik-Anwendungen . . . . .	271
<b>8.2 CMOS-Technologie . . . . .</b>	<b>274</b>
8.2.1 Grundstruktur des CMOS-Prozesses . . . . .	275
8.2.2 P-Wannen- oder N-Wannen-Prozeß . . . . .	276
8.2.3 Optimierung eines CMOS-Prozesses . . . . .	277
8.2.4 Der Retrograde-Wannen-Prozeß . . . . .	284
8.2.5 Prozeßablauf eines CMOS-Prozesses . . . . .	285
<b>8.3 Bipolartechnologie . . . . .</b>	<b>292</b>
8.3.1 Gesamtprozesse zur Herstellung von Bipolarschaltungen .	292
8.3.2 OXIS-Technologie . . . . .	293
8.3.3 Technologie mit Polysiliziumemitter und -basis . . . . .	293
<b>8.4 BICMOS-Technologie . . . . .</b>	<b>301</b>
<b>8.5 Literatur zu Kapitel 8 . . . . .</b>	<b>307</b>
<b>9 Strukturverkleinerung in der MOS-Technik . . . . .</b>	<b>308</b>
9.1 Die ähnliche Verkleinerung . . . . .	308
9.2 Strukturverkleinerung mit konstanten Spannungspegeln, Feinstruktureffekte . . . . .	309
9.2.1 Abhängigkeit der Einsatzspannung von den Kanaldimensionen Länge und Weite . . . . .	309
9.2.2 Heiße Elektronen . . . . .	310
9.2.3 Parasitäre Ströme als Folge der Stoßionisation . . . . .	310
9.3 Literatur zu Kapitel 9 . . . . .	313
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>315</b>