

D. Widmann · H. Mader · H. Friedrich

Technologie hochintegrierter Schaltungen

Mit 200 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo 1988

Inhaltsverzeichnis

Bezeichnungen und Symbole	13
1 Einleitung	17
Literatur zu Kapitel 1	22
2 Grundzüge der Technologie von Integrierten Schaltungen	23
Literatur zu Kapitel 2	31
3 Schichttechnik	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 ₂ -Schichten	64
3.4.1 Anwendung von thermischen SiO ₂ -Schichten	64
3.4.2 LOCOS-Technik	67
3.4.3 Charakterisierung von thermischen SiO ₂ -Schichten	72

3.5	Abgeschiedene SiO_2 -Schichten	75
3.5.1	Erzeugung von abgeschiedenen SiO_2 -Schichten	75
3.5.2	Anwendung abgeschiedener SiO_2 -Schichten	76
3.5.3	Spacertechnik	76
3.5.4	Grabenisolation	78
3.5.5	SiO_2 -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	Silizidkontaktschichten	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
4	Lithographie	115
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
4.3	Röntgenlithographie	154
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	Justiervverfahren der Röntgenlithographie	164
4.3.6	Strahlenschäden bei der Röntgenlithographie	164
4.4	Elektronenlithographie	165
4.4.1	Elektronenresists	165
4.4.2	Auflösungsvermögen der Elektronenlithographie	166
4.4.3	Elektronenstrahlanschreiber	169
4.4.4	Elektronenprojektionsgeräte	173
4.4.5	Justiervverfahren der Elektronenlithographie	174
4.4.6	Strahlenschäden bei der Elektronenlithographie	175
4.5	Ionenlithographie	177
4.5.1	Ionenresists	177
4.5.2	Ionenstrahlanschreiben	179
4.5.3	Ionenstrahlprojektion	181
4.5.4	Auflösungsvermögen der Ionenlithographie	184
4.6	Literatur zu Kapitel 4	187

5 Ätztechnik 189

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	Ätzelektrolyse	203
5.2.6	Prozeßoptimierung	204
5.2.7	Endpunkterkennung	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
6 Dotiertechnik	223
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
7 Reinigungstechnik	250
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
8 Der Gesamtprozeß – Architektur und Integration	261
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
8.2	CMOS-Technologie	274
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
8.3	Bipolartechnologie	292
8.3.1	Gesamtprozesse zur Herstellung von Bipolarschaltungen	292
8.3.2	OXIS-Technologie	293
8.3.3	Technologie mit Polysiliziumemitter und -basis	293
8.4	BICMOS-Technologie	301
8.5	Literatur zu Kapitel 8	307
9	Strukturverkleinerung in der MOS-Technik	308
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
	Sachverzeichnis	315