

Inhaltsverzeichnis

Schreibweise und Formelzeichen der wichtigsten Größen	14
1 Einleitung	17
2 Charakteristika der Halbleitertechnik	22
2.1 Begriffsbestimmungen und Eigenheiten	22
2.2 Materialien	25
2.2.1 Halbleiter	25
2.2.1.1 Eigenschaften von Silicium und Galliumarsenid	25
2.2.1.2 Siliciumscheiben: Verunreinigungen, Defekte und ihre Gette- rung	26
2.2.1.3 Kenngrößen von Siliciumscheiben	30
2.2.2 Isolatoren	33
2.2.3 Metalle, Silicide, Poly-Silicium	33
2.3 Fertigungsprozeßgestaltung	35
2.3.1 Technisch-ökonomische Forderungen	35
2.3.2 Ausbeute	36
2.3.2.1 Ausbeutefaktoren	37
2.3.2.2 Ausfallwirksame Punktdefekte	38
2.3.2.3 Reduzierung der Punktdefektgeneration	39
2.3.2.4 Lernkurven	42
2.3.3 Prozeßorganisation und Prozeßsteuerung	43
3 Verfahrenseinfluß bei Grundelementen integrierter Schaltkreise	45
3.1 Leitbahnsystem	45
3.1.1 Prinzipieller Aufbau	45
3.1.2 Anforderungen und Kenngrößen	46
3.1.3 Herstellung und Eigenschaften von Leitbahnen	50
3.2 pn-Übergang	51
3.2.1 Aufbau und Funktionsweise	51
3.2.2 Kenngrößen und Anforderungen	52
3.2.3 Realisierung	53
3.3 Kontakte	54
3.3.1 Metall-Halbleiter-Kontakt	54
3.3.1.1 Aufbau, Funktionsweise und Kenngrößen	54
3.3.1.2 Anforderungen	55
3.3.1.3 Herstellung und Eigenschaften	56
3.3.2 Metall-Metall-Kontakt	57
3.4 Widerstände	58

3.5	Si-SiO ₂ -Grenzfläche und MOS-Struktur	59
3.5.1	Si-SiO ₂ -Grenzfläche: Eigenschaften, Kenngrößen und Verfahrenseinfluß	59
3.5.2	MOS-Struktur	63
3.5.3	Gateoxid	66
3.6	Kapazitäten	68
3.7	Isolation	69
4	Schichtherstellung	72
4.1	Thermische Oxydation	74
4.1.1	Oxydation von Si: Oxidwachstum, Defektgeneration und Oxideigenschaften	75
4.1.2	Verfahren der thermischen Oxydation	79
4.1.3	Herstellung von Oxynitridschichten	81
4.1.4	Lokale Oxydation von Silicium	81
4.1.5	Oxydation von Poly-Silicium und Siliciden	82
4.1.6	Oxydationsanlagen	84
4.2	Chemische Gasphasenabscheidung	84
4.2.1	CVD-Verfahren und ihre Anwendung	85
4.2.2	Mechanismus der chemischen Gasphasenabscheidung	87
4.2.3	Abscheidung von Siliciumdioxid, Silikatgläsern und Siliciumnitrid	90
4.2.4	Abscheidung von Poly-Silicium, Siliciden und Metallen	98
4.2.5	Chemische Gasphasenepitaxie von Silicium	103
4.2.5.1	Anforderungen an epitaktische Schichten und Anwendung	105
4.2.5.2	Mechanismen und Verfahren der Gasphasenepitaxie	106
4.2.5.3	Defekte, Strukturverzerrung, Autodoping	109
4.2.5.4	In-situ-Substratvorbehandlung	112
4.2.6	CVD-Anlagen	112
4.3	Katodenzerstäubung	115
4.3.1	Zerstäubungsverfahren und ihre Anwendung	116
4.3.2	Mechanismus der Beschichtung durch Plasmazerstäuben	119
4.3.2.1	Grundlegende Vorgänge	119
4.3.2.2	Kinetik der Zerstäubung	120
4.3.2.3	Teilchenbeschuß des Substrats und Strahlenschadensgeneration	124
4.3.3	Aufstäubung ausgewählter Schichten	126
4.3.3.1	Grundlegendes zur Verfahrensführung	126
4.3.3.2	Aufstäuben metallischer Schichten	127
4.3.3.3	Reaktives Aufstäuben	129
4.3.4	Zerstäubungsanlagen	129
4.3.5	Zerstäubungsätzen	132
4.3.5.1	Strukturübertragung durch Zerstäubungsätzen	132
4.3.5.2	Ätzanlagen und typische Betriebsparameter	136
4.4	Bedampfen	136
4.4.1	Bedampfungsverfahren	137
4.4.2	Bedampfungsvorgang	137
4.4.3	Bedampfungsanlagen	139

4.5	Temperung	140
4.5.1	Temperkenngrößen und -verfahren	140
4.5.2	Isotherme Kurzzeittemperung	143
4.5.3	Ofentemperung	145
5	Dotierung	147
5.1	Dotierungsverfahren	148
5.1.1	Dotierung durch Diffusion	148
5.1.2	Dotierung durch Ionenimplantation	149
5.1.3	Legierungsdotierung	150
5.1.4	Weitere Dotierungsverfahren	152
5.1.4.1	Thermomigration	152
5.1.4.2	Dotierung mittels Laserkurzzeittemperung	152
5.1.5	Übersicht über Methoden und Meßverfahren zur Untersuchung dotierter Halbleitergebiete	153
5.2	Diffusion	155
5.2.1	Theorie der Diffusion im Silicium	155
5.2.1.1	Phänomenologische Theorie	155
5.2.1.1.1	Ficksches Diffusionsgesetz	155
5.2.1.1.2	Grundlösungen der Fickschen Diffusionsgleichung	157
5.2.1.1.3	Abweichungen vom Fickschen Gesetz	162
5.2.1.1.4	Defektgeneration durch Diffusion	167
5.2.1.1.5	Diffusion in oxydierender Atmosphäre	167
5.2.1.1.6	Diffusion durch Maskenfenster	169
5.2.1.1.7	Beeinflussung der Diffusion durch Kristalldefekte	170
5.2.1.1.8	Diffusionsanomalien bei Ionenimplantation	171
5.2.1.1.9	Diffusion bei Silicierungsprozessen	172
5.2.1.2	Mikroskopische Diffusionsmodelle	172
5.2.2	Diffusionsverfahren	177
5.2.2.1	Technologische Grundlösungen	177
5.2.2.2	Diffusionsverfahren mit externer Dotantenquelle	178
5.2.2.3	Diffusionsverfahren mit internen Dotantenquellen	179
5.2.2.4	Kontrolle wesentlicher Verfahrensparameter	181
5.2.2.5	Vergleich der Diffusionsverfahren und Trends	182
5.2.3	Diffusionsanlagen	182
5.2.3.1	Prinzipieller Aufbau von Diffusionsanlagen	182
5.2.3.2	Ofen und Temperaturregelung	183
5.2.3.3	Gasversorgung	184
5.2.3.4	Gasentsorgung	185
5.2.3.5	Scheibentransport	186
5.2.4	Materialien für Diffusionsverfahren	186
5.2.4.1	Dotantenquellen	186
5.2.4.2	Prozeßgase	187
5.2.4.3	Hilfsmaterialien	187
5.3	Ionenimplantation	189
5.3.1	Energie-Reichweite-Beziehung von Ionen im Festkörper	189
5.3.1.1	Projizierte Reichweite und Reichweitestreuung	190
5.3.1.2	Channelingeffekt	190

5.3.1.3	Laterale Streuung der Ionen	192
5.3.1.4	Ionenreichweite in Schichtsystemen	193
5.3.1.5	Sputtereffekt	193
5.3.2	Strahlenschäden	194
5.3.2.1	Amorphisierungs-dosis	196
5.3.2.2	Einfluß von Verfahrensparametern auf die Bildung von Strahlenschäden	196
5.3.2.3	Wirkungen von Strahlenschäden	197
5.3.2.4	Ausheilung von Strahlenschäden	198
5.3.3	Ionenimplantation in Silicium	200
5.3.3.1	Borimplantation	200
5.3.3.2	Phosphorimplantation	203
5.3.3.3	Arsenimplantation	206
5.3.3.4	Implantation von Aluminium, Gallium, Indium und Antimon	208
5.3.3.5	Implantation von Sauerstoff und Stickstoff	209
5.3.3.6	Rückstoßimplantation	209
5.3.4	Funktionsgruppen von Ionenimplantationsanlagen	210
5.3.4.1	Ionenquellen	210
5.3.4.2	Massenanalysator	213
5.3.4.3	Beschleunigung der Ionen	214
5.3.4.4	Bearbeitungsstation	215
5.3.5	Anlageneinflüsse auf die Implantation	216
5.3.5.1	Neutralteilchen	216
5.3.5.2	Partikelgeneration	216
5.3.5.3	Atomare Verunreinigungen	217
5.3.5.4	Kohlenwasserstoffkontamination	217
5.3.5.5	Dosismessung	217
5.3.6	Industriell eingesetzte Implantationsanlagen	219
5.3.6.1	Mittelstromimplanter	219
5.3.6.2	Hochstromimplanter	220
5.3.6.3	Höchststromimplanter	220
5.3.6.4	Hochenergieimplanter	221
6	Maskierung	223
6.1	Grundlegendes zur Maskierung	224
6.1.1	Definitionen, Begriffsbestimmungen, grundlegende Anforderungen	224
6.1.1.1	Lithographie, Lackschichtstrukturierung, Schablonen	224
6.1.1.2	Schablonenherstellung	225
6.1.1.3	Grundverfahren der Belichtung	227
6.1.1.4	Lackmaskenfehler	231
6.1.2	Lithographischer Prozeß	232
6.1.2.1	Lithographischer Prozeß mit Ätztechnik	232
6.1.2.2	Lithographischer Prozeß mit Abhebetchnik	234
6.1.2.3	Besonderheiten und typische Verfahrensparameter	234
6.1.3	Lack, Lackschicht, Lackmaske – Anforderungen und Charakterisierung	236
6.1.3.1	Anforderungen an Lack, Lackschicht und -maske	236

6.1.3.2	Struktur, Wirkprinzip und Eigenschaften von Fotolacken	240
6.1.3.3	Struktur und Eigenschaften von Strahlenlacken	244
6.2	Lackbeschichtung, Lacktemperung und Lackentfernung	246
6.2.1	Lackbeschichtung	247
6.2.1.1	Charakterisierung von Lackbeschichtung und Substratoberfläche	247
6.2.1.2	Substratvorbehandlung	247
6.2.1.3	Verfahren der Lackbeschichtung	250
6.2.2	Lacktemperung	253
6.2.2.1	Einfluß der Temperung auf Lackschicht und Lackmaske	253
6.2.2.2	Physikalisch-chemische Vorgänge	254
6.2.2.3	Tempervverfahren und Ausrüstungen	257
6.2.2.4	Verfahrensführung	258
6.2.3	Lackentfernung	258
6.2.3.1	Anforderungen und Übersicht	258
6.2.3.2	Nasse Oxydation	259
6.2.3.3	Lackablösung	260
6.2.3.4	Plasmalackentfernung	260
6.3	Lackschichtstrukturierung	261
6.3.1	Allgemeine Charakterisierung der Einzelverfahren der Strukturierung	262
6.3.1.1	Allgemeine Charakterisierung der Belichtung	262
6.3.1.2	Justierung – Charakterisierung und grundlegende Prozesse . .	265
6.3.1.3	Wechselwirkung zwischen Belichtung und Entwicklung	270
6.3.2	Lichtoptische Belichtung	274
6.3.2.1	Grundverfahren, Leistungsvermögen, Anwendung	274
6.3.2.2	Kontakt- und Abstandsbelichtung	276
6.3.2.3	Katoptrische Projektionsbelichtung	279
6.3.2.4	Schrittweise, partielle Belichtung	280
6.3.3	Elektronenoptische Belichtung	286
6.3.3.1	Belichtungsverfahren und -anlagen	286
6.3.3.2	Leistungsvermögen, Anwendung	290
6.3.4	Röntgenstrahlbelichtung	293
6.3.5	Ionenoptische Belichtung	299
6.3.6	Entwicklung	304
6.3.6.1	Entwicklungsvorgang und Entwickler	304
6.3.6.2	Verfahren und Einrichtungen	306
6.3.6.3	Verfahrensführung	307
6.4	Nichtkonventionelle Verfahren der Lackmaskenherstellung	307
6.4.1	Zweischichtstrukturierungsprozeß	308
6.4.2	Dreischichtstrukturierungsprozeß	310
6.4.3	Bildumkehrverfahren	312
7	Ätzen und Reinigen	316
7.1	Ätzen	316
7.1.1	Ätzverfahren und Ätzkenngößen	316
7.1.1.1	Ätzverfahren und Anwendung	316
7.1.1.2	Ätzkenngößen und Anforderungen	319

7.1.2	Mechanismen der Ätzung und der Veränderung der Oberfläche	321
7.1.2.1	Grundlegende Vorgänge	321
7.1.2.2	Geschwindigkeitsbestimmende Stadien der chemischen Ätzung	323
7.1.2.3	Einflußgrößen beim Ätzen	323
7.1.2.4	Abtragstimulierende und -hemmende Mechanismen beim Plasmaätzen	325
7.1.2.5	Strahlenschäden	325
7.1.3	Plasmaätzen	326
7.1.3.1	Plasmaätzung ausgewählter Materialien	327
7.1.3.2	Ausrüstungen zum Plasmaätzen	331
7.1.3.3	Verfahrensoptimierung	333
7.1.4	Naßchemisches Ätzen	334
7.2	Reinigen	337
7.2.1	Ursachen und Auswirkungen von Verunreinigungen	337
7.2.2	Reinigungsverfahren	337
8	Montage	342
8.1	Einordnung und Charakteristika der Montage	342
8.1.1	Systematik	343
8.1.2	Begriffe	343
8.2	Chipbereitstellung	345
8.2.1	Rückseitenbearbeitung	345
8.2.2	Vereinzeln	349
8.2.3	Chippräsentation	353
8.3	Chipbonden	353
8.3.1	Systematik und Charakteristika	353
8.3.2	Chiplöten	354
8.3.2.1	Grundlagen	354
8.3.2.2	Materialien	355
8.3.2.3	Verfahrensführung	361
8.3.3	Anglasen	364
8.3.3.1	Grundlagen	364
8.3.3.2	Materialien	364
8.3.3.3	Verfahrensführung	365
8.3.4	Chipkleben	366
8.3.4.1	Grundlagen	366
8.3.4.2	Materialien	367
8.3.4.3	Verfahrensführung	368
8.3.5	Qualitätskontrolle	369
8.3.6	Ausrüstungen	370
8.3.6.1	Aufbau und Wirkungsweise von Chipbondern	370
8.3.6.2	Automatisierte Chipbonden	371
8.4	Herstellen elektrischer Zwischenverbindungen zum Chip	372
8.4.1	Systematik und Begriffsbestimmungen	372
8.4.2	Drahtbonden	374
8.4.2.1	Übersicht	374
8.4.2.2	Wirkprinzipien	375

8.4.2.3	Materialien	376
8.4.2.4	Technologische Merkmale des Thermokompressionsdrahtbondens	383
8.4.2.5	Technologische Merkmale des Ultraschalldrahtbondens	386
8.4.2.6	Technologische Merkmale des Thermosonicdrahtbondens	389
8.4.2.7	Qualitätskontrolle	390
8.4.2.8	Drahtbondausrüstungen	391
8.4.2.9	Automatisiertes Drahtbonden	393
8.4.3	Simultanbonden	395
8.4.3.1	Direkte Kontakte zwischen Bondstrukturen	395
8.4.3.2	Indirekte Kontakte zwischen Bondstrukturen über Zwischenleiter	397
8.5.	Gehäuse	401
8.5.1	Charakteristika der Gehäuse	401
8.5.1.1	Gehäusetechniken	401
8.5.1.2	Allgemeine Forderungen	404
8.5.1.3	Gehäusebauformen	404
8.5.1.4	Gehäuseaufbau	405
8.5.2	Verfahren zum Gehäuseverschluß	411
8.5.2.1	Gehäuse mit metallischer Verschlußfläche	412
8.5.2.2	Gehäuse mit keramischer oder beglaster Verschlußfläche	416
8.5.2.3	Umhüllung mit Plastmaterialien	419
8.5.3	Schutz gegen Strahlung	424
9	CMOS-Prozeß	426
9.1	Substratauswahl	426
9.2	Eingangskomplex und Wannenherstellung	427
9.3	Isolation	429
9.4	DRAM-Speicherkapazität	432
9.5	Herstellung der Transistoren	434
9.6	Erste Leitbahnebene	438
9.7	Zweite Leitbahnebene	440
9.8	Passivierung, Endbearbeitungsschritte des Scheibenprozesses	441
9.9	Ergänzung: BiCMOS-Prozeß	443
9.9.1	Vergrabene Gebiete und Epitaxie	443
9.9.2	Kollektoranschluß und Basis	444
9.9.3	Emitter	444
Anhang	449
Literaturverzeichnis	487
Register	513