

Inhaltsverzeichnis

Physikalische Größen

1 Der ideale Einkristall	1
1.1 Gitteraufbau	1
1.2 Beschreibung von Ebenen und Richtungen im Kristall	2
1.3 Bindungskräfte	5
1.3.1 Die heteropolare oder ionische Bindung	5
1.3.2 Die homöopolare und kovalente Bindung	5
1.3.3 Die metallische Bindung	6
1.3.4 Die van der Waalssche Bindung	7
2 Der reale Kristall	8
2.1 Punktförmige Kristallfehler	8
2.1.1 Eigendefekte	8
2.1.2 Chemische Defekte	10
2.2 Linienförmige Kristallfehler	10
2.2.1 Kantenversetzungen	10
2.2.2 Schraubenversetzungen	11
2.3 Flächenhafte Kristallfehler	12
2.3.1 Stapelfehler	12
2.3.2 Korngrenzen	13
2.3.3 »Twin Boundaries«	13
2.4 Volumendefekte	14
3 Herstellung von Einkristallen	15
3.1 Grundlagen des Kristallwachstums	15
3.2 Phasendiagramme	18
3.3 Verfahren der Kristallzucht	27
3.3.1 Kristallziehen aus der Schmelze am Beispiel von Silizium und Galliumarsenid	27
3.3.1.1 Herstellung von Silizium	27
3.3.1.2 Technische Herstellung von GaAs-Einkristallen aus der Schmelze	33

3.3.2 Herstellung dünner einkristalliner Schichten aus der Gasphase am Beispiel der Si- und GaAs-Gasphasenepitaxie	38
3.3.2.1 Herstellung epitaktischer Silizium-Schichten	39
3.3.2.2 Herstellung epitaktischer GaAs-Schichten	43
3.3.3 Herstellung einkristalliner Schichten aus der flüssigen Phase am Beispiel der GaAs-Flüssigphasen-Epitaxie	45
3.3.3.1 Das Phasendiagramm Gallium-Arsen	45
3.3.3.2 Praktische Ausführungen der Flüssigphasenepitaxie	48
3.3.4 Herstellung einkristalliner Schichten durch Aufdampfen im Vakuum	50
3.3.5 Herstellung dünner einkristalliner Schichten mit Hilfe der Molekularstrahlepitaxie	52
4 Dotiertechnologie	55
4.1 Legierung	57
4.1.1 Die prinzipiellen Verfahrensschritte	58
4.1.2 Dotierungsverlauf	59
4.2 Diffusion	61
4.2.1 Die Diffusionsgesetze	62
4.2.2 Dotierungsprofile bei unterschiedlichen Randbedingungen	63
4.2.2.1 Diffusion aus einer unerschöpflichen Quelle	63
4.2.2.2 Diffusion aus einer erschöpflichen Quelle	66
4.2.2.3 Profilverlauf bei einer Zwei-Schritt-Diffusion	68
4.2.2.4 Ausdiffusion	70
4.2.2.5 Veränderung einer Dotierungs-Konzentrationsstufe	71
4.2.2.6 Flußbegrenzung durch die Kristalloberfläche	73
4.2.2.7 Änderung des Diffusionsprofiles bei der Bildung einer Oxidschicht	75
4.2.3 Diffusionsmechanismus	76
4.2.4 Diffusionskonstanten in Silizium	80
4.2.5 Praktische Durchführung der Halbleiterdiffusion	82
4.2.5.1 Wahl der Dotierungsstoffe	84
4.2.5.2 Diffusionsverfahren	85
4.2.5.3 Probleme beim Diffusionsprozeß	91
4.2.6 Getterung	93
4.2.6.1 Entstehung von Metallausscheidungen	93
4.2.6.2 Prinzipielle Möglichkeiten einer Schwermetallgetterung	94
4.2.6.3 Praktische Ausführung	98
4.3 Ionenimplantation	100
4.3.1 Grundlagen der Ionenimplantation	100
4.3.1.1 Reichweiteverteilung der Ionen in amorphen Substanzen	100
4.3.1.2 Reichweiteverteilung der Ionen in einkristallinen Substanzen	104

4.3.2 Experimentell erhaltene Profile bei einkristallinem	
Ausgangsmaterial	105
4.3.2.1 Streuung in Kanäle	106
4.3.2.2 Erhöhte Diffusion durch Bestrahlung	108
4.3.2.3 Thermische Diffusion	109
4.3.2.4 Strahlenschäden	109
4.3.3 Elektrische Aktivierung und Restaurierung	
der implantierten Schicht	110
4.3.4 Probleme der Ionenimplantation bei Verbindungshalbleitern	113
4.3.5 Zusammenfassung der Möglichkeiten der Ionenimplantation	114
4.3.6 Praktische Durchführung der Ionenimplantation	115
4.3.7 Anwendungen der Ionenimplantation bei	
der Bauelementerherstellung	117
4.4 Dotierung durch Kernumwandlung	118
4.4.1 Dotierungsverfahren	119
4.4.2 Homogenität der Dotierung	120
4.4.3 Anwendung der Dotierung durch Kernumwandlung	
bei der Bauelementerherstellung	120
4.5 Gegenüberstellung der Dotierungsverfahren	120
5 Der Metall-Halbleiter-Kontakt	123
5.1 Das System Metall-Vakuum	124
5.2 Das System Metall-Halbleiter	124
5.2.1 Potentialverhältnisse am idealen Metall-Halbleiter-Kontakt	124
5.2.2 Potentialverhältnisse am Metall-Halbleiter-Kontakt mit	
Oberflächenzuständen	127
5.2.3 Erniedrigung der Barrierenhöhe durch den Schottky-Effekt	128
5.3 Strom-Spannungs-Kennlinien der Kontakte	129
5.3.1 Stromtransport im Metall-Halbleiter-Kontakt	129
5.3.2 I-U-Kennlinien beim Schottky-Kontakt	130
5.3.3 I-U-Kennlinien beim ohmschen Kontakt	132
5.4 Technische Ausführungen von	
Schottky- und ohmschen Kontakten	133
5.5 Wärmeableitung durch Kontakte	134
6 Meßverfahren zur Ermittlung von Halbleiterparametern	138
6.1 Meßverfahren zur Ermittlung elektrischer Größen	138
6.1.1 Leitungstyp	138
6.1.1.1 Thermokraftmessung	139
6.1.1.2 Richtwirkung einer federnden Metallspitze	139
6.1.2 Elektrische Leitfähigkeit und Schichtwiderstand	140
6.1.2.1 Vier-Spitzen-Methode	141
6.1.2.2 Zwei-Sonden-Verfahren	144
6.1.2.3 Methode nach van der Pauw	145

6.1.2.4 Kontaktwiderstandsmethode (Spreading Resistance Methode)	147
6.1.3 Ladungsträgerkonzentration	150
6.1.3.1 Hall-Messungen	150
6.1.3.2 Messungen mittels Schottky-Kontakten	153
6.1.4 Ladungsträger-Lebensdauer	156
6.1.4.1 Direkte Methoden	156
6.1.4.2 Indirekte Methoden	159
6.1.5 Ladungsträger-Beweglichkeit	161
6.1.5.1 Beweglichkeit der Majoritätsträger	161
6.1.5.2 Beweglichkeit der Minoritätsträger	161
6.1.6 Diffusionslänge	161
6.1.7 Lage von pn-Übergängen	162
6.1.7.1 Chemische Sichtbarmachung der pn-Übergänge	162
6.1.7.2 Elektrische Bestimmung der Lage des pn-Überganges	164
6.2 Meßverfahren zur Ermittlung physikalischer Größen	165
6.2.1 Kristallorientierung	165
6.2.1.1 Röntgenoptische Bestimmung	165
6.2.1.2 Lichtoptische Bestimmung	167
6.2.2 Versetzungslinien	167
6.2.2.1 Ätzgruben	167
6.2.2.2 Kupferdekorierung	169
6.2.2.3 Röntgentopographie	169
7 Kristallvorbereitung	171
7.1 Sägen	172
7.2 Oberflächenglättung	173
7.3 Ätzen	174
7.4 Reinigen der Krsitalloberfläche	177
8 Technologie Integrierter Schaltungen	179
8.1 Grundzüge der Planartechnik	179
8.2 Schichttechnik	182
8.2.1 Thermische Oxidation zur Herstellung von Siliziumdioxid	183
8.2.2 CDV-Abscheidung	186
8.2.3 Kathodenzerstäubung	189
8.2.4 Schleuderbeschichtung	192
8.2.5 Anodische Oxidation	192
8.3 Lithographie	193
8.3.1 Fotolithographie	194
8.3.2 Herstellung von Fotomasken	195
8.3.3 Belichtungsverfahren der Fotolithographie	197
8.3.4 Verfahrensschritte bei der Fotolithographie	200
8.3.5 Elektronenstrahl-Lithographie	202

8.3.6 Röntgenstrahl-Lithographie	206
8.3.7 Ionenstrahl-Lithographie	208
8.4 Ätztechnik	210
8.4.1 Naßchemisches Ätzen	210
8.4.2 Trockenätzen	212
8.5 Maskierwirkung von strukturierten Schichten	215
8.5.1 SiO ₂ -Maskierschicht für die Diffusion	216
8.5.2 Maskierschichten für die Ionenimplantation	222
8.6 Spezielle Prozesse für die Herstellung von Integrierten Schaltungen	223
8.6.1 Lokale Oxidation von Silizium	223
8.6.1.1 Anwendung der lokalen Oxidation von Silizium für drei verschiedene Grundstrukturen	225
8.6.1.2 Beurteilung der lokalen Oxidation im Vergleich zur ursprünglichen Planartechnik	226
8.6.1.3 Probleme der lokalen Oxidation	227
8.6.2 Silizium-Steuerelektroden-Technik	228
8.7 Gesamtprozesse zur Herstellung Integrierter Schaltungen	229
8.7.1 Gesamtprozeß zur Herstellung von CMOS-Schaltungen	229
8.7.2 Gesamtprozeß zur Herstellung von Bipolarschaltungen	232
8.7.3 BICMOS-Schaltungen	235
8.7.4 SOI-Technik	236
8.7.5 Dreidimensionale Integration	238
9 Gehäuse- und Montagetechnik	240
9.1 Gehäusetypen	242
9.1.1 Dual in line-Gehäuse (DIP)	243
9.1.2 Pin grid arrays (PGAs)	244
9.1.3 Flachgehäuse	244
9.1.4 Chip Carrier-Gehäuse	245
9.2 Montage der Halbleiter-Chips im Gehäuse	245
9.2.1 Legieren	246
9.2.2 Löten	246
9.2.3 Kleben	247
9.3 Kontaktierung mit Drähten	247
9.3.1 Thermokompressionsverfahren	247
9.3.2 Ultraschallverfahren	250
9.3.3 Kombination zwischen Thermokompressions- und Ultraschallverfahren	250
9.4 Andere Kontaktierungs- und Montagemethoden	250
9.4.1 Plättchen-Schnellmontage-Technik	250
9.4.2 »Stäge«-Technik	251
9.4.3 Spinnentechnik	254
9.5 Verkapselung	255

XVI Inhaltsverzeichnis

10 Mikromechanik	257
10.1 Physikalische Effekte zur Signalumwandlung	257
10.1.1 Erfassung mechanischer Größen	257
10.1.2 Erfassung thermischer Größen	258
10.2 Technologie der Mikromechanik	259
10.2.1 Naßchemische Tiefenätztechnik	259
10.2.2 Tiefenlithographie und Abformtechnik	260
10.3 Anwendungen der Mikromechanik	262
11 Anhang	264
Literaturverzeichnis	273
Sachverzeichnis	281