
Ha Duong Ngo

Technologien der Mikrosysteme

Inhaltsverzeichnis

1	Definition eines Mikrosystems	1
1.1	Systemstrukturen und Anwendungen von Mikrosystemen	1
1.2	Technologien der Mikrosystemtechnik	3
2	Wichtige Halbleiter in der Mikrosystemtechnik	5
2.1	Allgemeines	5
2.2	Kristallstruktur von Si, GaAs und SiC	8
2.2.1	Gitterstruktur von Si, GaAs und SiC	9
2.2.2	Vergleich der Eigenschaften von Si, GaAs, 4H-SiC und 6H-SiC mit Al und Stahl	10
2.3	Millersche Indizes	11
2.3.1	Ebenen	11
2.3.2	Richtungen	12
3	Herstellung von einkristallinem Silizium, Galliumarsenid und Siliziumkarbid	15
3.1	Silizium	15
3.1.1	Tiegelziehverfahren	18
3.1.2	Tiegelfreies Zonenziehen (FZ-Verfahren)	20
3.1.3	NTD-Silizium	22
3.1.4	Scheiben(Wafer)-Herstellung	24
3.1.5	Der reale Kristall	25
3.2	GaAs-Kristallherstellung	30
3.2.1	HB- und HGF-Verfahren	30
3.2.2	LEC-Verfahren	31
3.2.3	VB- und VGF-Verfahren	32
3.3	Siliziumkarbid (SiC)	34
4	Reinraumtechnik	37
4.1	Reinraumklassen	37
4.2	Hauptkontaminationsquellen	39

4.3	Reinraumkonzepte	41
4.3.1	Reinraumvarianten	41
4.4	Reduzierung der Kontamination durch Personal, Anlagen, Prozesse und Prozessmedien	45
4.5	Partikelmessung	49
4.5.1	Einteilung der Messverfahren	49
5	Silizium-Planartechnologie	53
5.1	Schichtherstellung	53
5.1.1	Thermische Oxidation von Silizium	55
5.1.1.1	Oxidationskinetik	56
5.1.1.2	Oxidationssysteme	60
5.1.1.3	Oxidationsrate	63
5.1.1.4	Oxidationsbedingte Umverteilung der Dotieratome	64
5.1.1.5	Einflüsse auf die thermische Oxidation von Silizium	65
5.1.1.6	Brechungsindex und mechanische Eigenschaften von SiO ₂	66
5.1.1.7	Elektrische Eigenschaften	69
5.1.2	Chemical-Vapor-Deposition-Prozesse	71
5.1.2.1	Low Pressure Chemical Vapor Deposition	74
5.1.2.2	Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition	78
5.1.3	Epitaxie	82
5.1.3.1	Wachstumskinetik	82
5.1.3.2	Homoepitaxie	84
5.1.3.3	Heteroepitaxie	85
5.1.3.4	Epitaxiereaktoren	86
5.1.4	Physical Vapor Deposition	87
5.1.4.1	Vakuumbedampfen	91
5.1.4.2	Kathodenzerstäubung (Sputtering, Sputtern)	101
5.2	Lithographie	114
5.2.1	Masken- und Reticle-Herstellung	116
5.2.2	Prozessschritte bei der Photolithographie	120
5.3	Strukturierung	130
5.3.1	Nasschemisches Ätzen	132
5.3.2	Trockenätzen	133
5.3.2.1	Ionen- und Sputterätzen	133
5.3.2.2	Plasmaätzen	133
5.4	Abhebetechnik (Lift-off-Technik)	139
5.5	Dotierung	140
5.5.1	Diffusion	140
5.5.2	Ionenimplantation	149

5.6	Metallisierung	155
5.6.1	Metall-Halbleiter-Kontakt	155
5.6.2	Metallisierungssysteme	158
5.7	Passivierung	163
5.8	Waferreinigung	165
6	Herstellung dreidimensionaler Strukturen in Silizium	169
6.1	Dreidimensionale nasschemische Strukturierung von Silizium	169
6.1.1	Isotropes nasschemisches Ätzen	169
6.1.2	Anisotropes nasschemisches Ätzen	172
6.1.2.1	Ätzeigenschaften von KOH-H ₂ O-Ätzlösungen	173
6.1.2.2	Ätzeigenschaften von TMAH-H ₂ O-Ätzlösungen	180
6.1.3	Elektrochemisches Ätzen	181
6.1.3.1	Elektrochemisches Ätzen in einem HF-Elektrolyt	181
6.1.3.2	Elektrochemisches Ätzen in anisotropen Lösungen	183
6.2	Deep Reactive Ion Etching	184
6.2.1	BOSCH-Prozess	184
7	Oberflächen-Mikromechanik	187
7.1	Polysilizium-Oberflächen-Mikromechanik	187
7.2	Chemical Mechanical Planarization (CMP)	191
8	Waferbonden	193
8.1	Bondverfahren mit Zwischenschicht	193
8.1.1	Eutektisches Bonden	193
8.1.2	Adhäsives Bonding	196
8.2	Bondverfahren ohne Zwischenschicht	197
8.2.1	Anodisches Bonden	197
8.2.2	Waferbonden	200
8.2.2.1	Bondmechanismen	201
8.2.2.2	Bindungsenergie	203
8.2.3	Niedertemperatur-Waferbonden	205
8.3	SOI-Wafer	206
9	Kontaktierverfahren	209
9.1	Chip-vereinzelung	209
9.2	Verbindung von Chip und Träger	210
9.2.1	Kleben	211
9.2.2	Weichlöten	212
9.2.3	Eutektisches Bonden	212

9.3	Drahtbonden (Wirebonding)	213
9.3.1	Thermokompressions-verfahren	214
9.3.2	Ultraschall-Wedge-Bonden	215
9.3.3	Thermosonic Ball-Bonding	216
9.3.4	Metallurgische Systeme	218
9.4	Simultankontaktierverfahren	219
9.4.1	Flip-Chip-Bonding	220
9.4.2	Tape-Automated-Bonding	220
10	Nicht-Silizium-High-Aspect-Ratio-Micro-Structures	223
10.1	LIGA-Technik (mit Röntgentiefenlithographie)	223
10.2	UV-LIGA-Technik	226
10.3	Heißprägen	226
11	Schichttechniken	231
11.1	Dickschichttechnik	232
11.2	Dünnschichttechnik	234
11.3	Ableich von Dick- und Dünnschichtwiderständen und -schaltungen	236
11.3.1	Ableichmethoden	236
11.3.2	Ableichsysteme	236
11.4	Vergleich der verschiedenen Mikrosystemtechnologien	237
12	Metal-Oxide-Semiconductor- und Bipolarprozesse	239
12.1	Metal-Oxide-Semiconductor-Technologie	239
12.1.1	NMOS-Prozess	239
12.1.2	CMOS-Technologie	240
12.2	Bipolartechnologie	240
	Literatur	245