

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Physik und Chemie der Kontaktherstellung	4
2.1 Eigenschaften des CdTe Substrates	4
2.1.1 Oberflächeneigenschaften	4
2.1.1.1 Gespaltene Oberflächen	4
2.1.1.2 Polierte Oberflächen	5
2.1.1.3 Geätzte Oberflächen	5
2.1.1.4 Gesputterte Oberflächen	5
2.1.1.5 Polykristalline CdTe Dünnschichten	6
2.1.2 Oxidationsverhalten des CdTe Substrates	6
2.2 Mögliche Degradationsmechanismen von Kontakten	7
2.2.1 Diffusion	7
2.2.2 Bildung neuer Phasen an der Grenzfläche	8
2.3 Anforderungen an thermisch stabile, elektrische Kontakte auf CdTe	9
2.3.1 Schottky-Kontakte	9
2.3.2 Ohmsche Kontakte	9
2.4 Grundlegende Transportmechanismen in Metall-Halbleiter Kontakten	10
2.4.1 Thermische Emission (TE)	12
2.4.2 Tunneln durch die Barriere	13
2.4.3 Rekombinationsstrom	13
2.4.4 Injektion von Minoritätsladungsträgern	14
2.4.5 Einfluß von oxidischen Zwischenschichten	15
2.4.6 Sperrkennlinienverlauf	15
2.4.7 Ohmsche Kontakte an Halbleitern	16
2.5 Stand der Entwicklung in der CdTe Technologie	17
2.5.1 Ohmsche Kontakte auf CdTe	17
2.5.2 Schottky Kontakte auf CdTe	18
2.6 Übersicht über Schottky Barrieren Modelle	19
2.6.1 Pinning-Modelle	19

2.6.2	Reaktionschemische Modelle	20
2.6.3	Struktur-Modelle	21
3.	Untersuchungsmethoden	21
3.1	Phasendiagrammunteruchung	21
3.1.1	Näherungsberechnung von Phasendiagrammen	21
3.1.2	Experimentelle Untersuchung mit Volumenproben	21
3.1.2.1	<i>Probenpräparation</i>	21
3.2	Phasenanalyse	22
3.2.1	Röntgendiffraktometrie	22
3.2.2	Metallographie	23
3.2.2	Rasterelektronenmikroskopie mit EDX	23
3.2.3	Mikrosonde	24
3.2.4	Thermische Analyse	24
3.3	Dickschichtdiffusion	25
3.3.1	Probenpräparation	25
3.3.2	Querschnittanalyse	27
3.3.3	Bestimmung von Reaktionsmechanismen und Reaktionskinetik	27
3.4	Dünnschichtuntersuchungen	28
3.4.1	Probenpräparation	28
3.4.2	Tiefenprofilmessungen mit der Augermikrosonde	30
3.4.3	Elektrische Charakterisierung der Kontakte	30
3.4.3.1	<i>Messung der spezifischen Parameter vom Halbleitermaterial</i>	31
3.4.3.2	<i>Messung des Kontaktwiderstandes von ohmschen Kontakten</i>	32
3.4.3.3	<i>Methoden mit lateralem Stromfluß</i>	33
3.4.3.4	<i>Methoden mit vertikalem Stromfluß</i>	36
3.4.3.5	<i>Interpretation von I-V Kurven und die Bestimmung der Schottky-Parameter</i>	37
4.	Das System Ag-Cd-Te	40
4.1	Binäre Randsysteme und Ternäre Literaturdaten	40

4.2 Das ternäre System Ag-Cd-Te	41
4.2.1 Näherungsberechnung	41
4.2.2 Experimentelle Phasendiagrammuntersuchung	42
4.2 Diffusionsuntersuchung	46
4.3.1 Probenpräparation	46
4.3.2 Ergebnisse und Diskussion	46
4.4 Elektrische Charakterisierung von Ag/CdTe Kontakten	47
4.4.1 Literaturdaten	47
4.4.2 Präparation von Kontakten auf Ag-Basis	48
4.4.3 Ergebnisse für Ag, Ag/Cd und Ag/Te Kontakte auf CdTe	48
4.4.4 Diskussion der Ergebnisse für Ag-Kontakte auf p-CdTe	49
5. Das System Au-Cd-Te	52
5.1 Binäre Randsysteme und ternäre Literaturdaten	52
5.2 Das ternäre System Cd-Te-Au	53
5.2.1 Näherungsberechnung	53
5.2.2 Experimentelle Phasendiagrammuntersuchung	55
5.2.3 Ergebnisse und Diskussion	55
5.3 Dickfilmdiffusion	59
5.3.1 Experimentelle Präparation der Diffusionspaare	59
5.3.2 Ergebnisse und Diskussion	60
5.4 Elektrische Eigenschaften von Kontakten	62
5.4.1 Literaturdaten	62
5.4.2 Präparation von Au, AuTe ₂ und AuCd Kontakten	62
5.4.3 Ergebnisse für p-CdTe Kontakte auf Au-Basis	63
5.4.4 Diskussion der Ergebnisse für Kontakte auf Au-Basis	65
6. Das System Cu-Cd-Te	68
6.1 Binäre Randsysteme und ternäre Literaturdaten	68
6.1.1 Experimentelle Untersuchung in den binären System	70
6.2 Das ternäre System Cu-Cd-Te	70
6.2.1 Näherungsberechnung	70
6.2.2 Experimentelle Phasendiagrammuntersuchung	70
6.2.2.1 DTA-Untersuchungen	74

6.3 Diffusionsuntersuchung an Cu/CdTe Paaren	74
6.3.1 Probenpräparation	74
6.3.2 Ergebnisse und Diskussion	75
6.4 Elektrische Eigenschaften von Kontakten auf Cu-Basis	77
6.4.1 Literaturdaten	77
6.4.2 Präparation von Kontakten auf Cu Basis	77
6.4.3 Ergebnisse für Cu, Cu/Cd und Cu/Te Kontakte auf CdTe	79
6.4.4 Diskussion der Ergebnisse für Cu-Kontakte auf CdTe	79
7. Das System Mo-Cd-Te	81
7.1 Binäre Randsysteme und ternäre Literaturdaten	81
7.2 Das ternäre System Cd-Te-Mo	81
7.2.1 Näherungsberechnung	81
7.2.2 Experimentelle Phasendiagrammuntersuchung	81
7.3 Diffusionsuntersuchungen im System Mo-Cd-Te	82
7.4 Elektrische Eigenschaften von Mo-Kontakten auf p-CdTe	83
7.4.1 Präparation von Mo-Kontakten und Ergebnisse	83
7.4.2 Diskussion der Ergebnisse für Mo-Kontakte	84
8. Das System Ni-Cd-Te	86
8.1 Binäre Randsysteme und ternäre Literaturdaten	86
8.2 Das ternäre Ni-Cd-Te Phasendiagramm	86
8.2.1 Näherungsberechnung	86
8.2.2 Experimentelle Untersuchung	87
8.2.3 Ergebnisse im Ni-Cd-Te System	87
8.3 Diffusionsuntersuchungen im Ni/CdTe System	91
8.3.1 Ni-Folie+Ni Dünnsfilm/CdTe Wafer	92
8.3.2 (Ni/) CdTe Film/Ni-Folie	93
8.3.3 Ni-Dünnsfilm/CdTe Wafer	93
8.3.4 Alternative Kontaktmaterialien auf Ni-Basis	94
8.4 Elektrische Charakterisierung von Kontakten auf Ni-Basis	94
8.4.1 Literaturdaten für Ni/CdTe Kontakte	94
8.4.2 Präparation der Kontakte	95
8.4.3 Ergebnisse für Kontakte auf Ni-Basis	95

8.4.4 Diskussion der Ergebnisse für Kontakte auf Ni-Basis	99
9. Das System Pt-Cd-Te	104
9.1 Binäre Systeme und ternäre Literaturdaten	104
9.2 Das ternäre System Cd-Te-Pt	104
9.2.1 Näherungsberechnung	104
9.2.2 Experimentelle Phasendiagrammuntersuchung	106
9.3 Diffusionsuntersuchung	107
9.3.1 Pt-Folie/CdTe-Wafer	108
9.3.2 CdTe aufgedampft auf Pt-Folie	109
9.3.3 Vergleich mit Dünnschichtproben	109
9.3.4 Reaktionsmechanismus und Kinetik	110
9.4 Elektrische Eigenschaften von Pt/CdTe, Pt/Te/CdTe und Pt/Cd/CdTe	
Kontakten	112
9.4.1 Literaturdaten für Pt/CdTe-Kontakte	112
9.4.2 Präparation von Pt-Kontakten	114
9.4.3a Resultate für p-CdTe	114
9.4.3b Ergebnisse für n-CdTe	117
9.4.3c Kontaktwiderstandsmessungen	118
9.4.4 Diskussion der elektrischen Messungen	119
9.4.5 Zusammenfassung der Untersuchungen für Pt/CdTe	
Kontakte	121
10. Das System Ta-Cd-Te	124
10.1 Binäre Randsysteme und ternäre Literaturdaten	124
10.2 Das ternäre System Ta-CdTe	124
10.2.1 Näherungsberechnung	124
10.2.2 Experimentelle Phasendiagrammuntersuchung	124
10.3 Diffusionsuntersuchungen im System Ta-Cd-Te	125
10.4 Elektrische Eigenschaften von Ta-Kontakten auf p-CdTe	125
10.4.1 Präparation von Ta-Kontakten und Ergebnisse	125
10.4.2 Diskussion der Ergebnisse für Ta-Kontakte	126
11. Das System Ti-Cd-Te	130

11.1 Binäre Systeme	130
11.1.1 Titan-Cadmium	130
11.1.1a Experimentelle Untersuchung	130
11.1.2 Titan-Tellur	131
11.1.2.1 Experimentelle Untersuchung	132
11.1.2.1a Verdampfungsstudie	132
11.1.2.1b Röntgenographische Untersuchung	132
11.1.2.1c Differentielle Thermoanalyse	134
11.1.2.1d EDX Untersuchung an erstarrten DTA Proben	134
11.1.2.2 Ergebnisse für die einzelnen Ti-Te Phasen	135
11.2 Ternäre Phasengleichgewichte im Ti-Cd-Te System	147
11.2.1 Näherungsberechnung für das System Ti-Cd-Te	147
11.2.2 Experimentelle Phasendiagrammbestimmung	147
11.2.2.1 Probenherstellung	148
11.2.2.2 Ergebnisse bei 500°C und 600°C	149
11.2.2.3 Polytermische Untersuchungen mit DTA	150
11.2.2.4 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse der Phasendiagrammuntersuchung	151
11.3 Reaktionsdiffusion zwischen Ti und CdTe	157
11.3.1 Ti Folie/CdTe Wafer	157
11.3.2 (Ti/) CdTe Schicht/Ti Folie	159
11.3.3 Reaktionsmechanismus und Kinetik des Schichtwachstums	160
11.3.4 Zusammenfassung der Diffusionsuntersuchung	162
11.4 Elektrische Charakterisierung von Kontakten auf Ti-Basis	163
11.4.1 Literaturdaten	163
11.4.2 Experimentelle Präparation der Ti-Kontakte	163
11.4.3 Ergebnisse der elektrischen Charakterisierung	165
11.4.4 Diskussion der elektrischen Meßergebnisse	166
12. Das System W-Cd-Te	175
12.1 Binäre Randsysteme und ternäre Literaturdaten	175
12.2 Das ternäre System Cd-Te-W	175
12.2.1 Näherungsberechnung	175
12.2.2 Experimentelle Phasendiagrammuntersuchung	176

12.2.3 Ergebnisse und Diskussion der Phasendiagrammuntersuchung	176
12.3 Dickfilmdiffusionsuntersuchungen im System Cd-Te-W	176
12.4 Elektrische Eigenschaften von W/CdTe Kontakten	177
12.4.1 Präparation der W-Kontakte und Ergebnisse	177
12.4.2 Diskussion der Ergebnisse für W-Kontakte	178
13. Zusammenfassende Darstellung der Untersuchungsergebnisse	182
A: Anhang	189
Einzelheiten zur Fotolithografie	189
Passivierschichten	190
Kontaktparameter für Metallkontakte auf p-CdTe	191
Austrittsarbeiten möglicher Kontaktmetalle	194
Freie Enthalpie der natürlichen Oxide von CdTe im Vergleich mit Kontaktmetalloxiden	195
Literatur	196