

Dipl.-Ing. Thomas Kummetz, Augsburg

**AlGaInAs/InP-Molekular-  
strahlepitaxie für  
Metall-Halbleiter-Metall-  
Photodetektoren und  
-Modulatoren**

Reihe **9**: Elektronik

Nr. **227**

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>AlGaInAs-Materialsystem</b>	<b>5</b>
2.1	Eigenschaften des Mischungshalbleiters $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}In_yAs$	5
2.1.1	Absorptionscharakteristik	8
2.1.2	Brechzahlverlauf	9
2.2	Franz-Keldysh-Effekt	10
2.3	Optische Eigenschaften von Quantenfilmen	11
<b>3</b>	<b>Metall-Halbleiter-Metall-Bauelemente</b>	<b>16</b>
3.1	Der Schottky-Kontakt	17
3.1.1	Ausbildung einer Schottky-Barriere	17
3.1.2	Stromtransport	19
3.2	Rauschen in Metall-Halbleiter-Strukturen	20
3.3	Isotyper Heteroübergang	22
3.4	Bandverlauf der MSM-Struktur	24
3.4.1	Zweidimensionale Potentialverteilung eines planaren MSM-Elements	27
3.5	Strukturen mit integrierten Bragg-Reflektoren	30
3.5.1	Berechnung der optischen Eigenschaften von Mehrschichtstrukturen	30
3.5.2	Aufbau von Bragg-Reflektoren	33
3.5.3	Fabry-Perot-Etalon	36

<b>4</b>	<b>AlGaInAs/InP-Feststoffquellen-Molekularstrahlepitaxie</b>	<b>42</b>
4.1	Aufbau der MBE-Anlage . . . . .	44
4.1.1	Effusionszellen . . . . .	44
4.1.2	Vakuumpumpensystem . . . . .	45
4.1.3	Restgasanalyse . . . . .	47
4.1.4	Probenmanipulator . . . . .	47
4.1.5	Pyrometer . . . . .	49
4.1.6	RHEED-Kanone . . . . .	51
4.2	Vorbereitungen zur Kristallzucht . . . . .	53
4.2.1	Präparation der Substrate . . . . .	53
4.2.2	Bestimmung der Materialflüsse . . . . .	54
4.3	$(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0,47}\text{In}_{0,53}\text{As}$ -Kristallzucht . . . . .	61
<b>5</b>	<b>Charakterisierung der Epitaxieschichten</b>	<b>64</b>
5.1	Röntgendiffraktometrie . . . . .	65
5.1.1	Grundlagen der Röntgendiffraktometrie . . . . .	65
5.1.2	Untersuchung von Einzelschichten . . . . .	68
5.1.3	Untersuchung von Mehrschichtstrukturen . . . . .	72
5.2	Optische Charakterisierung der Epitaxieschichten . . . . .	76
5.2.1	Transmissionsmessung . . . . .	76
5.2.2	Optische Reflexionsmessung . . . . .	78
5.2.3	Photolumineszenz . . . . .	81
5.3	Elektrische Charakterisierung der Epitaxieschichten . . . . .	82
5.3.1	Messung der Hall-Beweglichkeit . . . . .	82
5.3.2	$C'(f)$ -Messung . . . . .	83

<b>6</b>	<b>Herstellung von MSM-Strukturen</b>	<b>87</b>
6.1	Kontaktherstellung . . . . .	87
6.1.1	Schottky-Kontakte . . . . .	87
6.1.2	Ohmsche Kontakte . . . . .	89
6.2	Kontakt-Charakterisierung . . . . .	89
6.3	Kontaktierung zur Hochfrequenzcharakterisierung . . . . .	90
<b>7</b>	<b>MSM-Photodetektoren</b>	<b>92</b>
7.1	Statische Charakterisierung . . . . .	93
7.1.1	Dunkelstrom-Charakteristik . . . . .	93
7.1.2	Strom-Spannungs-Charakteristik bei Beleuchtung . . . . .	97
7.1.3	Spektrum der Empfindlichkeit . . . . .	98
7.2	Charakterisierung im Zeitbereich . . . . .	100
7.3	Charakterisierung im Frequenzbereich . . . . .	103
7.3.1	Meßaufbau zur Bestimmung des Frequenzgangs . . . . .	104
7.3.2	Meßergebnisse im Frequenzbereich . . . . .	105
7.3.3	Diskussion der Frequenzgänge . . . . .	111
7.4	Bestimmung der Rauschcharakteristik . . . . .	119
7.4.1	Rauschmeßverfahren . . . . .	120
7.4.2	Meßergebnisse . . . . .	123
7.4.3	Diskussions der Rauschcharakteristik . . . . .	124
7.5	Resonante MSM-Detektoren . . . . .	129
<b>8</b>	<b>MSM-Modulatoren</b>	<b>133</b>
8.1	MSM-Struktur mit quaternärer Absorptionszone . . . . .	133
8.2	MSM-Reflexionsmodulator mit Mehrfachquantenfilmen . . . . .	135

---

8.2.1	Statische Charakterisierung des Reflexionsmodulators . . . . .	136
8.2.2	Hochfrequenzeigenschaften des MSM-Modulators . . . . .	142
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>144</b>
<b>A</b>	<b>Formelzeichen</b>	<b>146</b>
<b>B</b>	<b>Aufteilung der Vorspannung am MSM-Element</b>	<b>149</b>
<b>C</b>	<b>System zweier gekoppelter Fabry-Perot-Resonatoren</b>	<b>150</b>
<b>D</b>	<b>MBE-Substrat- und Quellenmaterialpräparation</b>	<b>153</b>
<b>E</b>	<b>Materialparameter</b>	<b>156</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>157</b>