

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	5
2.1	Infrarotstrahlung und ihre Detektion	5
2.1.1	Thermische Detektoren und Photodetektoren	7
2.1.2	III-V-Verbindungshalbleiter	7
2.2	InAs/GaSb-Übergitter	9
2.2.1	Minibänder und Einstellbarkeit der Bandlückenenergie	9
2.2.2	Physikalische Eigenschaften von InAs/GaSb-Übergittern	11
2.2.3	InAs/GaSb-Übergitter für die IR-Detektion	12
2.3	Betriebstemperatur und Detektorkühlung	13
2.4	Beschreibung von Photodetektoren	14
2.4.1	Allgemeines Photodetektormodell und Kenngrößen	14
2.4.2	Photoleiter bei hohen Betriebstemperaturen	16
2.5	Stand der Technik und Ziel der Arbeit	17
3	Methoden zur Entwicklung von Übergitterphotoleitern	19
3.1	Übergitterwachstum mit Molekularstrahlepitaxie	19
3.2	Methoden der Schichtcharakterisierung	21
3.2.1	Hochauflösende Röntgendiffraktometrie	21
3.2.2	Transmissionsspektroskopie	24
3.2.3	Photolumineszenzspektroskopie	24
3.2.4	Analyse des Hall-Effekts für InAs/GaSb-Übergitter	25
3.3	Detektorprozessierung	26
3.4	Detektorcharakterisierung	29
3.4.1	Photospektrum	29
3.4.2	Photostrom	30
4	Modellierbarkeit der Bandlücke für hohe Betriebstemperaturen	31
4.1	Bandkantenmodellierung mit der SEPM	31
4.2	Bandkantenmodellierung für erhöhte Betriebstemperaturen	33
4.2.1	Temperaturabhängige Photolumineszenzspektroskopie	34
4.2.2	Temperaturabhängige Transmissionsspektroskopie	35
4.2.3	Modellierungsergebnisse für 300 K	36
4.3	Übergitterauslegung für hohe Betriebstemperaturen	37
4.4	Fazit zur Bandkantenmodellierung für hohe Betriebstemperaturen	39
5	Photoleiter mit variierter Übergitterkomposition	41
5.1	Schichtstruktur und Detektorauslegung	41

5.2	Probenserie mit variiertem Übergitterkomposition	42
5.2.1	HRXRD bei variiertem Übergitterkomposition	43
5.2.2	PL bei variiertem Übergitterkomposition	44
5.2.3	Bewertung und Vergleich von PL und SEPM	46
5.3	Detektorcharakterisierung	47
5.3.1	Beschreibung der Detektoren als Photoleiter	47
5.3.2	Untersuchung der Kontaktvariationen	50
5.3.3	Dunkelstrom: Temperatur- und Kompositionsabhängigkeit	51
5.3.4	Photostrom: Temperatur- und Kompositionsabhängigkeit	53
5.3.5	Responsivität und Detektorgrenzwellenlänge: Temperatur- und Kompositionsabhängigkeit	56
5.3.6	Einstellbarkeit der Detektorgrenzwellenlänge für hohe Betriebstemperaturen	57
5.4	Zusammenfassung	59
6	Dotieroptimierung für hohe Betriebstemperaturen	61
6.1	Probenauslegung und Schichtcharakterisierung	61
6.2	Analyse des Hall-Effekts an dotierten Übergittern	63
6.3	Dotierabhängigkeit des Schichtwiderstands	70
6.4	Dotierte Übergitterphotoleiter	72
6.4.1	Kennlinien bei Variation von Dotierkonzentration und Kontaktschichtstruktur	72
6.4.2	Photostrom dotierter Photoleiter	73
6.4.3	Dotierabhängigkeit der Auger-Lebensdauer	75
6.4.4	Dotiervorschrift für Photostrommaximierung	77
6.5	Zusammenfassung	79
7	Wechsel des Substratmaterials: Von GaSb zu GaAs	81
7.1	GaSb- und GaAs-Substrat im Vergleich	81
7.2	Immersionslinsentechnologie	84
7.3	Entwicklung eines metamorphen Puffers	86
7.4	Vergleich mit anderen Pufferkonzepten	89
7.5	Zusammenfassung	90
8	Übergitterphotoleiter auf GaAs-Substrat	91
8.1	Untersuchung verschiedener Puffervarianten	92
8.1.1	Probenserie	92
8.1.2	Einfluss der Puffervarianten auf die Detektoreigenschaften	93
8.1.3	Flächige Homogenität der Detektoreigenschaften	95
8.1.4	Peltiergekühlte IR-Module	98
8.1.5	Verschiedene Puffervarianten: Diskussion und Fazit	103
8.2	Dotierte Übergitterphotoleiter auf GaAs-Substrat	104
8.2.1	Probenserie	105
8.2.2	Übergittereigenschaften im Substratvergleich	105
8.2.3	IR-Module mit dotierten Übergitterdetektoren	106
8.3	Untersuchung erhöhten $1/f$ -Rauschens	109

8.4 Zusammenfassung	110
9 Materialvergleich und Anwendung	113
9.1 Detektorvergleich: InAs/GaSb-Übergitter und MCT	113
9.1.1 Temperaturabhängigkeit der Bandlückenenergie	115
9.1.2 Detektivitätssteigerung durch Immersionslinsen	116
9.2 Echtzeitfähige IR-Spektroskopie	117
9.3 Zusammenfassung	120
10 Zusammenfassung	121
11 Ausblick	125
Anhang	127
A Bestimmung der spektralen Responsivität	127
B Variation der Übergitterkomposition (Proben A1-D1)	129
C Dotieroptimierung (Proben A2-I2)	131
D Dotieroptimierung auf GaAs (Proben A4-F4)	134
Nomenklatur	137
Literaturverzeichnis	141
Veröffentlichungen und Vorträge	153
Danksagung	155