

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen zu Gruppe III-Nitriden</b>	<b>5</b>
2.1	Kristallstruktur . . . . .	5
2.2	Bandstruktur . . . . .	7
2.3	Mehrkomponentige Verbindungshalbleiter . . . . .	9
2.3.1	Gitterkonstante . . . . .	9
2.3.2	Bandlücke . . . . .	9
2.4	Defekte . . . . .	12
2.4.1	Punktdefekte . . . . .	12
2.4.2	Liniendefekte . . . . .	13
2.4.3	Flächendefekte . . . . .	14
2.5	Verspannung und Verzerrung . . . . .	14
2.5.1	Thermische Verspannung . . . . .	15
2.5.2	Verspannung durch Gitterfehlanspassung . . . . .	15
2.6	Polarisation . . . . .	21
2.6.1	Spontane Polarisation . . . . .	22
2.6.2	Piezoelektrische Polarisation . . . . .	22
2.6.3	Elektrische Felder . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Eigenschaften von GaInN-Quantenfilmen</b>	<b>27</b>
3.1	<i>Die Farbe</i> - Übergangsenergie . . . . .	27
3.1.1	Bandlücke . . . . .	28
3.1.2	Quantisierung . . . . .	28
3.1.3	Quantum Confined Stark Effekt, QCSE . . . . .	30
3.1.4	Screening . . . . .	31
3.2	Effizienz . . . . .	31
3.2.1	IQE . . . . .	32
3.2.2	Überlapp-Integral . . . . .	32

3.2.3	Materialqualität . . . . .	34
3.3	Problemdarstellung . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Epitaxie von (Al)Ga(In)N</b>	<b>37</b>
4.1	Methoden . . . . .	37
4.1.1	MBE (molecular beam epitaxy) . . . . .	38
4.1.2	HVPE (hydride vapor phase epitaxy) . . . . .	39
4.1.3	MOVPE (metal organic vapor phase epitaxy) . . . . .	39
4.2	Substrate . . . . .	41
4.2.1	Saphir ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) . . . . .	41
4.2.2	Siliziumkarbid (SiC) . . . . .	43
4.2.3	Silizium (Si) . . . . .	44
4.2.4	Zinkoxid (ZnO) . . . . .	45
4.3	Heteroepitaxie von polarem GaN . . . . .	45
4.4	Nicht-/semipolare Substrate aus c-GaN . . . . .	46
4.5	Heteroepitaxie von nicht-/semipolarem GaN . . . . .	47
4.5.1	a-GaN auf r-Saphir . . . . .	47
4.5.2	m-GaN auf $\text{LiAlO}_2$ . . . . .	48
4.5.3	m-, a-GaN auf m-, a-SiC . . . . .	48
4.5.4	{10-1x}-GaN auf (1x0)- $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ . . . . .	49
4.5.5	{10-1-3}-, {11-22}- und {10-10}-GaN auf {10-10}-Saphir . . . . .	49
4.5.6	{10-10}-GaN auf strukturiertem {11-20}-Saphir . . . . .	49
4.6	GaInN-Wachstum . . . . .	50
4.7	n-Dotierung . . . . .	51
4.8	p-Dotierung . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Selektive Epitaxie</b>	<b>53</b>
5.1	Prozedur . . . . .	53
5.2	Maske . . . . .	54
5.2.1	Maskenmaterial . . . . .	54
5.2.2	Maskendesign . . . . .	55
5.2.3	Herstellung . . . . .	57
5.3	Defektreduktion . . . . .	57
5.3.1	ELO(G) . . . . .	58
5.3.2	FACELo . . . . .	59
5.3.3	PENDEO . . . . .	60
5.4	3D-GaN-Strukturen . . . . .	60

5.5	Modellierung . . . . .	60
5.5.1	Gasphasen-Diffusion . . . . .	61
5.5.2	Oberflächen-Migration . . . . .	62
5.5.3	Wachstumsrate . . . . .	62
<b>6</b>	<b>3D-GaN mit semipolaren Oberflächen</b>	<b>65</b>
6.1	Wachstum von 3D-Ga(In)N . . . . .	65
6.1.1	Formation von Facetten . . . . .	66
6.1.2	Variation des V/III-Verhältnisses . . . . .	66
6.1.3	Variation der Temperatur . . . . .	71
6.1.4	Variation des Drucks . . . . .	73
6.1.5	Oberflächenoptimierung . . . . .	75
6.1.6	Koaleszierte Strukturen . . . . .	77
6.2	Defekte . . . . .	78
6.2.1	Versetzungen . . . . .	79
6.2.2	Stapelfehler . . . . .	82
6.3	Anisotropie . . . . .	85
6.3.1	Verspannung . . . . .	85
6.3.2	Wingtilt . . . . .	88
6.4	Zusammenfassung . . . . .	91
<b>7</b>	<b>Selektiv abgeschiedene GaInN-Quantenfilme</b>	<b>93</b>
7.1	Einfluss der Wachstums-Parameter . . . . .	93
7.1.1	Temperatur . . . . .	94
7.1.2	TEGa/TMIn . . . . .	94
7.1.3	Wachstumsrate . . . . .	95
7.1.4	Trägergas . . . . .	95
7.1.5	Ammoniak . . . . .	95
7.1.6	Parameter . . . . .	96
7.2	Einfluss der Geometrie . . . . .	96
7.2.1	Dreieckförmiger Streifen . . . . .	97
7.2.2	Inverse Pyramiden . . . . .	102
7.3	Einfluss des Reaktor-Drucks . . . . .	106
7.4	Einfluss benachbarter Facetten-Typen . . . . .	107
7.5	Einfluss der Facetten-Orientierung . . . . .	109
7.6	Effizienz . . . . .	113
7.6.1	Piezoelektrisches Feld . . . . .	113

7.6.2	Materialqualität . . . . .	118
7.6.3	IQE . . . . .	122
<b>8</b>	<b>Semipolare Leuchtdioden</b>	<b>129</b>
8.1	Dotierung . . . . .	129
8.1.1	n-Dotierung . . . . .	129
8.1.2	p-Dotierung . . . . .	129
8.2	Prozessierung . . . . .	133
8.3	Optoelektronische Eigenschaften . . . . .	134
8.3.1	Streifen . . . . .	134
8.3.2	Inverse Pyramiden . . . . .	136
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>139</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>143</b>
	<b>Publikationsliste</b>	<b>167</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>173</b>
	<b>Lebenslauf</b>	<b>177</b>