

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. GaN-Substrate	2
1.2. Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	4
2. Grundlagen	5
2.1. Materialeigenschaften der Nitride	5
2.1.1. Kristallsystem	5
2.1.2. Bandstruktur	8
2.1.3. Weitere Eigenschaften der Nitride	9
2.2. Substratproblematik	12
2.2.1. Nutzbare Substrate und Eigenschaften	12
2.2.2. Versetzungen - Folge der Fremdsubstrate	16
2.3. Verspannung	19
2.3.1. Elastizitätstheorie	19
2.3.2. Einflüsse auf die Verspannung	21
2.3.3. Experimentelle Methoden zur Messung der Verspannung	23
2.4. Krümmung der Wafer	25
2.4.1. Analytische Beschreibung der Waferkrümmung	25
2.4.2. Numerischer Ansatz mit FLEXPDE	27
3. GaN-Züchtungsmethoden	31
3.1. Volumenkristallzüchtung	31
3.1.1. Hochdruck Hochtemperatur Züchtung	32
3.1.2. Sublimationszüchtung	33
3.1.3. Ammonothermales Wachstum	34
3.1.4. Hydridgasphasenepitaxie	35
3.2. Bauelementherstellung	37
3.2.1. Molekularstrahlepitaxie	37
3.2.2. Gasphasenzüchtung	37
4. Wachstum von Startschichten	39
4.1. Aufbau der Anlage	39
4.2. Einfacher Templatprozess	42

Inhaltsverzeichnis

4.2.1. Nukleation	42
4.2.2. Schichtwachstum	46
4.3. Selektive Epitaxie	47
4.4. SiN-Interlayer	50
4.4.1. Reduktion der Defektdichte	52
4.5. Herstellung einer Sollbruchstelle für einen Selbstseparationsprozess	54
4.5.1. Tieftemperaturschicht	54
4.5.2. InGaN- oder AlGaN-Schichten	55
4.5.3. Strukturierte Substrate	55
4.5.4. In-situ SiN-Schichten	56
5. HVPE-Wachstum	59
5.1. Aufbau der Anlage	59
5.2. Prozess des Wachstums	62
5.2.1. Homogenität	64
5.2.2. Parasitäres Wachstum von Galliumnitrid	65
5.3. Einflüsse wichtiger Wachstumsparameter	69
5.3.1. Ga-Fluss	70
5.3.2. V/III-Verhältnis	70
5.3.3. Druck	71
5.3.4. N ₂ /H ₂ -Verhältnis	72
5.4. Fehlorientierung der Startschicht	74
5.4.1. Optimierung der Oberflächenmorphologie	75
5.5. Einfluss der Startschicht	82
6. Freistehendes Galliumnitrid	87
6.1. Substratentfernung	87
6.1.1. Chemisches Entfernen des Substrates	87
6.1.2. Substratentfernung mittels Laser-Lift-Off	90
6.2. Selbstseparation	91
6.2.1. Prinzipielles Vorgehen	91
6.2.2. Ex-Situ-Trennschichten	92
6.2.3. In-Situ-Trennschichten	98
6.3. Eigenschaften des freistehenden Materials	106
6.3.1. Mechanische und strukturelle Eigenschaften der freistehenden Proben	107
6.3.2. Elektrische Eigenschaften der freistehenden Proben	109
6.3.3. Optische Eigenschaften freistehender Proben	111
7. Zusammenfassung und Ausblick	113

Inhaltsverzeichnis

A. Formelzeichen und Abkürzungen	117
A.1. Verwendete Formelzeichen	117
A.2. Verwendete Abkürzungen	118
B. Eigene Veröffentlichungen	119
B.1. Publikationen	119
B.2. Tagungsbeiträge	120
B.3. Beiträge zur DGKK	123
B.4. Sonstige Beiträge	123
C. Patent-Anmeldungen	125