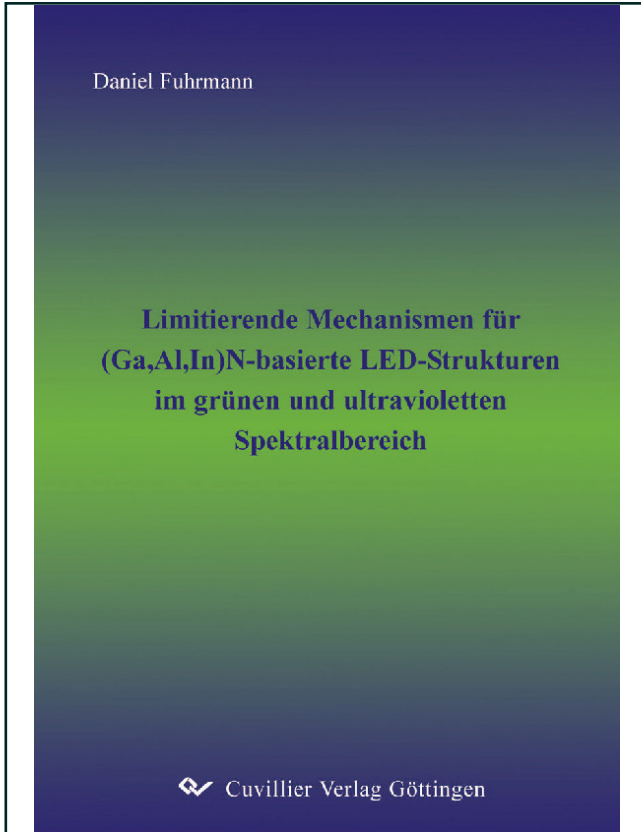




Daniel Fuhrmann (Autor)

**Limitierende Mechanismen für (Ga,Al,In)N-basierte LED-Strukturen im grünen und ultravioletten Spektralbereich**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1349>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Zusammenfassung</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1 Einleitung</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2 Das (In,Ga,Al)N - Materialsystem</b>                              | <b>9</b>  |
| 2.1 Physikalische Eigenschaften der Gruppe III-Nitride . . . . .       | 9         |
| 2.1.1 Kristallstruktur . . . . .                                       | 9         |
| 2.1.2 Bandstruktur . . . . .   | 11        |
| 2.1.3 Optische Eigenschaften . . . . .                                 | 13        |
| 2.2 Ternäre Verbindungen . . . . .                                     | 14        |
| 2.3 Nitrid-basierte Heterostrukturen . . . . .                         | 15        |
| 2.3.1 Pseudomorphes Wachstum . . . . .                                 | 16        |
| 2.3.2 Piezoelektrische Polarisierung . . . . .                         | 19        |
| 2.3.3 Banddiskontinuitäten . . . . .                                   | 21        |
| 2.3.4 Quantenfilmstrukturen . . . . .                                  | 22        |
| 2.4 Defekte und Effizienz bei den Gruppe III-Nitriden . . . . .        | 29        |
| <b>3 Herstellung von (In,Ga,Al)N - Schichten</b>                       | <b>33</b> |
| 3.1 Grundprinzipien des MOVPE-Wachstums . . . . .                      | 33        |
| 3.2 Die Anlage: AIX 200RF . . . . .                                    | 35        |
| 3.3 Heteroepitaktisches Wachstum . . . . .                             | 36        |
| 3.4 Wachstum einer typischen GaN-Schichtstruktur . . . . .             | 38        |
| <b>4 Experimentelle Methoden</b>                                       | <b>41</b> |
| 4.1 Strukturelle Charakterisierung . . . . .                           | 41        |
| 4.1.1 Lichtmikroskop, REM und AFM . . . . .                            | 41        |
| 4.1.2 Röntgenbeugung . . . . .   | 42        |
| 4.2 Optische Charakterisierung mittels Photolumineszenz . . . . .      | 45        |
| 4.3 Elektrische Charakterisierung . . . . .                            | 47        |
| 4.4 Charakterisierung von Heterostrukturen und Quantenfilmen . . . . . | 49        |
| 4.4.1 Strukturelle Untersuchungen . . . . .                            | 49        |
| 4.4.2 Optische Eigenschaften von feldbehafteten QWs . . . . .          | 51        |
| 4.4.3 Bestimmung der internen Quantenausbeute . . . . .                | 52        |
| 4.4.4 Charakterisierung einer LED . . . . .                            | 56        |
| <b>5 Hocheffiziente LED-Strukturen mit niedrigem In-Gehalt</b>         | <b>61</b> |
| 5.1 Schichtwachstum einer LED-Struktur . . . . .                       | 61        |
| 5.1.1 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -Schichten . . . . .        | 62        |
| 5.1.2 Wachstum der GaN-Barrieren . . . . .                             | 63        |
| 5.1.3 Ergebnisse: strukturelle Qualität blauer LEDs . . . . .          | 64        |
| 5.2 Optimierung hinsichtlich höherer Effizienz . . . . .               | 65        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.2.1    | Effizienz von DQWs . . . . .   | 65         |
| 5.2.2    | Einfluss der Vorbarriere auf SQWs . . . . .  | 68         |
| 5.2.3    | Optimierung des Dotierprofils . . . . .  | 69         |
| 5.3      | Ergebnisse: blaue LEDs . . . . .   | 73         |
| <b>6</b> | <b>Optimierung langwelliger Lichtemitter</b>   | <b>77</b>  |
| 6.1      | Ursachen des Effizienzabfalls im Grünen . . . . .  | 77         |
| 6.1.1    | Welche Faktoren limitieren die IQE bei Raumtemperatur? . . . . .                             | 78         |
| 6.1.2    | Abfall der IQE: Einfluss des elektrischen Feldes . . . . .                                   | 82         |
| 6.2      | Optimierungsstrategie für grüne LEDs . . . . .   | 82         |
| 6.3      | In-Einbau beim MOVPE Wachstum . . . . .  | 83         |
| 6.3.1    | Schwierigkeiten bei der Realisierung hoch In-haltiger Schichten . . . . .                    | 84         |
| 6.3.2    | Einfluss der Wachstumstemperatur . . . . .   | 85         |
| 6.3.3    | Optimierung weiterer Wachstumsparameter . . . . .  | 87         |
| 6.4      | Qualität und Effizienz grüner QWs und LEDs . . . . .   | 90         |
| 6.4.1    | Die PL-Linienbreite als Homogenitätsmaß . . . . .  | 90         |
| 6.4.2    | Effizienz hoch In-haltiger QWs . . . . .   | 98         |
| 6.4.3    | Elektrische Charakterisierung grüner LEDs . . . . .  | 99         |
| 6.5      | Temperaturstabilität grüner LEDs . . . . .   | 101        |
| 6.5.1    | Experimentelle Ergebnisse . . . . .  | 102        |
| 6.5.2    | Konsequenzen der Degradation . . . . .   | 115        |
| 6.6      | Limitierungen der Optimierungsstrategie . . . . .  | 116        |
| <b>7</b> | <b>In-freie ultraviolette LEDs</b>   | <b>121</b> |
| 7.1      | Ursachen der geringen Effizienz . . . . .  | 121        |
| 7.1.1    | Morphologie der $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -Schichten . . . . .                    | 121        |
| 7.1.2    | Effizienz der GaN-QWs . . . . .  | 123        |
| 7.2      | Optimierung hinsichtlich höherer Effizienz . . . . .   | 126        |
| 7.2.1    | Einfluss der Nukleationsschicht . . . . .  | 126        |
| 7.2.2    | Die Selbstabschirmung der Defekte . . . . .  | 128        |
| 7.2.3    | Übertragung des Konzepts auf GaN/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -Strukturen . . . . . | 130        |
| 7.3      | In-haltige und In-freie QWs: ein Vergleich . . . . .   | 136        |
| 7.4      | Realisierung von UV-LEDs . . . . .   | 138        |
| 7.4.1    | Dotierung von $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -Schichten . . . . .                      | 138        |
| 7.4.2    | Erste UV-LEDs . . . . .  | 140        |
| 7.4.3    | Weitere Optimierung der UV-LEDs . . . . .  | 141        |
| <b>8</b> | <b>Ausblick</b>  | <b>145</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>147</b> |