

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit | 2 |
| 2 Grundlagen | 5 |
| 2.1 Funktionsweise einer LED | 5 |
| 2.2 Das III-Nitrid Materialsystem | 5 |
| 2.3 Herstellung einer nitrid basierten LED | 10 |
| 2.3.1 Das Wachstumssubstrat | 10 |
| 2.3.2 Schichtaufbau und Epitaxie | 13 |
| 2.3.3 Prozessierung | 17 |
| 2.4 Die Aktive Zone | 20 |
| 2.4.1 Ladungsträgerstatistik im Halbleiter | 21 |
| 2.4.2 Rekombination in Halbleitern | 28 |
| 2.4.3 Der <i>p-n</i> -Übergang | 35 |
| 2.4.4 Die Quantentröge - piezoelektrische Felder | 39 |
| 3 Exemplarische Herleitung grundlegender Kenngrößen einer typischen LED | 45 |
| 3.1 Bestimmung radiometrischer Kenndaten sowie deren Abhängigkeit vom Strom | 45 |
| 3.1.1 Ulbricht-Kugel | 45 |
| 3.1.2 Die Strahlungsleistung | 47 |
| 3.1.3 Spektrale Kenngrößen | 48 |
| 3.1.4 Energiekonversionseffizienz, externe Quanteneffizienz, sowie elektrische Effizienz | 50 |
| 3.2 Berechnung photopischer Kenngrößen | 53 |
| 3.2.1 Farbwahrnehmung und Farbmetrik | 53 |
| 3.2.2 Dominante Wellenlänge, Lichtstrom sowie Lichtausbeute | 56 |
| 3.3 Temperaturabhängigkeit der Photo- sowie Elektrolumineszenz | 59 |
| 3.3.1 Messapparaturen zur temperaturabhängigen Bestimmung der PL sowie EL | 59 |
| 3.3.2 Typische Temperaturabhängigkeit (AlGaIn)N-basierter LEDs | 63 |
| 3.4 Untersuchung der Rekombinationsmechanismen | 68 |
| 3.4.1 Das ABC-Modell | 68 |
| 3.4.2 Bestimmung der ABC-Parameter | 71 |
| 4 Effizienzuntersuchungen an SQWs unterschiedlicher Wellenlänge | 75 |
| 4.1 Wellenlängenabhängigkeit der Effizienz (AlGaIn)N-basierter LEDs | 75 |
| 4.2 Herstellung SQWs mit unterschiedlicher Emissionswellenlänge | 76 |
| 4.3 Elektrooptische Charakterisierung | 77 |
| 4.3.1 Ermittlung der Erwärmung im Betrieb | 77 |
| 4.3.2 Integrale Messung der EQE | 78 |
| 4.4 ABC-Fit - Erweiterung des van Opdorp 't Hooft-Modells | 82 |
| 4.5 Bestimmung der Ladungsträgerlebensdauer sowie absoluten RRKs | 84 |
| 4.6 Einfluss der Polarisationsfelder auf das Zusammenspiel der Rekombinationsparameter | 87 |
| 4.7 Diskussion der Ergebnisse und Literaturabgleich | 88 |

| | |
|--|------------|
| 5 Untersuchung der Kleinstromeffizienz | 93 |
| 5.1 Herstellung von LEDs unterschiedlicher Kleinstromeffizienz | 95 |
| 5.2 Experimentelle Bestimmung der I - U - sowie I -EQE-Charakteristik | 96 |
| 5.3 Bestimmung der internen Quanten- sowie Extraktionseffizienz | 99 |
| 5.4 Differentielle Analyse der I - U -Charakteristik | 100 |
| 5.5 Diskussion der I - U -Charakteristik sowie deren Korrelation mit der IQE | 103 |
| 5.6 Modellbildung und Simulation | 107 |
| 5.7 Alterung unter Betrieb und erhöhte Temperatur | 111 |
| 6 Der Droop – Untersuchung des Hochstromverlustkanals | 117 |
| 6.1 Theorien über den Effizienzabfall bei hohen Betriebsströmen | 117 |
| 6.2 Ursache des Droops - Nachweis von Auger-Prozessen | 121 |
| 6.2.1 Strukturen zum Nachweis des Auger-Prozesses | 123 |
| 6.2.2 Resonante Anregung der grünen Quantentröge | 124 |
| 6.2.3 Mögliche physikalische Ursachen der UV-Lumineszenz | 126 |
| 6.2.4 Quantitative Betrachtung: Auger Hauptverursacher des Droops | 134 |
| 6.2.5 Schlussfolgerung: Auger-Prozesse als hauptverantwortlicher Prozess für den Droop | 137 |
| 6.3 Manipulation des Droops – Quaternäre QWs | 138 |
| 6.3.1 Probenherstellung | 138 |
| 6.3.2 Elektrooptische Eigenschaften (AlGaIn)N basierter QWs | 140 |
| 6.3.3 Bestimmung der Extraktionseffizienz sowie der RRKs quaternärer SQWs | 142 |
| 7 Verminderung des Droops - V-förmige Defekte zur Löcherinjektion | 149 |
| 7.1 Experimentelle Umsetzung | 151 |
| 7.1.1 μ EL und μ PL Analyse einer Saphir-LED | 152 |
| 7.1.2 Visualisierung und Lokalisierung der VPits via EBIC | 156 |
| 7.2 Scantek - μ PL mit spektraler Auflösung | 160 |
| 7.3 Zusammenführung der Kenngrößen aus unterschiedlichen Analysemethoden . . | 161 |
| 7.4 Diskussion | 162 |
| 8 Zusammenfassung | 175 |
| Veröffentlichungen und Patente | 177 |
| Akronyme | 183 |
| Physikalische Größen & Symbole | 185 |
| Konstanten | 187 |
| Glossar | 189 |
| Literaturverzeichnis | 190 |
| Danksagung | 209 |