Barbara Neubert (Autor)

GaInN/GaN LEDs auf semipolaren Seitenfacetten mittels selektiver Epitaxie hergestellter GaN-Streifen

https://cuvillier.de/de/shop/publications/1316

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: https://cuvillier.de

Kapitel 1

Einleitung

Im blauen Spektralbereich emittierende LEDs auf dem AlGaInN-basierenden Materialsystem sind bereits kommerzialisiert und gut etabliert. Trotzdem weisen sie noch immer einen Nachteil auf: Das bevorzugt in Wurtzitstruktur ausgebildete Gruppe-III-Nitrid ist in der bislang am häufigsten für die Kristallabscheidung genutzten Richtung entlang der ⟨0001⟩-Achse polar [1]. Dies wirkt sich insbesondere negativ bei dickeren Quantenfilmen und höheren In-Anteilen aus, wie sie für die längerwellige Emission notwendig sind, wie beispielsweise im grünen Spektralbereich. Durch das anliegende Feld werden die Ladungsträger räumlich getrennt. Dadurch sinkt die strahlende Rekombination und somit die Ausgangsleistung und Effizienz dieser Leuchtdioden erheblich [2].

Nur Ebenen senkrecht zur {0001}-Ebene sind unpolar und es liegt kein Feld an. Entlang von Kristallrichtungen, die zur ⟨0001⟩-Richtung um einen Winkel Θ geneigt sind, ist die Feldstärke deutlich redzuiert [3].

Die Lösung zu dem Problem klingt einfach: den Kristall auf solchen unpolaren Ebenen abzuscheiden. Dies hat sich jedoch als schwierig erwiesen: Da GaN-Substrate bisher nur in ⟨0001⟩-Orientierung erhältlich sind, ist man auf Fremdsubstrate angewiesen, die sich für die Abscheidung entlang anderer, weniger polarer oder unpolarer Kristallrichtungen eignen [4–12]. Hierbei wirkt sich die unterschiedliche Polarität der Wurtzitstruktur negativ aus. Die unterschiedlichen Wachstumsraten der Ga- und N-Polarität der ⟨0001⟩-Richtung bzw. ⟨000$\bar{1}$⟩-Richtung führen zu Kristalldefekten [8], die als nichtstrahlende Rekombinationszentren wirken können und somit den Vorteil, dass kein Polarisationsfeld anliegt, wieder kompensieren.

Gut etabliert ist dagegen die Methode der selektiven Epitaxie auf ⟨0001⟩-

orientiertem Material, das eine gute Qualität aufweist. Die Wahl der Epitaxie-Parameter läßt Kristallebenen entstehen, die zwar nicht unpolar sind, bei denen das Polarisationsfeld jedoch stark reduziert ist [3].

In dieser Arbeit wurden solche schwach polaren Kristallebenen mit selektiver Epitaxie als schräge Seitenfacetten von GaN-Streifen mit dreieckigem Querschnitt hergestellt. Auf diese semi-polaren Kristallebenen wurde anschließend die LED-Struktur abgeschieden. Nach dem Nachweis der prinzipiellen Funktion der LEDs wurden verschiedene Untersuchungen zum Nachweis des reduzierten Piezofeldes durchgeführt. Dies waren insbesondere der Vergleich der Spektren mit einer regulären LED auf der polaren c-Ebene mit Lumineszenzmessungen in Bezug auf die durch den Quantum Confined Stark Effect verursachte Rotverschiebung, wie sie im folgenden Abschnitt „Gliederung der Arbeit“ in Bezug auf Kap. 6 genannt sind und die Anpassung der Prozessierung an die neuartigen LED-Strukturen um eine verbesserte Ausgangsleistung zu überprüfen.

Gliederung der Arbeit

Zunächst wird auf die Eigenschaften von Gruppe-III-Nitriden eingegangen. Diese werden mit den Eigenschaften des kubischen Verbindungshalbleiters GaAs verglichen. Weiterhin werden die entstehenden Verspannungen beschrieben und auf die spontane und piezoelektrische Polarisation eingegangen (Kap. 2).

Kapitel 3 stellt kurz die Grundlagen zu den LEDs vor und beschreibt die Auswirkungen durch das anliegende Piezofeld auf deren Funktion. Die durch das Feld bedingte räumliche Trennung der angeregten Ladungsträger verlängert deren Lebensdauer und reduziert die strahlende Rekombination. Außerden wird durch die räumliche Trennung eine Grenzflächenladung aufgebaut, die wiederum eine Reduktion der Energielücke durch Verbiegen der Energiebänder und somit eine Rotverschiebung der Emissionswellenlänge zur Folge hat. Mit zunehmenden Strom stehen jedoch freie Ladungsträger zur Abschirmung des Feldes zur Verfügung, was die Rotverschiebung teilweise aufhebt.

Im Anschluß werden die Epitaxieverfahren vorgestellt und insbesondere das angewandte Verfahren der metallorganischen Gasphasen-Epitaxie beschrieben (Kap. 4). In diesem Kapitel werden außerdem mögliche Fremdsubstrate zur Abscheidung auf nicht- und semi-polaren Kristallebenen genannt. Die Ergebnisse, die andere Forschungsgruppen damit erzielten, werden vorgestellt. Es wird auf die

Schwierigkeiten und Probleme bei der Abscheidung auf semi- und nicht-polaren Kristallebenen dieser Substrate eingegangen. Weiterhin wird in dem Kapitel die selektive Epitaxie beschrieben. Die Eigenschaften der unterschiedlichen Kristallebenen nehmen Einfluss, indem die Abscheidung auf bestimmten Ebenen bevorzugt erfolgt. Die wichtigste Rolle spielt dabei die Anordnung der Metall- und Stickstoffatome der Lagen der Kristallebene entlang einer bestimmten Richtung (Polarität). Diese besitzt einen starken Einfluss auf die bevorzugte Ausbildung bestimmter Ebenen.

In Kapitel 5 wird die Herstellung und Prozessierung von LEDs auf üblicherweise genutztem polaren, ⟨0001⟩-orientierten Saphir vorgestellt. Diese in dieser Arbeit als Referenz-LEDs bezeichneten Bauteile dienen als Vergleich zu den selektiv abgeschiedenen LEDs. Im Anschluss daran wird die Herstellung und Prozessierung der selektiv abgeschiedenen LEDs beschrieben. Dabei wird auf die Besonderheiten der Abscheidung von GaInN- und Mg-dotierten Schichten eingegangen.

Darauf folgen die Untersuchungen zum Nachweis des reduzierten Piezofeldes (Kap. 6). Dies ist als erstes der Vergleich der Emissionswellenlängen zwischen der Referenz-LED und semipolaren LEDs, um die reduzierte Rotverschiebung festzustellen. Hierbei wirken sich aber durch die Epitaxie bedingte weitere Faktoren aus, wie eine andere Quantenfilmdicke und auch ein veränderter In-Anteil. Diese Einflüsse wurden mit folgenden Methoden genauer anlysiert:

- Foto-, Kathodo- und Elektrolumineszenz in Abhängigkeit von den Epitaxie-Einflüssen, wie z. B. dem Füllfaktor und der damit zusammenhängenden lokalen Abscheiderate bei der selektiven Epitaxie. Die Kathodolumineszenzmessungen wurden in Kooperation mit dem Institut für Experimentelle Physik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg durchgeführt.

- Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie. Die Transmissionselektronenmikroskopie erfolgte in Kooperation mit dem Labor für Elektronenmikroskopie der Universität in Regensburg.

- ortsaufgelöste Röntgendiffraktometrie wurde in Kooperation mit dem Department of Physics des New Jersey Institute of Technology in Newark am Cornell High Energy Synchrotron Source (CHESS) an der Cornell Universität in Ithaca in New York, U. S. A durchgeführt.

- Sekundär-Ionen-Massenspektroskopie erfolgte in Kooperation mit der Arbeitsgruppe des Kristall-Labors am 4. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart.

Außerdem wurden theoretische Überlegungen zum Zusammenhang von In-Anteil der Quantenfilme, Piezofeld, Quantisierung und Emissionswellenlänge durchgeführt. Messungen der stromabhängigen Emissionswellenlänge bestätigen eindeutig das reduzierte Piezofeld der semipolaren LEDs.

Zum Nachweis einer verbesserten Effizienz wurden die auftretenden Prozessierungsprobleme behoben und Ausgangsleistungen von 700 µW bei 20 mA bzw. 3 mW bei 110 mA erzielt.