

Epitaxial growth and properties of AlGa_xN-based UV-LEDs on Si(111) substrates

M.Sc. Phannee Saengkaew

Abstract

Auf Grund zahlreicher Anwendungsmöglichkeiten, zum Beispiel als biochemische Sensoren, in der Reinigung und der Sterilisation, aber auch als weißlichtemittierende Halbleiter besteht eine wachsende Nachfrage nach hellen und effizienten Lichtemittern für den ultravioletten Spektralbereich (UV-LEDs). Als direkter Halbleiter mit einer großer Bandlücke für Emissionswellenlängen im UV-Bereich und mit der Möglichkeit der n- und p-Dotierung stellt Al_xGa_{1-x}N ein vielversprechendes Material für die Fertigung von UV-LEDs dar. Für die Entwicklung von kostengünstigen UV-Lichtquellen ist Silizium als Substratmaterial sehr interessant, denn Si-Substrate sind preiswert und mit großen Durchmessern erhältlich, und UV-LEDs auf Si-Substraten lassen sich in die wohlbekannt Si-Elektronik integrieren.

Die vorliegende Arbeit präsentiert die ersten rissfreien AlGa_xN-basierten UV-LEDs, die mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie (MOVPE – Metal Organic Vapor Phase Epitaxy) auf Si(111)-Substraten gewachsen wurden. Diese AlGa_xN-basierten UV-LEDs auf Si(111)-Substraten bestehen aus Al_{0,1}Ga_{0,9}N:Si Schichten auf LT-AlN/HT-AlN SL Pufferschichten und aktiven GaN/Al_{0,1}Ga_{0,9}N MQWs gefolgt von einer Mg-dotierten (GaN/Al_{0,1}Ga_{0,9}N) Übergitterstruktur und einer GaN:Mg Deckschicht. Mittels Elektrolumineszenz konnte bei Raumtemperatur eine Strahlung von etwa 350 nm ermittelt werden und mittels einer Strom-Spannungskennlinie eine Einsetzspannung im Bereich von 2.6 – 3.1 Volt.

Durch einen neuartigen Puffer, der aus einem LT-AlN/HT-AlN-Mehrschichtsystem besteht, konnte die kristalline Qualität der Al_xGa_{1-x}N-Schichten effektiv verbessert werden. Desweiteren konnte mittels in-situ Krümmungsmessungen eine Kompensation der nach der Abkühlung thermisch induzierten tensilen Verspannung beobachtet werden. Die Reduktion der Versetzungsdichte von $8.4 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ in den AlN-basierten SL auf $1.8 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ in den Al_{0,1}Ga_{0,9}N Schichten wurde mittels Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) an Querschnitten ermittelt.

Rissfreie Al_xGa_{1-x}N-Schichten, die mittels solcher LT-AlN/HT-AlN-Übergitter mit Aluminiumkonzentrationen von $0.05 \leq x \leq 0.65$ auf Si-Substraten gewachsen wurden zeigten gute kristalline, optische und elektrische Eigenschaften. So erreichte die beste kristalline Qualität eine Al_{0,1}Ga_{0,9}N-Schicht mit Halbwertsbreiten der ω -Scans von ~ 700 Bogensekunden (arcsec) am (0002)-Bragg-Reflex und ~ 840 arcsec am (10-10)-Bragg-Reflex. In Kathodolumineszenzuntersuchungen (CL) zeigte sich an Hand einer geringen Intensität der gelben Defektlumineszenz und einer schmalen bandkantennahen Emission des Al_{0,1}Ga_{0,9}N bei 330 nm und des Al_{0,65}Ga_{0,35}N 240 nm eine gute optische Qualität. Die höchste Elektronenkonzentration

von $2.6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ in n -dotierten $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}:\text{Si}$ Schichten und eine Löcherkonzentration von $2.4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ in Mg-dotierten $\text{GaN}/\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ -Übergittern waren erreichbar.

Dieses hochqualitative $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ mit guten optischen und elektrischen Eigenschaften ist der wichtigste Faktor um AlGaN-basierende UV-LEDs auf Si(111) Substraten zu gewinnen. Es wird gezeigt, dass es ein vielversprechender Ansatz ist, tief-UV-LEDs auf Si-Substraten zu bekommen mit Schichten, die höhere Al-Konzentrationen enthalten.