

Titel: *Wachstum von Galliumnitrid-basierten Bauelementen auf Silizium(001)-Substraten mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie*

Das primäre Thema der Arbeit ist die Untersuchung des Wachstumsverhaltens von GaN-basierten Schichtsystemen, welche mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie auf Si(001)-Substraten abgeschieden werden. Durch eine erfolgreiche Realisierung derartiger Verbindungshalbleiterstrukturen auf Si-Substraten dieser Oberflächenorientierung soll eine einfachere Integration der auf GaN-basierenden Optoelektronik und Elektronik in den Silizium-Halbleitermassenmarkt ermöglicht werden. Der prinzipielle Nachweis einer möglichen Herstellung von GaN-basierten Bauelementen auf Si(001) ist dabei anzustreben.

Ergänzend wird ein Krümmungssensor-Prototyp am verwendeten MOVPE-Reaktor derart optimiert, dass eine routinemäßige in-situ Krümmungs- und Reflexionsmessung während der Wachstumsdurchgänge ermöglicht wird. Durch die Kombination von simultaner Krümmungs-, Reflexions- und Temperaturmessung kann der Einfluss der Substratbiegung auf die resultierende Oberflächentemperatur der Probe während des Abscheidungsprozesses direkt nachgewiesen werden, wobei eine Temperaturvariation von bis zu 45 K an Bauelementstrukturen auf Si-Substrat gemessen wird.

Wird GaN auf eine ca. 40 nm dicke Tieftemperatur-AlN-Keimschicht (680°C) auf Si(001) abgeschieden, sind die Kristallite der GaN-Deckschicht hauptsächlich mit der GaN(10 $\bar{1}$ 2)-Fläche parallel zur Si(001)-Fläche ausgerichtet. Dabei tritt eine vierzählige azimutale Symmetrie auf, bei der die GaN[10 $\bar{1}$ 1]-Richtung jeweils parallel zu einer der vier äquivalenten Si<110>-Richtungen ausgerichtet ist. Dieses Wachstumsverhalten kann mit der Ausbildung eines annähernden Koinzidenzgitters zwischen der Si(001)-Oberfläche und den epitaktisch gewachsenen AlN/GaN-Schichten erklärt werden. Eine vollständig koaleszierte und einkristalline GaN-Schicht auf Si(001) mit dieser kristallinen Ausrichtung kann jedoch noch nicht realisiert werden.

Oberhalb einer Depositionstemperatur der AlN-Keimschicht von etwa 1100°C ist ausschließlich die GaN[0001]-Orientierung in den Schichtsystemen festzustellen. Die c-achsenorientierten GaN-Kristallite auf Si(001) weisen dann zwei um 90° zueinander verdrehte azimutale Ausrichtungen mit GaN[11 $\bar{2}$ 0]||Si[110] bzw. GaN[10 $\bar{1}$ 0]||Si[110] auf. Dieses Verhalten lässt sich mit der epitaktischen Vorgabe der Si(001)-Fläche der Substrate erklären, die zwei gegensätzliche, um 90° zueinander verdrehte Oberflächenkonstruktionen aufweist. Durch einen Fehlschnitt von 4° der Substrate in Si[110]-Richtung kann eine azimutale Texturkomponente in den GaN-Schichten selektiert werden, was mit dem theoretischen Winkel korrespondiert, ab dem atomare Doppelstufen auf der Si(001)-Fläche existieren. Die GaN-Kristallite auf Si(001)-Substrat besitzen eine statistische Verkipfung von FWHM = 0,27° und eine Verdrehung von FWHM = 0,8°.

Mit Hilfe der Integration von 4 bzw. 5 Tieftemperatur-AlN-Zwischenschichten in die GaN-Pufferstruktur können komplett rissfreie, ca. 2,5 µm dicke und einkristalline GaN-Templates auf Si(001) ermöglicht werden. Auf Basis dieser Grundstruktur werden durch die Erweiterung des Probenaufbaus mit einem InGaN/GaN-MQW-System erstmals GaN-basierte LED-Strukturen auf Si(001)-Substrat hergestellt. Des Weiteren wird die Realisierbarkeit von GaN-basierten FET-Strukturen auf Si(001) anhand vollständig prozessierter und funktionierender Bauelemente erfolgreich nachgewiesen. Darüber hinaus wird der Wachstumsprozess auf großflächige 150 mm Si(001)-Substrate adaptiert, und eine entsprechend hergestellte LED-Struktur belegt die mögliche Skalierbarkeit des entwickelten Wachstumsansatzes für eine industrielle Fertigung.