

„CrysGaN – Grundlagenentwicklung HVPE, Substrattest und - charakterisierung“

Schlussbericht

Förderkennzeichen: 01BU0621

Laufzeit: 01.07.2007 – 30.06.2010

Direktor des Instituts: Prof. Dr. G. Tränkle

Projektleiter: Dr. M. Weyers

Autoren: Dr. E. Richter

Dr. M. Weyers

Kontakt:

Ferdinand-Braun-Institut
Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik
Dr. E. Richter
Gustav-Kirchhoff-Str. 4
12489 Berlin

Telefon +49.30.6392-2704
Fax +49.30.6392-2685
E-Mail eberhard.richter@fbh-berlin.de
Internet www.fbh-berlin.de



Bearbeiter:

- Dr. E. Richter
- Dr. M. Gründer
- Dr. F. Brunner
- Dr. Ch. Hennig
- Dr. T. Wernicke
- Dr. S. Einfeldt
- M. Hartmann
- C. Neumann

Berlin, den 12.11.2010

Dr. Markus Weyers
- Projektleiter -

Anlage 1: Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse

Innerhalb des Projektes „CrysGaN – Grundlagenentwicklung HVPE, Substrattest und – charakterisierung“ wurden folgende wichtige Ergebnisse erzielt:

- Entwicklung und Anwendung des WSiN-ELOG-Prozesses zur Herstellung freistehender GaN-Schichten mit einem Durchmesser von 50,8 mm
- Verringerung der Restverbiegung freistehender GaN-Schichten auf einen Bow von – 300 μm durch Anpassung der Maskengeometrie und der Ablösetemperatur
- Entwicklung einer in-situ SiN-ELOG-Maske zur Reduktion der Versetzungsdichte um 50%
- Erhöhung der Prozessausbeute von 10% auf über 60%
- Lieferung von über 30 freistehenden GaN-Schichten an Projektpartner
- Nachweis der Machbarkeit von freistehenden GaN-Schichten > 2 Zoll sowie 3 Zoll Keimschichten
- Nachweis von wartungsfreiem Betrieb von über 200 h bzw. Abscheidung von 20 mm GaN in vertikaler HVPE-Anlage
- Wachstumsprozess für 6,3 mm dicke undotierte 2" GaN-Boules
- Lieferung von 7 GaN-Boules an Projektpartner
- N-Dotierung mittels Dichlorsilan in vertikaler HVPE-Anlage demonstriert
- Mg-Dotierung von GaN-Schichten in horizontaler HVPE demonstriert
- HVPE-Wachstum von freistehendem 200 μm 2" m-plane GaN
- Untersuchung der Defektentstehung und -fortpflanzung in m-plane GaN-Schichten und Schlussfolgerung, dass nicht c-orientiertes dickes GaN-Wachstum wegen zunehmender Stapelfehlerdichten nicht aussichtsreich ist
- MOVPE und Bauelementprozesse von Laserdioden und LEDs zur Evaluierung von 2 Zoll c-planaren GaN-Substraten und kleinen (ca. 5 mm x ca. 10 mm) nicht-c-planaren GaN-Substraten (416 nm LED auf einem m-planaren GaN-Substrat (MCC), 405 nm LD auf c-planarem GaN-Substrat (Lumilog))

Veröffentlichungen in Zeitschriften und Konferenzbeiträge

mit Veröffentlichung in referierter Zeitschrift

- Ch. Hennig, E. Richter, M. Weyers, G. Tränkle, Self-separation of thick two inch GaN layers grown by HVPE on sapphire using epitaxial lateral overgrowth with masks containing tungsten, phys. stat. sol. (c) 4, No. 7, 2638 (2007).
- Ch. Hennig, E. Richter, M. Weyers, G. Tränkle "Freestanding two inch GaN layers using lateral overgrowth with HVPE", E-MRS 2007 Spring Meeting, 28.05. – 01.06.2007, Strasbourg, France, Symposium G "Good & cheap substrates of wide bandgap semiconductors: how far is the target?", J. Cryst. Growth 310, 911 (2008).
- E. Richter, U. Zeimer, F. Brunner, S. Hagedorn, M. Weyers, G. Tränkle, Vortrag: "Boule-like growth of GaN by HVPE", EMRS Spring Meeting, Strasbourg (France) June 8-12, 2009; phys. stat. sol. (c) 7, 28 (2010).

- E. Richter, U. Zeimer, S. Hagedorn, M. Wagner, F. Brunner, M. Weyers, G. Tränkle, "Hydride vapor phase epitaxy of GaN boules using high growth rates", 6. International Workshop of Bulk Nitride Semiconductors in Galindia (Polen) 24.08. - 28.08.09; J. Cryst. Growth 312, 2537 (2010).
- E. Richter, M. Gründer, U. Zeimer, C. Netzel, M. Weyers, G. Tränkle, „HVPE of GaN Boules“, eingeladener Vortrag, 3rd International Symposium on Growth of Nitrides (ISGN 3), Montpellier (Frankreich), 5.-7.07. 2010, mit: E. Richter, M. Gründer, B. Schineller, F. Brunner, U. Zeimer, C. Netzel, M. Weyers, G. Tränkle, „GaN boules grown by high rate HVPE“, accepted for publication in phys. stat. sol. (c)

ohne Veröffentlichung in referierter Zeitschrift

- E. Richter, "Wachstum mm-dicker GaN-Schichten mit hoher Rate mittels HVPE", DGKK-Arbeitskreis „Herstellung und Charakterisierung von massiven Verbindungshalbleitern“, 12./13.09.2007, Freiberg, Vortrag
- E. Richter, F. Brunner, Ch. Hennig, U. Zeimer, C. Netzel, M. Herms, M. Weyers, G. Tränkle "Growth of boule-like GaN layers using a commercial HVPE system", 5th International Workshop on Bulk Gallium Nitrides (IWBNS 5), 24.-29.09.2007, Itaparica (Brazil), Vortrag
- S. Hagedorn, E. Richter, M. Weyers, G. Tränkle, „Herstellung dicker 2“ GaN-Schichten mittels HVPE in vertikaler Reaktorgeometrie: Optimierung des Wachstumsprozesses“, 22. DGKK Workshop III-V-Epitaxie, 6. – 7.12.2007 Marburg, Vortrag
- M. Weyers, E. Richter, Ch. Hennig, S. Hagedorn, T. Wernicke, G. Tränkle, Photonics-West, Proc. SPIE, Vol. 6910, 69100I (2008), eingeladener Vortrag
- E. Richter, Ch. Hennig, S. Hagedorn, U. Zeimer, C. Netzel, M. Weyers, G. Tränkle, 23. DGKK-Workshop „Epitaxie von III/V-Halbleitern“, Braunschweig 2008, Vortrag
- M. Weyers, E. Richter, Ch. Hennig, G. Tränkle, China Solid State Lighting Conference and Exhibition, Shenzen (China), 24.7. – 26.07.2008, Vortrag
- E. Richter, "Prozesssimulation zur Optimierung des Wachstums von GaN in der HVPE", 10.Kinetikseminar und 6. Workshop Angewandte Simulation in der Kristallzüchtung, Griebnitzsee bei Berlin, 1.-3.04. 2009, Vortrag

Patente:

- „Verfahren zur Herstellung von c-plane orientierten GaN- und $Al_xGa_{1-x}N$ -Substraten“, PCT/EP2006/050272
- „Halbleitersubstrat sowie Verfahren und Maskenschicht zur Herstellung eines freistehenden Halbleitersubstrats mittels Hydrid-Gasphasenepitaxie“, PCT/EP2006/065650

Fachlicher Bericht "Grundlagenentwicklung HVPE, Substrattest und -charakterisierung"

Zeitraum 01.07.2006 - 30.06.2010

E. Richter

Zusammenfassung:

Das Projekt hatte zum Ziel, einen Beitrag zur Entwicklung einer Technologie für die Herstellung hochwertiger GaN-Substrate zu leisten. Die Arbeiten wurden in enger Zusammenarbeit mit Projektpartnern, insbesondere Freiburger Compound Materials (FCM) und der Aixtron AG, durchgeführt. Für das Wachstum des GaN-Substratmaterials wurde die Hydridgasphasenepitaxie gewählt, da hier hohe Wachstumsraten erreicht werden können und durch die Verwendung eines Ausgangssubstrates eine Skalierbarkeit des Verfahrens von vornherein gegeben ist. In einem horizontalen Reaktor wurde ein als WSiN-ELOG-Verfahren bezeichnet Prozess entwickelt, der das Wachstum einzelner freistehender GaN-Schichten von 2 Zoll Durchmesser gestattet. Solche Schichten und in der MOVPE gewachsene GaN/Saphir Templates dienten als Substrate für das Wachstum von GaN Boules. Dazu wurde eine vertikale HVPE-Anlage in enger Kooperation entwickelt und von Aixtron gebaut. Es wurde nachgewiesen, dass sich in dieser Anlage ohne Wartungsarbeiten GaN-Schichten mit einer Gesamtdicke von 20 mm abscheiden lassen. Im Ergebnis der Prozessentwicklung wurden undotierte 2" GaN-Kristalle bis zu einer Länge von 6,3 mm realisiert. Dabei reduziert sich die Versetzungsdichte an der GaN-Oberfläche von $2 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ auf $6 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$. Die Arbeiten haben gezeigt, dass das Wachstum dieser Boules eine Vertiefung des Verständnisses der dabei auftretenden Defekte und Verspannungszustände sowie der Prozesse im Reaktor und an der GaN-Oberfläche erfordert. Für die Weiterentwicklung des Prozesses zu größeren Längen oder Durchmessern und im Zusammenhang mit der Einführung von Dotierstoffen müssen weitere grundlegende Optimierungsarbeiten angeschlossen werden. In diesem Projekt wurde der Einbau von Silizium und von Magnesium als Dotierstoff näher untersucht. Ausgehend von dem entwickelten Prozess für undotierte GaN-Boules lassen sich durch Dotierung mit Eisen semiisolierende GaN-Substrate mit geringer Defektdichte gewinnen, die vorteilhaft zur Herstellung von Mikrowellentransistoren höherer Lebensdauer genutzt werden könnten. Für eine solche Anwendung ist insbesondere der Befund interessant, dass die für Herstellung von Substraten gewonnen GaN-Kristalle mit 294 W/mK eine deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit aufweisen, als nach dem bisherigen Stand von Wissenschaft und Technik bekannt war.