

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Forschungsbericht/Abschlußbericht

Förderkennzeichen 13N7230

novalas-Teilverband 1: Technologie von
Hochleistungsdiodenlasern

**Züchtung versetzungsarmer GaAs-Substratkristalle von 3“ und 4“
Durchmessern mit dem vertikalen Bridgman/Gradient Freeze
Verfahren**

Laufzeit:

1.10.1998-31.12.2001

Projektleitung:

Prof. Dr. G. Müller

Universität Erlangen/Nürnberg

Institut für Werkstoffwissenschaften 6

Partner:

Prof. Dr. E. Buhrig / Prof. Dr. A. Cröll

Institut für NE-Metallurgie u. Reinstoffe

TU Bergakademie Freiberg

Inhalt

1 Zusammenfassung	3
2 Aufgabenstellung und Zielsetzung	3
3 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.	5
4 Planung und Ablauf des Vorhabens	5
5 wissenschaftlich-technischer Stand und eingeschlagener Lösungsweg	6
6 Verwendete Informationsquellen	8
7 Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern und Beitrag zum Verbundprojekt	8
8 Darstellung der Ergebnisse	8
8.1 Ergebnisse der Kristallzüchtung	9
8.2 numerische Modellierung von VGF-Kristallzüchtungsanlagen	11
8.3 Untersuchungen zur Versetzungsbildung	14
8.4 Untersuchungen zum Einfluss der Schmelzzusammensetzung auf die Versetzungsdichte	15
8.5 Untersuchungen zum Si-Einbau in den Kristallen	17
9 Ausblick	18
9.1 Wertung des Erkenntnisfortschritts	18
9.3 Verwertbarkeit des Ergebnisses	18
9.4 Fortschritt bei anderen Institutionen	19
9.5 Stand alternativer Herstellungsverfahren	19
10 Veröffentlichung der Ergebnisse	21
11 Berichte der Projektpartner	22

Züchtung versetzungsarmer GaAs-Substratkristalle von 3“ und 4“ Durchmessern mit dem vertikalen Bridgman/Gradient Freeze Verfahren

B. Birkmann¹, P. Gumprich², A. Cröll², G. Müller¹

¹Kristalllabor, Lehrstuhl für Werkstoffwissenschaften VI, FAU Erlangen-Nürnberg,
Martensstr. 7, 91058 Erlangen

²Institut für NE-Metallurgie und Reinstoffe, TU Bergakademie Freiberg,
Leipziger Str. 23, 09596 Freiberg

1 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über das genannte Projekt. Ziel war die Herstellung von GaAs-Scheiben mit einer Versetzungsdichte (EPD) kleiner als 500 cm^{-2} und einer Ladungsträgerkonzentration (n) größer $0.8 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Diese Ziele wurden planmäßig erreicht. Durch die Kooperation der beiden beteiligten Institute konnten insgesamt 3 mögliche Verfahrensvarianten untersucht werden. Zur Optimierung der Anlagen und Prozesse wurde intensiv die numerische Modellierung eingesetzt. Die Modelle wurden durch Temperaturmessungen an den Anlagen verifiziert. Ergänzt wurde die Kristallzüchtung durch Untersuchungen zu den strukturellen und elektrischen Eigenschaften der Kristalle.

2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Eine der Grundvoraussetzungen für die Epitaxie von Hochleistungsdiodenlasern ist das Vorhandensein von einkristallinen GaAs-Substraten, die eine sehr niedrige Versetzungsdichte (EPD) sowie eine ausreichend hohe Konzentration an elektrischen Ladungsträgern (n) aufweisen, welche durch eine Dotierung des GaAs mit Silizium erreicht wird.

Ziel dieses Teilvorhabens war daher die Präparation von Si-dotierten GaAs-Scheiben mit 3“ und 4“ Durchmessern und niedriger Versetzungsdichte (EPD kleiner als 500 cm^{-2}), die als Substrate zur Präparation von Diodenlasern und Diodenlaser-

barren zwingend notwendig sind und zu diesem Zweck den industriellen und universitären Verbundpartnern für bauelementspezifische Tests zur Verfügung gestellt wurden.

Damit ergab sich als wesentliches inhaltliches Ziel des Vorhabens die Erforschung von Anlagenkonzepten und Prozeßtechnologien („Vertikales Gradient Freeze (VGF)“-Verfahren) zur Züchtung von Si-dotierten versetzungsarmen GaAs-Kristallen. Es wurde dabei über einen großen Kristallbereich eine Versetzungsdichte von weniger als 500 cm^{-2} bei einer Si-Dotierung im Bereich $(0.8...3) \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und einem Kristalldurchmesser von 3" sowie 4" angestrebt.

Die Kristallzüchtung nach dem VGF-Verfahren zeichnet sich durch die Beherrschbarkeit kleiner Temperaturgradienten im wachsenden Kristall aus. Damit gelingt es, die während des Züchtungsprozesses auftretenden thermischen Spannungen im Vergleich zu anderen Verfahren, wie z.B. dem LEC-Verfahren, sehr klein zu halten und damit eine plastische Verformung des wachsenden Kristalls in Form von Versetzungsbildung zu vermeiden. Bei geeigneter Temperaturführung sind somit Kristalle mit sehr niedriger Versetzungsdichte herstellbar. Weitere Vorteile betreffen die Möglichkeit zur Kontrolle der Stöchiometrie.

Die besondere Schwierigkeit bei dem beantragten Vorhaben bestand in der Erforschung von geeigneten Anlagenkonzepten für die großen Kristalldurchmesser und einer auch für längere Kristalle geeigneten Temperatur-Zeit-Prozeßführung.

Aus der vorgestellten Zielsetzung ergaben sich die folgenden wesentlichen Arbeitspunkte:

- Modellierung thermischer und thermodynamischer Randbedingungen mithilfe von Computersimulation, um das Design der Züchtungsanlagen und die thermischen Randbedingungen zu optimieren (insbesondere zur Erniedrigung der therm. Spannungen)
- Erarbeitung von Züchtungs- und Charakterisierungsverfahren für die Erfordernisse von versetzungsarmen Si-dotierten GaAs-Kristallen
- Züchtung von Kristallen, die für die Verarbeitung zu Testscheiben geeignet sind.
- Untersuchungen zum Dotierstoffeinbau in VGF-GaAs
- Charakterisierung der Restversetzungen in den Kristallen und Untersuchungen zu deren Entstehungsmechanismen.

Diese Fragestellungen bilden die Voraussetzung für ein grundlegendes Verständnis des VGF-Verfahrens und seiner erfolgreichen Anwendung. Durch die Bearbeitung dieser Fragestellungen unterscheidet sich dieses Projekt von dem der Freiburger Compound Materials (FKz. 13N7225/2), in dem ebenfalls GaAs-Kristalle hergestellt wurden, dessen Schwerpunkt aber auf der Durchführung einer Kristallzucht unter industriellen Randbedingungen und dem Schritt vom Kristall zum epitaxietauglichen Substrat lag.

3 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.

Die vorliegende Arbeit baut auf den Ergebnissen des Laser 2000-Verbundprojektes (13N6380) auf und setzt die dort begonnenen Arbeiten fort. Im Rahmen des Laser 2000-Projektes wurde bei den Projektpartnern aus Erlangen und Freiberg das wesentliche kristallzüchterische Know-How zur Herstellung von Si-dotiertem GaAs mit 2 Zoll Kristalldurchmesser erarbeitet. Dieses diente im aktuellen Projekt als Ausgangspunkt für die Arbeiten zu den größeren Kristalldurchmessern.

Die erfolgreiche Durchführung der Arbeiten wurde zusätzlich durch die vorhandene Erfahrung zur numerischen Modellierung der Anlagen und der Thermodynamik in den Zuchtungsampullen begünstigt.

Die prinzipielle Machbarkeit von GaAs-Kristallen der gewünschten Durchmesser war bereits durch ausländische Vorarbeiten gezeigt. Allerdings gaben diese keine Hinweise auf die technische Umsetzung des Zuchtungsverfahrens, so daß auf keine gesicherte Technologie zurückgegriffen werden konnte.

4 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die durchzuführenden Arbeiten wurden Arbeitspakete gegliedert. Diese wurden wo möglich von den Projektpartnern arbeitsteilig bearbeitet, so daß Doppelarbeit vermieden wurde.

Ein zentrales Arbeitspaket war die „Kristallzucht“. Dieses umfaßte die praktische Durchführung der Kristallzucht samt Ankeimprozeß und Beherrschung des Versuchsablaufs. Dieses war von beiden Projektpartnern zu bearbeiten, da jeweils eine andere Prozeß und Anlagenvariante untersucht wurde. Dadurch gelang es auch