

Björn Hoffmann

CV-Messungen an geätzten epitaktisch gewachsenen Schichten

Diplomarbeit

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Der Ga-As-Kristall	6
2.1	Kristallstruktur	6
2.2	Bandstrukturen	7
3	Ladungsträgertransport	14
3.1	Theorie des Stromflusses	14
3.2	Mechanismen des Stromtransportes	17
3.2.1	Thermischer Emissionsstrom	18
3.2.2	Quantenmechanischer Tunnelstrom	19
3.2.3	Rekombinationsstrom	20
4	Kristalldefekte	21
4.1	Einteilung der Kristalldefekte	21
4.1.1	Atomare Fehlstellen	22
4.1.2	Versetzungen	23
4.1.3	Grenzflächen	23
4.1.4	Ausscheidungen und Einschlüsse	25
4.2	Auswirkungen der Kristalldefekte	25
5	Metall-Halbleiter-Kontakt	28
5.1	Idealer Metall-Halbleiter-Kontakt	28

5.2	Realer Metall-Halbleiter-Kontakt	30
5.3	Kapazität des Metall-Halbleiter-Kontaktes	32
5.3.1	Kontakt mit homogener Dotierung	34
5.3.2	Störstellen gleichen Dotiertyps	35
5.3.3	Störstellen unterschiedlichen Dotiertyps	37
5.3.4	Kontakt mit Isolierschicht	38
6	Molekularstrahlepitaxie	40
7	Ätزشäden	43
7.1	Chemische Veränderungen	43
7.2	Physikalische Veränderungen	44
8	Ätztechniken	46
8.1	Naßchemisches Ätzen	46
8.1.1	Naßchemisches Ätzen von GaAs	47
8.2	Ionenstrahlätzen	48
8.3	CGE	50
8.4	CAIBE	51
9	Probenpräparation	54
9.1	Spalten der Wafer	54
9.2	Naßchemisches Reinigen der Proben	55
9.3	Photolithographie	55
9.4	Aufdampfen der Metallschicht	55
9.5	Rückkontaktieren der Probe	56
10	Meßaufbau	57
10.1	Meßprinzip	57
10.2	Meßaufbau	58
11	Meßfehler	60

<i>INHALTSVERZEICHNIS</i>	3
12 Auswertung und Ergebnisse	65
12.1 Auswirkung des naßchemischen Abtrags	65
12.2 Tiefe Störstellen	67
12.3 Tiefe der Schädigung	68
12.4 Auswirkung der Ionenenergie	69
12.5 Temperatureinfluß	71
12.6 Vergleich weiterer Ätztechniken	74
13 Zusammenfassung	77
A Probenliste	79
B Danksagung	82
C Erklärung	84

Kapitel 1

Einleitung

In der heutigen Zeit werden in immer mehr Geräten Halbleiterbauelemente eingesetzt. Unter der Zielsetzung, möglichst viele Strukturen auf einer Fläche unterzubringen, haben sich Ätztechniken zu einem der wichtigsten Werkzeuge bei der Herstellung von Halbleiter-Mikrostrukturen entwickelt.

Jede Weiterentwicklung der Ätztechnik erlaubt die genauere Kontrolle der Ätzrate, der Selektivität, der Flankensteilheit, der immer besseren Reproduzierbarkeit des Ätzvorganges und dergleichen mehr. Jede Ätztechnik schädigt aber auch den zu ätzenden Halbleiterkristall. So ist die Auswahl einer Ätztechnik ein Abwägen der Vorteile und Nachteile.

Dabei zeigt sich, daß trotz der mehr als fünfzigjährigen Forschung über Halbleiter bzw. Halbleiterbauelemente auch heute noch neue Erkenntnisse in diesem Bereich gewonnen werden. Ebenso müssen die vorhandenen physikalischen Modelle für die neuen Anforderungen und Techniken angepaßt oder erweitert werden.

Mit der zunehmenden Nutzung der in den siebziger Jahren entwickelten epitaktischen Herstellungsverfahren für Halbleiter, wie der Molekularstrahlepitaxie (MBE) und der Metall-Organischen Gasphasenepitaxie (MOCVD), ist es heute möglich, Halbleiter-Heterostrukturen aus dem Gallium-Arsenid/Aluminium-Gallium-Arsenid-Materialsystem herzustellen. Solche Strukturen finden heute ihren Nutzen in der Herstellung von schnellen Bauteilen, wie sie in der Nachrichten- und Optoelektronik verwendet werden.

Diese Diplomarbeit im Rahmen eines BMBF-Projektes ¹ am Mikrostruktur-

¹ *Chemisch unterstütztes in-situ Ionenstrahlätzen und MBE-Überwachen zur Realisierung von GaAs/AlGaAs Quantendrähten, Quantenpunkten und Quantenringen, gefördert durch den BMBF-Förderschwerpunkt Quantenstrukturen.*

zentrum der Universität Hamburg untersucht die durch einen CAIBE-Prozess verursachte Schädigung eines GaAs-Halbleiters. Ziel ist es die Art und Tiefe der Schäden in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern des CAIBE-Prozesses zu untersuchen.

Die Ätzung findet in-situ in einer an die MBE-Anlage des Mikrostrukturzentrums Hamburg angeschlossenen Prozeszkammer statt. Die Dotierung des Halbleiters in Abhängigkeit von der Tiefe wird durch die CV-Meßmethode ermittelt. Der Kontakt auf der Halbleiteroberfläche erfolgt dabei durch einen Metall-Halbleiter-Kontakt, der zu einer Bandverbiegung an der Oberfläche des Halbleiters führt. Bei der CV-Messung wird der Strom zur Wiederherstellung des thermodynamischen Gleichgewichtes innerhalb des Systems gemessen, nachdem das System kontrolliert aus dem Gleichgewicht gebracht worden ist. Unter Berücksichtigung der Bandverbiegung kann aus diesem Strom die Ladungs- und Störstellenkonzentration in Abhängigkeit von der Tiefe berechnet werden. Der Aufbau des dazu notwendigen Meßplatzes ist Teil der Diplomarbeit. Es werden verschiedene Parameter des CAIBE-Prozesses variiert, um ein mögliches Optimum der geringsten Schädigung zu finden.

Die Grundlage dieser Diplomarbeit bildet die Darstellung der Eigenschaften des Halbleiters GaAs im Kapitel 2. Die Beschreibung des zugrundeliegenden Ladungsträgertransportes im Halbleiter findet sich in Kapitel 3. Mögliche Störstellen innerhalb des Halbleiters, die zu einer Veränderung des Stromflusses führen können, werden im Kapitel 4 beschrieben. In Kapitel 5 wird der zur Messung notwendige Metall-Halbleiter-Kontakt in seiner idealen und realen Form dargestellt. Mit diesen Grundlagen wird die Kapazität des Metall-Halbleiter-Kontaktes berechnet werden.

Die folgenden Abschnitte befassen sich mit der Herstellung der Proben. Kapitel 6 behandelt die zum Probenwachstum notwendige MBE-Technik und Kapitel 9 die Schritte, die zum Aufbringen eines Metall-Halbleiter-Kontaktes notwendig sind. Die Kapitel 7 und 8 schildern die verwendeten Ätztechniken und ihre allgemeine Auswirkung auf den Halbleiterkristall. Der verwendete Meßaufbau wird in Kapitel 10 ebenso wie begrenzende Faktoren dargestellt. Die Auswertung findet sich im Kapitel 12. Die Zusammenfassung der Ergebnisse ist der Inhalt von Kapitel 13.

Kapitel 2

Der GaAs-Kristall

In diesem Kapitel wird das Grundwissen über das verwendete Halbleitermaterial GaAs dargestellt. Es liefert die Grundlagen für die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Präparationen und Messungen.

2.1 Kristallstruktur

Galliumarsenid (GaAs) gehört in die Gruppe der III-V-Verbindungshalbleiter.

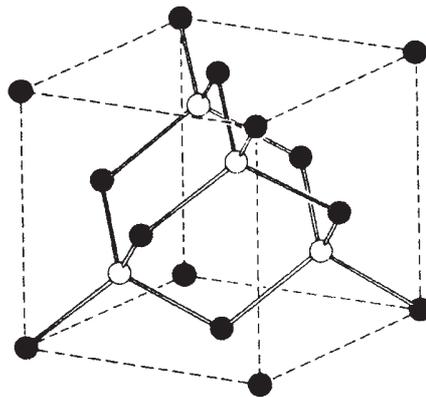


Abbildung 2.1: Zinkblende-Kristallstruktur

Diese Halbleiter kristallisieren in der in Abbildung 2.1 dargestellten Zinkblende-
struktur, bei der zwei kubisch flächenzentrierte Gitter (fcc-Gitter) entlang

der Raumdiagonalen um $(1/4, 1/4, 1/4)$ der Gitterkonstanten a ¹ gegeneinander verschoben sind. Die Gitterpunkte des einen fcc-Gitters werden von Ga-Atomen, die des anderen von As-Atomen eingenommen.

Sind beide Teilgitter mit nur einer Art von Atomen besetzt, so spricht man vom Diamantgitter. In ihm kristallisiert der Gruppe-IV-Halbleiter Silizium.

In beiden Gittern ist die vorhandene Bindung kovalent mit schwach ionischem Anteil [1]. Sie entsteht durch die Anregung eines Elektrons aus einem 2s- in ein 2p-Orbital, so daß jedem Atom je zwei s- und zwei p-Elektronen zur Verfügung stehen. Diese Elektronen hybridisieren zu einer tetraedischen sp^3 -Konfiguration.

Die große Übereinstimmung zwischen dem GaAs- und dem Si-Kristallaufbau wird bei der Dotierung von GaAs genutzt.

2.2 Bandstrukturen

Die Wechselwirkung der Komponenten eines kristallinen Festkörpers führt zur Bildung von eng zusammenliegenden Energieniveaus, die als Energiebänder bezeichnet werden. Die wesentlichen Bänder sind das Valenz- und das Leitungsband.

Bei $T = 0$ K ist das Valenzband vollständig mit Elektronen bis zur Energie E_V gefüllt. Getrennt durch die Bandlücke der Breite E_g , deren Art und Größe die Eigenschaften des Halbleiters bestimmt, befindet sich, ab der Energie E_L , das leere Leitungsband.

Die Bandlücke hat ihre Ursache in der Tatsache, daß die Schrödingergleichung in diesem Bereich keine Lösung in Form einer ebenen Welle hat. Die Elektronen können diese Energiewerte nicht annehmen. Die Breite von E_g ist temperaturabhängig und wird empirisch durch

$$E_g(T) = E_g(0K) - \frac{\alpha T^2}{T + \beta} \quad (2.1)$$

beschrieben,

mit $E_g(0 K) = 1,519 eV$, $\alpha = 5,405 \times 10^{-4} \frac{eV}{K}$ und $\beta = 204 K$ [2].

Zur einfacheren mathematischen Handhabung der Elektronenfehlstellen im Valenzband wird der Löcherformalismus verwendet. Die Elektronenbewe-

¹ $a_{GaAs} = 0,565$ nm bei Zimmertemperatur