

Die Bestimmung der optischen Eigenschaften von Halbleitern mit der Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie

Wissenschaftliche Arbeit
im Fach Physik

Eingereicht von
Carsten Bundesmann



Universität Leipzig
Fakultät für Physik und Geowissenschaften

Leipzig, August 2000

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie	3
2.1	Infrarot-Spektroskopie	3
2.2	Grundlagen der FTIR-Spektroskopie	4
2.2.1	Das FTIR-Spektrometer	4
2.2.2	Die Spektrenberechnung	6
2.2.3	Praktische Durchführung der Spektrenberechnung	9
2.3	Erweiterte Aspekte der Spektrenberechnung	11
2.3.1	Auflösung	11
2.3.2	Leakage Effekt und Apodisation	12
2.3.3	Picket-Fence-Effekt und Zerofilling	18
2.3.4	Phasenkorrektur	19
2.4	Vor- und Nachteile der FTIR-Spektroskopie	21
3	Theoretische Grundlagen zur Bestimmung optischer Konstanten	24
3.1	Grundbegriffe und Definitionen	24
3.2	Planparallele Schicht	26
3.3	Gitterschwingungen und lokale Moden	29
3.3.1	Zweiatomige lineare Kette	29
3.3.2	Phononen und Gitterschwingungen	31
3.3.3	Lokale Moden	32
3.4	Dispersionstheorie für Gitterschwingungen und freie Ladungsträger	33
4	Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	38
4.1	GaAs undotiert	38
4.2	GaAs dotiert	41
4.3	GaNAs	44
4.3.1	Probenmorphologie	44

4.3.2	Auswertung und Ergebnisse	45
5	Zusammenfassung	55
	Literaturverzeichnis	56
	Anhang	59
A	Das FTIR-Spektrometer IFS 48	59
B	Ergänzungen zum Messen mit dem IFS 48	62
B.1	Interferenzen	62
B.2	Einfluss von atmosphärischem H ₂ O und CO ₂	65
B.3	Messen des Reflexionsvermögens mit polarisiertem Licht	66
B.4	Empfehlung zur Wahl der Parameter	68

1 Einleitung

Grundlegende Motivation für die vorliegende Arbeit ist der Aufbau eines Versuchs für das Fortgeschrittenen-Praktikum der Universität Leipzig mit dem Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometer (FTIR-Spektrometer) IFS 48 der Firma Bruker. Das IFS 48 arbeitet im infraroten Spektralbereich von etwa $2 \mu\text{m}$ bis etwa $40 \mu\text{m}$ und wird zur Ermittlung der optischen Eigenschaften unter anderem von Halbleitern eingesetzt. Die optischen Eigenschaften der Halbleiter in diesem Spektralbereich werden durch Gitterschwingungen und Ladungsträger bestimmt.

Daraus ergeben sich die beiden folgenden Schwerpunkte für die vorliegende Arbeit:

1. Beschreibung der FTIR-Spektroskopie einschließlich des Messgerätes und
2. Anwendung der FTIR-Spektroskopie zur Bestimmung der Eigenschaften von Halbleitern im infraroten Spektralbereich.

Die Grundlagen für die FTIR-Spektroskopie wurden vor etwa 100 Jahren gelegt. 1891 entwickelte A.A. Michelson (1852-1931) das Michelson-Interferometer [4] und zu Beginn des 20. Jahrhunderts erkannte Lord Rayleigh (1842-1919), dass man mit der Fouriertransformation aus einem Interferogramm das dazugehörige Spektrum berechnen kann [19]. Auf Grund des hohen Rechenaufwands dauerte es allerdings einige Jahrzehnte bis zur praktischen Nutzung der FTIR-Spektroskopie. Erst in den 50er Jahren bemerkte man ihre praktische Bedeutung und durch die Entwicklung immer leistungsfähigerer Computer wurde sie zu einem weit verbreiteten Messverfahren.

Der FTIR-Spektroskopie sind das Kapitel 2 und im Anhang Kapitel A und B gewidmet. In Kapitel 2 werden das Prinzip und die Spektrenberechnung sowie Vor- und Nachteile der FTIR-Spektroskopie beschrieben. Im Anhang A wird das verwendete FTIR-Spektrometer IFS 48 der Firma Bruker vorgestellt. Anhang B enthält einige praktische Ergänzungen zum Messen.

Eine wichtige Anwendung der Infrarot-Spektroskopie liegt in der Bestimmung der optischen Eigenschaften von Halbleitern. In dieser Arbeit werden GaAs-Proben untersucht, bei denen $y\%$ der Arsenatome durch Stickstoffatome ersetzt wurden ($\text{GaN}_y\text{As}_{1-y}$ -Proben).

Ziel der Messungen ist es, den Stickstoff nachzuweisen und Aussagen über dessen Konzentration abzuleiten. Dazu wird für alle Proben Transmission und Reflexion gemessen, aus denen der Absorptionskoeffizient und die integrale Absorption bestimmt werden. Kapitel 3 enthält die theoretischen Grundlagen zum Auswerten und Beschreiben der Messungen. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse vorgestellt. Zuerst werden die vorbereitenden Ergebnisse für undotierte und dotierte GaAs-Proben ohne Stickstoff erläutert. Darauf aufbauend werden die Resultate der $\text{GaN}_y\text{As}_{1-y}$ -Proben dargelegt und diskutiert.

Die in der Arbeit verwendeten Größen und Variablen werden definiert, wenn sie das erste Mal erwähnt werden. Häufig sind in der Physik gleiche Buchstaben für die Bezeichnung unterschiedlicher Größen üblich. Handelt es sich um verschiedene Größen, wird eine der Größen durch einen Stern '*' gekennzeichnet, zum Beispiel f^* für die Federkonstante eines Federschwingers im Unterschied zu f für die Frequenz. Handelt es sich um Größen gleicher Dimension, wird ein Strich oder ein Index zur Unterscheidung verwendet, zum Beispiel x' oder x_1 .