

Masterarbeit zum Thema

Photolumineszenzspektroskopie

Baran Avinc

Institut für Festkörperphysik



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Grundlagen	7
2.1	Bandstruktur von Gruppe-III Nitriden	7
2.2	Polarisationsfeld und QCSE in III/V Halbleitern	8
3	Aufbau	9
3.1	Photolumineszenzaufbau	9
4	Ergebnisse	11
4.1	Untersuchung optisch gepumpter Laserstrukturen auf unterschiedlichen Templates	11

Kapitel 1

Einleitung

In the spirit of Alfred Nobel the Prize rewards an invention of greatest benefit to mankind; using blue LEDs, white Light can be created in a new way.

Dieser Satz den die Schwedische Akademie der Künste nach der Vergabe des Nobelpreises an die Entwicklung der blauen LED(kurz, light emitting diode) im Jahr 2014 an die Presse veröffentlichte, fasst treffend zusammen, wie hoch die Bedeutung der auf Halbleiterkristallen basierenden optischen Bauelemente ist. LEDs nehmen einen fundamentalen und immer bedeutender werdenden Teil unseres alltäglichen Lebens ein. Ausgezeichnet durch ihre hervorragende Effizienz, konkurrenzlosen Lebensdauer und geringen Dimension übernimmt sie durch eine immer höher werden den Lichtausbeute zusehends neue Anwendungsbereiche. Insbesondere auf Gallium Nitrid (GaN) basierende Halbleitermaterialien haben einen bahnbrechenden Weg hingelegt, der zur Entwicklung von hoch effizienten und leuchtstarken blauen LEDs führte und ebenfalls Grundlage für die Entwicklung in andere hochenergetische Wellenlängenbereiche darstellt [5]. So ebnet GaN auch den Weg für die Erzeugung von ultraviolet emittierenden Leuchtdioden. Der ultraviolette Spektralbereich, der sich unterteilt in den UV-A (400 nm bis 320 nm), UV-B (320 nm bis 280) und UV-C Bereich (280 nm bis 200 nm) ist bedeutend für eine sehr hohe Anzahl spezieller Anwendungsbereiche.

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 Bandstruktur von Gruppe-III Nitriden

Die wichtige Gruppe der III-Nitridhalbleiter setzt sich aus den Metallen der dritten Hauptgruppe Aluminium (Al), Gallium (Ga) und Indium (In) zusammen. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf dem AlGa_N-Materialsystem mit hohen Al-Konzentration. Das Mischverhältnis bestimmt hierbei die Bandlückenenergie des Verbindungshalbleiters. Durch die unterschiedlichen Bandlückenenergien von Aluminium mit 6.03 eV [2] und GaN mit 3.4 eV [3] eignet sich AlGa_N besonders für die Emission im Wellenlängenbereich von UV-A bis UV-C. Die Bandlückenenergie von AlGa_N lässt sich durch Interpolation der binären Energien von GaN und AlN in Abhängigkeit des Kompositionsverhältnisses x berechnen, wobei ein zusätzlicher Bowing-Parameter für die nichtlineare Abweichung hinzugefügt wird.

$$E_{Al_xGa_{1-x}N} = E_{AlN} \cdot x + E_{GaN} \cdot (1 - x) - b_{AlGaN} \cdot x \cdot (1 - x) \quad (2.1)$$

2.2 Polarisationsfeld und QCSE in III/V Halbleitern

Die Gruppe der III-Nitrid-Halbleiter kristallisiert in der Wurtzitstruktur. Anschaulich bedeutet dies, dass ausgehend von der hexagonal dichtesten Kugelpackung in Doppellagen, die Gruppe-III-Metallen und Stickstoff (N) sich entlang der c-Achse in der Abfolge A-B-A-B anordnen [1] wie in Abb. 2.1 dargestellt ist.

Aufgrund der fehlenden Inversionssymmetrie und stark unterschiedlichen Elektronegativitäten des Stickstoffs und der entsprechenden Gruppe III-Metalle bilden sich Polarisationsfelder aus, die entlang der auf der Basalebende stehenden c-Achse verlaufen. Hier unterscheidet man zwischen zwei Arten von Polarisationsfeldern, die spontane Polarisation \vec{P}^{sp} und die piezoelektrische Polarisation \vec{P}^{pz} .

Die spontante Polarisation entsteht durch Dipolmomente im Kristall die sich aufgrund von ungleichen Bindungslängen nicht komplett aufheben. Ursprung der Dipolmomente im AlGaN sind die unterschiedlichen Elektronegativitäten zwischen den Metallatomen Gallium und Aluminium gegenüber dem Stickstoffatom

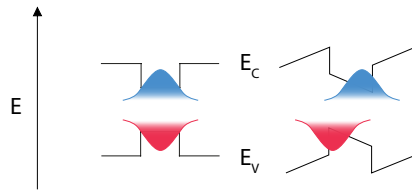


Abbildung 2.1: PL-Spektren der Proben ohne Übergitter

Kapitel 3

Aufbau

3.1 Photolumineszenzaufbau

Für die experimentelle Untersuchung der UV-Photolumineszenzaufbau wurde der PL-Aufbau der AG-Kneissl verwendet, den Christoph Reich in der Zeit seiner Masterarbeit aufgebaut und während seiner Promotion erweitert hat[4]. Als Anregungsquelle für die Photolumineszenz dient ein ArF-Excimerlaser mit einer Wellenlänge von 193 nm ($6,4\text{ eV}$). Mit dieser Wellenlänge ist er bestens geeignet für die Überbandanregung von Nitridhalbleitern. Des Weiteren bietet der Aufbau die Möglichkeit von temperaturabhängige Untersuchungen von 5 K bis 300 K . Dies ist auch die Grundlage Bestimmung der Internen Quanteneffizienz (kurz IQE) dar, die den Großteil der Thematik dieser Arbeit ausmachen wird. Der Laser mit dem Modellnamen "Xantos" von der Firma Coherent bietet eine maximale Ausgangsleistung von $5000\frac{\text{kW}}{\text{cm}^2}$ und die Frequenz ist bis zu 500 Hz einstellbar bei einer Pulsdauer von 5 ns . Durch interne Rückkopplung ist eine Energiestabilisierung möglich, die die Schwankung der Anregungsleistung auf 3 Prozent minimiert.

Kapitel 4

Ergebnisse

4.1 Untersuchung optisch gepumpter Laserstrukturen auf unterschiedlichen Templates

Dieses Kapitel widmet sich der Untersuchung zweier Probenreihen von optisch gepumpten Laserstrukturen, die aus Rezepten aus zwei unterschiedlichen Serien stammen. Die beiden Serien unterscheiden sich im wesentlichen dadurch, dass sie mit(Serie 2) und ohne Übergitter(Serie 1) gewachsen wurden. Die beiden Serien zeichnen sich durch eine dreifach Heterostruktur aus[1]. Diese setzt sich zusammen aus zwei 5nm dicken und siliziumdotierten $Al_{0.8}Ga_{0.3}N$ -Barrieren und drei 2.2nm dicken $Al_{0.56}Ga_{0.44}N$ QWs zusammen mit Die Proben weisen noch unterschiede in ihren Substraten auf, so sind zwei Proben der Serie 1 auf AlN-Bulk zweier unterschiedlicher Hersteller (HexaTech, IKZ) gewachsen und alle anderen Proben auf ELO AlN/Sapphire mit jeweils 3 unterschiedlichen ÖffcutWinkeln.

Tabellarisch sieht die Zusammenstellung wie folgt aus:

Serie 1			Serie 2		
Name	offcut	Template	Name	offcut	Template
A	0.1°m	Bulk(IKZ)	A	0.2°m	ELO
B	0.1°m	ELO	B	0.1°m	ELO
C	0.1°m*	ELO	C	0.1°m*	ELO
D	0.2°m	ELO			
E	0.1°m	Bulk(Hexatech)			

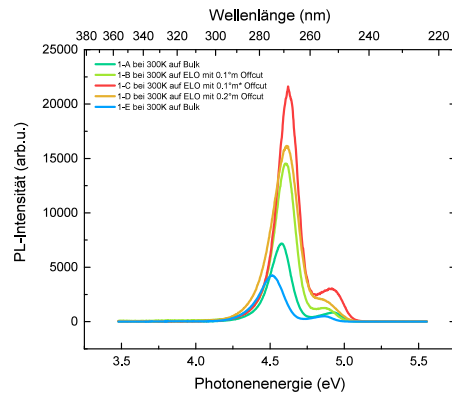


Abbildung 4.1: PL-Spektren der Proben ohne Übergitter

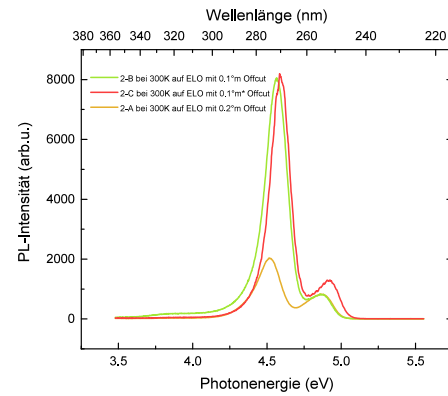


Abbildung 4.2: PL-Spektren der Proben mit Übergitter

Anhand der unterschiedlichen Intensitäten der Proben bei Raumtemperatur sind keine Rückschlüsse zur Effizienz möglich. Das liegt zum einen daran, dass die Proben nicht alle auf einen Schlag bei gleichen Bedingungen untersucht wurden und an der Art des Messaufbaus an sich.

Literaturverzeichnis

- [1] C. Buchheim. *Dielektrische Funktion und elektrooptische Eigenschaften von (Al,Ga)N/GaN - Heterostrukturen*. PhD thesis, Technische Universität Ilmenau, 2010.
- [2] M. Feneberg, R. A. R. Leute, B. Neuschl, K. Thonke, and M. Bickermann. High-excitation and high-resolution photoluminescence spectra of bulk aln. *Phys. Rev. B*, 82:075208(2), 2000.
- [3] J. Piprek. *Nitride semiconductor devices: principles and simulation*. John Wiley & Sons, 2007.
- [4] C. Reich. *Photolumineszenzspektroskopie an (In)AlGaN-Heterostrukturen für UV-Emitter*. PhD thesis, Technische Universität Berlin, 2011.
- [5] W. Risk, T. Gosnell, and A. Nurmikko. *Compact Blue-Green Lasers*. Cambridge studies in modern optics. Cambridge University Press, 2003.