

Nanostrukturen in Halbleiterbauelementen

Von der Gemeinsamen Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Phys.

Dirk Piester

aus Salzgitter

Eingereicht am: 6. Mai 2002

Mündliche Prüfung am: 14. Juni 2002

Berichterstatter: Prof. Dr. rer. nat. A. Schlachetzki

Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. W. Kowalsky

2002

Nothing is real

(John Lennon)

Berichte aus der Halbleitertechnik

Dirk Piester

Nanostrukturen in Halbleiterbauelementen

Shaker Verlag
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Piester, Dirk:

Nanostrukturen in Halbleiterbauelementen/Dirk Piester.

Aachen : Shaker, 2002

(Berichte aus der Halbleitertechnik)

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2002

ISBN 3-8322-1009-1

Copyright Shaker Verlag 2002

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1009-1

ISSN 0945-0785

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Nanostrukturen und ihre Anwendungen	6
2.1	Quantenfilme in Quantenkaskadenlasern	6
2.2	Quantendrähte in Quantendrahtlasern	10
3	Die Materialien InGaAs und InP	16
3.1	Das Herstellungsverfahren metallorganische Gasphasenepitaxie	16
3.2	Bestimmung der Bandlücke mit Photolumineszenz	17
	Meßaufbau und Auswertung	17
	Photolumineszenz	18
4	Homogenität und Schichtdickenkontrolle in Quantenfilmen	28
4.1	Rasterkraftmikroskopie an Spaltflächen	28
4.2	Homogenität	31
4.3	Schichtdickenkontrolle	36
5	Optische Eigenschaften von Quantenfilmen	41
5.1	Potentialtöpfe	41
5.2	Interbandübergänge (Photolumineszenz)	43
5.3	Intrabandübergänge (Absorption)	47
6	Tunneln durch Potentialbarrieren	55
6.1	Transmissionskoeffizient	55
6.2	Einfachbarrieren	57
6.3	Bestimmung der Ladungsträgerkonzentration in Nano-Heterostrukturen	61
	Physikalisches Modell	61

Meßverfahren	63
Diskussion	64
7 Eindimensionale Strukturen im V-Nutenkonzept	67
7.1 Quantenstrukturen in V-Nuten.....	67
7.2 Technologien.....	71
7.3 Wachstum von Quantendrähten bei erhöhter Temperatur	75
7.4 Tunneln durch Potentialbarrieren.....	80
7.5 Ausblick: Weiterführende Optimierungen	80
Strombündelung	80
Mehrfachquantendrähte.....	81
8 Quantenpunkte – selbstorganisiert oder kontrolliert hergestellt?	84
8.1 Statistische Verteilung von selbstorganisierten Quantenpunkten	84
8.2 Konzept für kontrolliert hergestellte Quantenpunkte	90
9 Zusammenfassung	94
10 Anhang.....	96
10.1 Naturkonstanten	96
10.2 Materialparameter	97
10.3 Temperaturabhängigkeit der Bandlücke	98
10.4 Abkürzungen.....	99
10.5 Symbole	100
11 Quellen	103
12 Danksagung	117