



Christoph Lingk (Autor)  
**Ultraschnelle Dynamik in Quantenpunkten und  
Quantenpunktlasern**

Christoph Lingk

---

**Ultraschnelle Dynamik in Quantenpunkten  
und Quantenpunktlasern**

---



**Cuvillier Verlag Göttingen**

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/3372>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>7</b>
2.1 Herstellung und Eigenschaften von selbstorganisierten Halbleiterquantenpunkten .....	7
2.1.1 Einfluß der Dimensionalität auf die Eigenschaften von Halbleitern .....	8
2.1.2 Realisierung von Halbleiterquantenpunkten .....	11
2.1.3 Selbstorganisiertes Inselwachstum.....	12
2.1.4 Potentiale, Niveaus und optische Übergänge.....	15
2.1.4.1 Das parabolische Potential: verspannungsinduzierte Quantenpunkte .....	15
2.1.4.2 Selbstorganisierte Quantenpunkte .....	18
2.2 Relaxationsmechanismen in Quantenpunkten .....	20
2.2.1 Warum ein "phonon bottleneck"? .....	20
2.2.2 Relaxation durch Ladungsträgerstreuung .....	23
2.2.3 Relaxation durch Multiphononenemission .....	25
2.3 Quantenpunktlaser .....	26
2.3.1 Wechselwirkung zwischen elektromagnetischer Strahlung und Materie .....	26
2.3.2 Eigenschaften von Halbleiterlasern.....	28
2.3.3 Quantenpunkte als aktives Medium: der ideale Quantenpunktlaser .....	33
2.3.3.1 Optischer Gewinn .....	33
2.3.3.2 Temperaturverhalten.....	36
2.3.3.3 Ladungsträgerdiffusion.....	37
2.3.3.4 Modulationseigenschaften .....	37
2.3.3.5 Emissionswellenlänge .....	38
2.3.4 Besonderheiten eines realen Quantenpunktlasers .....	38
2.3.4.1 Optischer Gewinn .....	39
2.3.4.2 Temperaturverhalten.....	40
2.3.4.3 Ladungsträgerdiffusion.....	41
2.3.4.4 Emissionsspektren und Gewinnsättigung.....	43
2.3.4.5 Modulationseigenschaften und Phonon Bottleneck .....	45
2.3.4.6 Historische Entwicklung von Quantenpunktlasern .....	46
2.3.5 Quantenpunktlaser in der Anwendung.....	47
2.4 Ratengleichungssystem zur Laserdynamik.....	48
<b>3 Verwendete Proben .....</b>	<b>51</b>
3.1 Verspannungsinduzierte Quantenpunkte .....	51
3.1.1 Herstellung und Beschreibung .....	51
3.1.2 Berechnung der Deformationspotentiale.....	54

3.2 Selbstorganisierte Quantenpunkte .....	55
3.2.1 Wachstum mittels MOCVD .....	56
3.2.2 Wachstum mittels Molekularstrahlepitaxie.....	57
<b>4 Experimentelle Methoden.....</b>	<b>61</b>
4.1 Zeitintegrierte Meßmethoden .....	61
4.2 Zeitaufgelöste Meßmethoden .....	63
4.2.1 Zeitkorreliertes Einzelphotonenzählen.....	63
4.2.2 Ultrakurzzeitspektroskopie mittels Femtosekunden-Aufkonversion .....	64
4.2.2.1 Nichtlineare optische Effekte .....	65
4.2.2.2 Wahl des nichtlinearen Kristalls.....	66
4.2.2.3 Meßprozedur.....	68
<b>5 Ladungsträgereinfang in Quantenpunkte.....</b>	<b>73</b>
5.1 Ladungsträgereinfang in Abhängigkeit von Potentialform- und tiefe .....	73
5.1.1 Zeitintegrierte Messungen.....	74
5.1.2 Zeitaufgelöste Messungen.....	81
5.1.3 Berechnung der strahlenden Rekombinationslebensdauer.....	83
5.1.4 Diskussion .....	84
5.2 Ladungsträgereinfang in selbstorganisierte Quantenpunkte.....	86
5.2.1 DWELL-Quantenpunkte .....	86
5.2.1.1 Zeitintegrierte Messungen .....	87
5.2.1.2 Zeitaufgelöste Messungen .....	88
5.2.2 MBE-Quantenpunkte .....	91
5.2.2.1 Zeitintegrierte Messungen .....	91
5.2.2.2 Zeitaufgelöste Messungen .....	93
<b>6 Die homogene und inhomogene Verbreiterung im Quantenpunktlaser.....</b>	<b>97</b>
6.1 Der freilaufende cw-Injektionslaser.....	97
6.2 Die homogene Linienbreite .....	100
6.2.1 Abschätzung der homogenen Linienbreite.....	101
6.2.2 Versuchsaufbau .....	101
6.2.3 Ergebnisse und Diskussion .....	102
6.2.4 Vergleich mit der Literatur.....	104
6.3 Der kontinuierlich durchstimmbare Quantenpunktlaser .....	105
6.3.1 Versuchsaufbau .....	105
6.3.2 Ergebnisse und Diskussion .....	107
<b>7 Ultraschnelle Dynamik von Quantenpunktlaserdioden.....</b>	<b>111</b>
7.1 Dynamik der verstärkten spontanen Emission.....	111
7.1.1 Messung des optischen Gewinns mittels der Strichlängenmethode .....	112
7.1.2 Zeitaufgelöste verstärkte spontane Emission .....	115
7.1.3 Diskussion anhand des Ratengleichungssystems.....	118

---

7.2 Der optisch gewinngeschaltete Quantenpunktlaser .....	122
7.2.1 Versuchsaufbau .....	123
7.2.2 Zeitintegrierte Messungen.....	124
7.2.3 Zeitaufgelöste Messungen.....	126
7.2.3.1 Beschreibung der Meßergebnisse.....	126
7.2.3.2 Berechnungen mit dem Ratengleichungssystem .....	128
7.2.3.3 Diskussion .....	131
7.3 Der nichtresonant gestörte Quantenpunkt-Injektionslaser.....	133
7.3.1 Versuchsaufbau .....	133
7.3.2 Meßergebnisse und Diskussion.....	135
7.3.2.1 Messungen am Quantenfilmlaser .....	135
7.3.2.2 Berechnung der Dynamik des Quantenfilmlasers .....	138
7.3.2.3 Messungen am Quantenpunktlaser.....	141
7.3.2.4 Berechnung der Dynamik des Quantenpunktlasers.....	147
7.3.2.5 Absorption oder Reflektivität? .....	152
<b>8 Erzeugung kurzer Pulse mit einem Quantenpunktlaser im externen Resonator... 155</b>	
8.1 Versuchsaufbau.....	155
8.2 Meßergebnisse .....	158
8.3 Berechnung mit Hilfe des Ratengleichungssystems .....	162
8.4 Ausblick auf Modenkopplung durch elektrische Modulation .....	165
<b>9 Zusammenfassung und Ausblick..... 169</b>	
<b>Anhang A Relaxationsoszillationen und nichtlineare Gewinnsättigung .....</b>	<b>171</b>
<b>Anhang B Berechnung des Phasenangepassungswinkels.....</b>	<b>175</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>179</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>193</b>
<b>Lebenslauf .....</b>	<b>195</b>