

Manipulation der Tunnelkinetik und Charakterisierung von Tunnelinjektionsnanostrukturen

V. G. Talalaev, J. W. Tomm, H. S. Leipner, P. Werner,
B. Fuhrmann, B. V. Novikov, G. W. Cirlin





Nanotechnologietechnikum der Universität

- ◆ Nanostrukturierung: Lithographie, Dünnschichtabscheidung, Bauelementeprototyping
- ◆ Charakterisierung: analytische Elektronenmikroskopie, optische Charakterisierung, Positronenannihilation
- ◆ 620 m² Reinraum

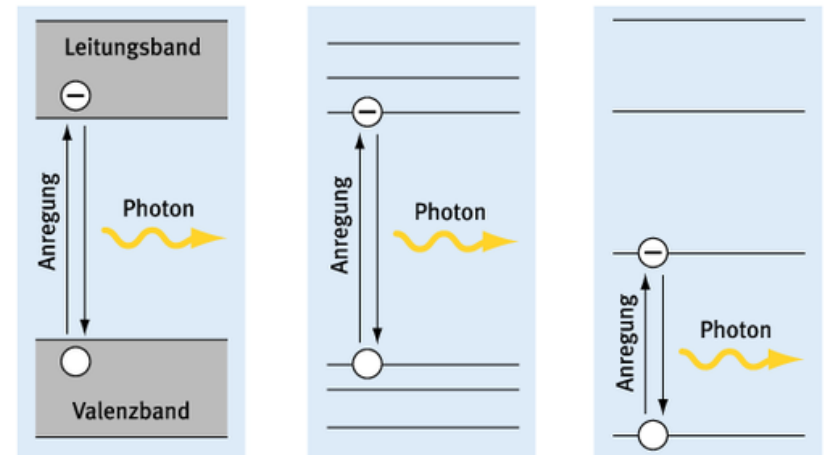
Forschung: Materialien für erneuerbare Energien

- ◆ **Energiekonversion:** Photovoltaik, Photonik
- ◆ **Energiespeicherung:** Batterien, Superkondensatoren
- ◆ **Energierecycling:** Thermoelektrik

Quantenpunkt-Lichtemitter

- ❖ hocheffiziente Lichtemitter auf der Basis von Quantengraben- (QW) und -punktstrukturen (QD)
- ❖ Confinement und wohldefinierte Energieniveaus der Ladungsträger bedeutsam für Lasereigenschaften
- ❖ Kombination von QW und QD ergibt größere Freiheitsgrade für die Kontrolle der Lichtemission → Tunnelinjektionsnanostrukturen (TIN)

[Roth, Bimberg (2009)]



Volumenhalbleiter

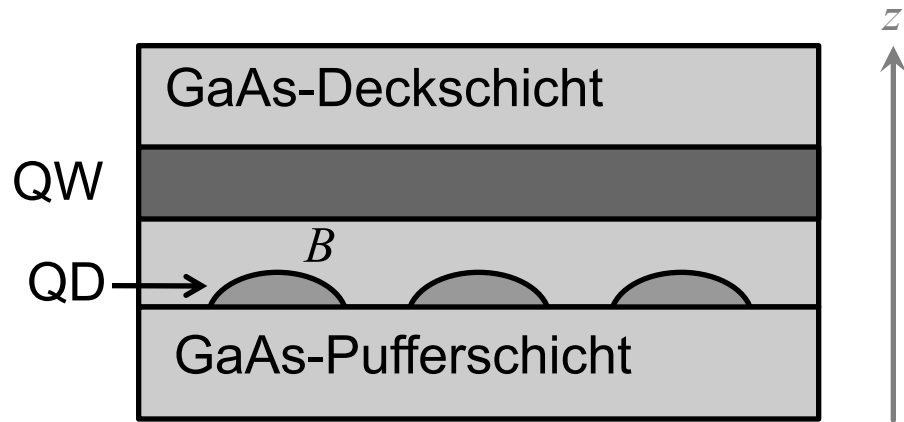
QD

Atom

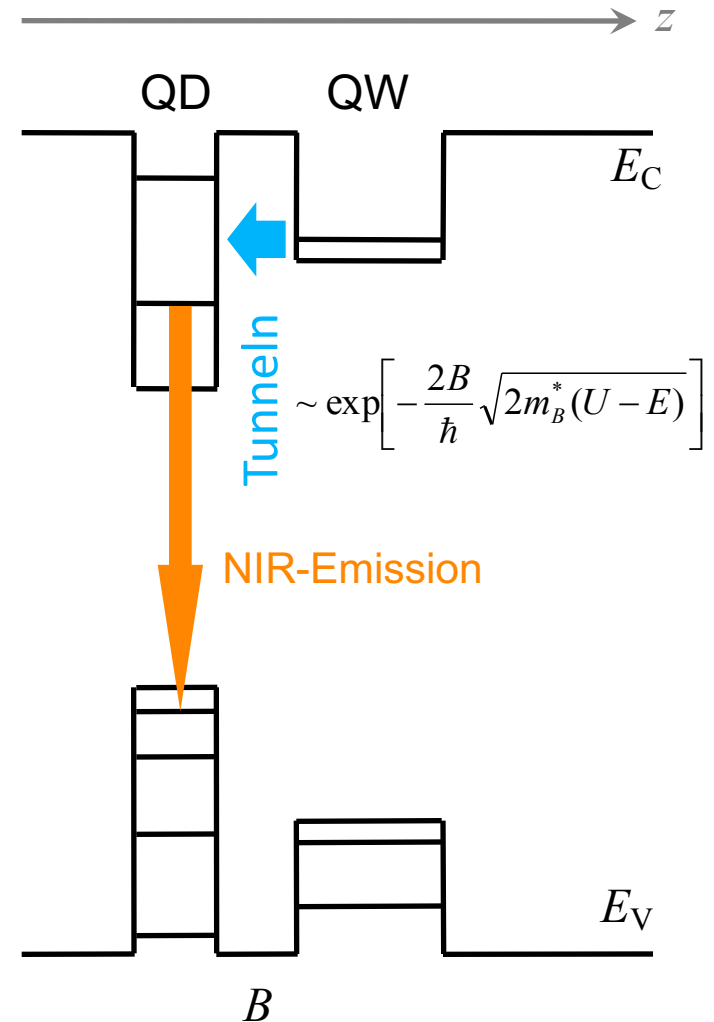
InGaAs-TIN

InGaAs-TIN

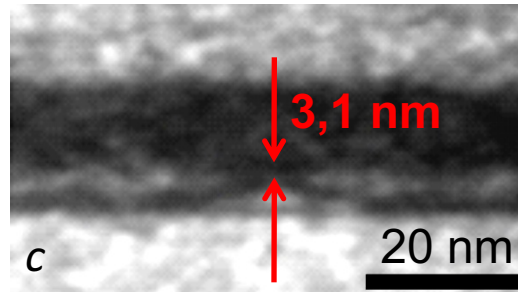
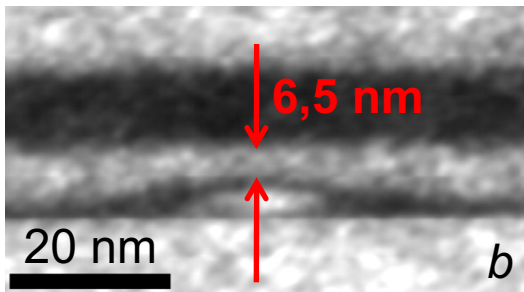
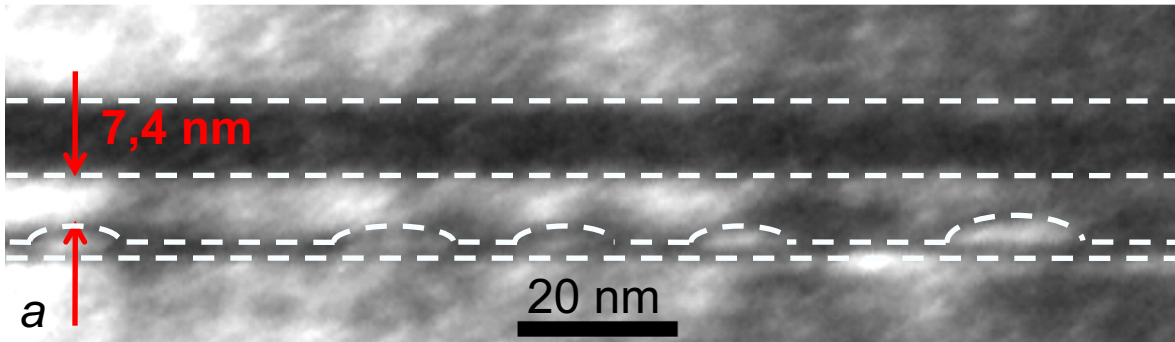
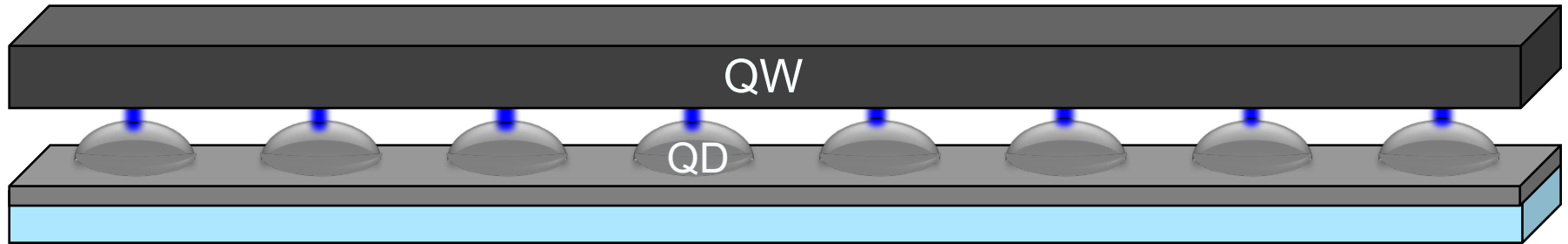
1. $\text{In}_{0,6}\text{Ga}_{0,4}\text{As}$ -QD - NIR-Lichtemitter
2. GaAs-Barriere
3. $\text{In}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{As}$ -QW - Injektor



Querschnitt der mittels Molekularstrahlepitaxie hergestellten Schichten



TEM der Struktur



QD: \varnothing 18 nm
Höhe 4 nm
QW: Dicke 10 nm

In-Gehalt

QW: 15 %
QD: 60 %

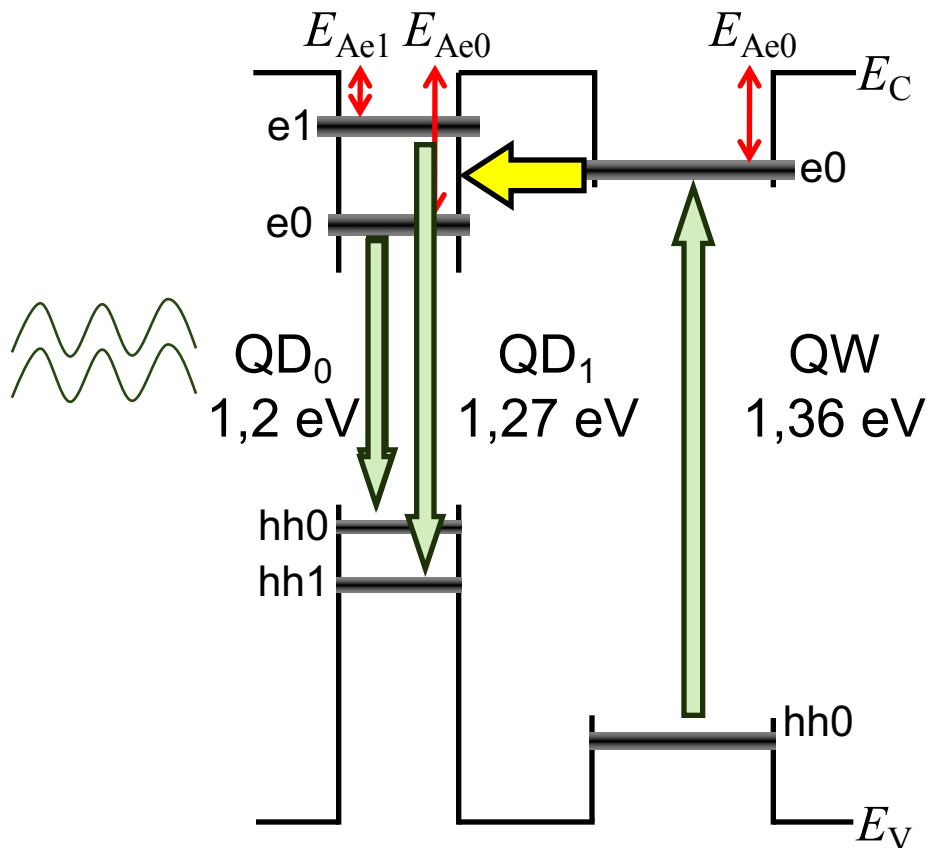
Barriere

2,0 nm - 9,5 nm

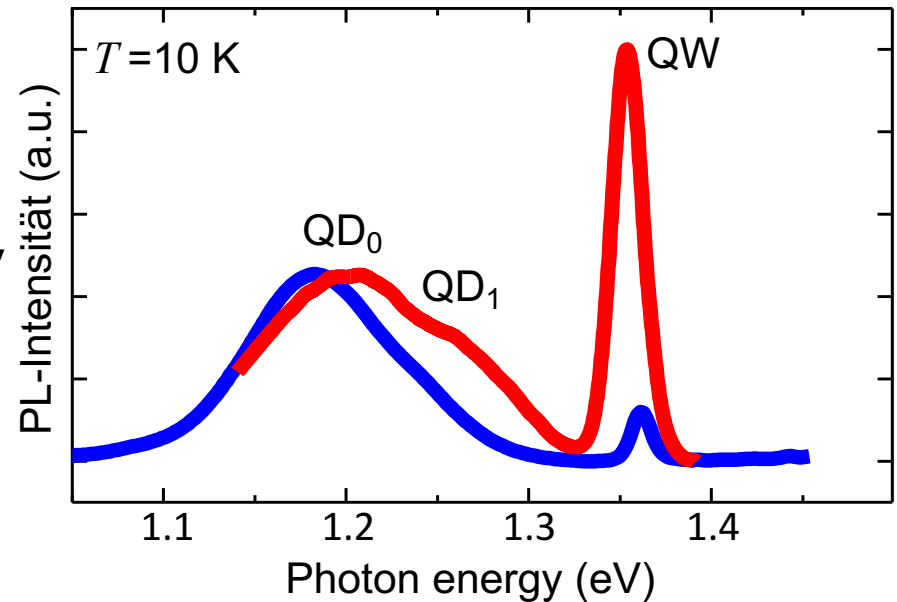
Dicke der GaAs-Barriere:
(a) 7,4 nm, (b) 6,5 nm, (c) 3,1 nm

Bandstruktur

	Effektiv-Massen-Näherung		Arrheniusanalyse	
	$E_{\text{Ae}0}$ (meV)		$E_{\text{Ae}1}$ (meV)	
QD	109	105±5	43	35±7
QW	58	55±3	6	-

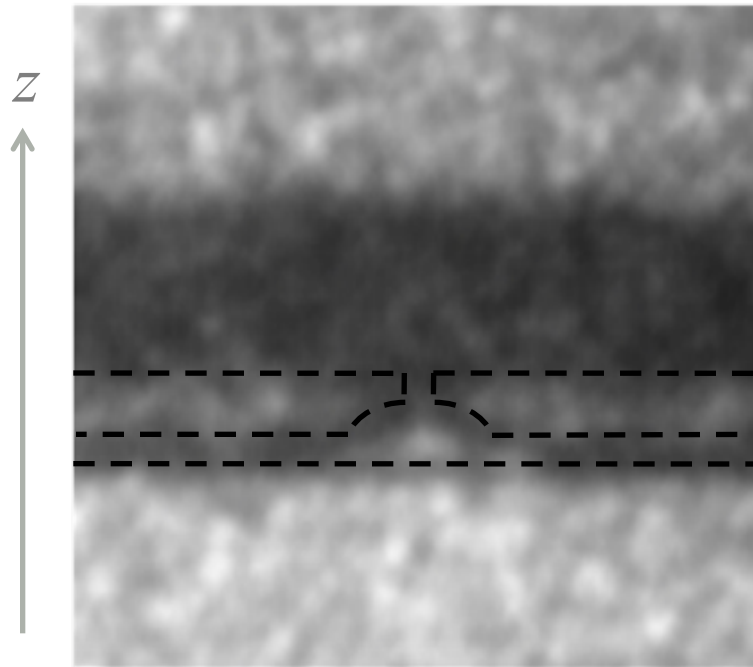


Photolumineszenz von TIN mit 6,5-nm-Barriere

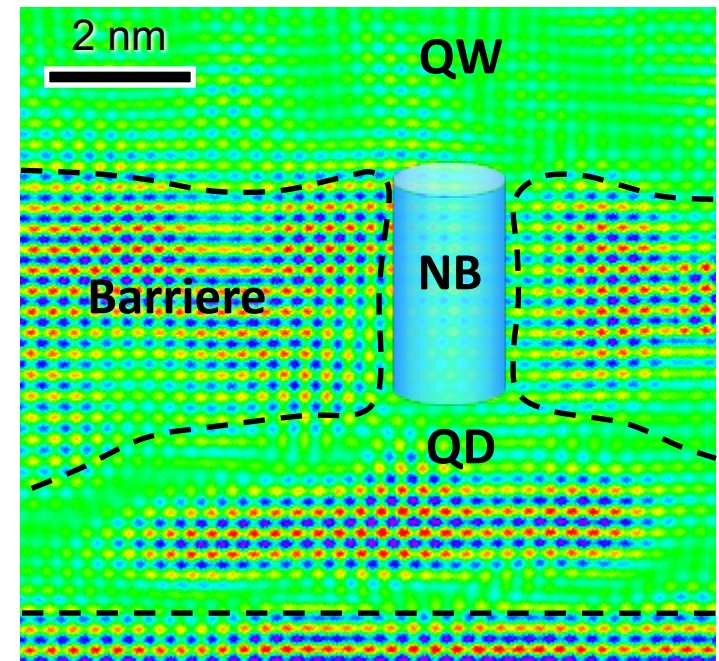


Ausbildung von Nanobrücken

**TEM-Querschnittbild von TIN
mit Barrierendicke 3,1 nm**



Hochauflöungs-TEM



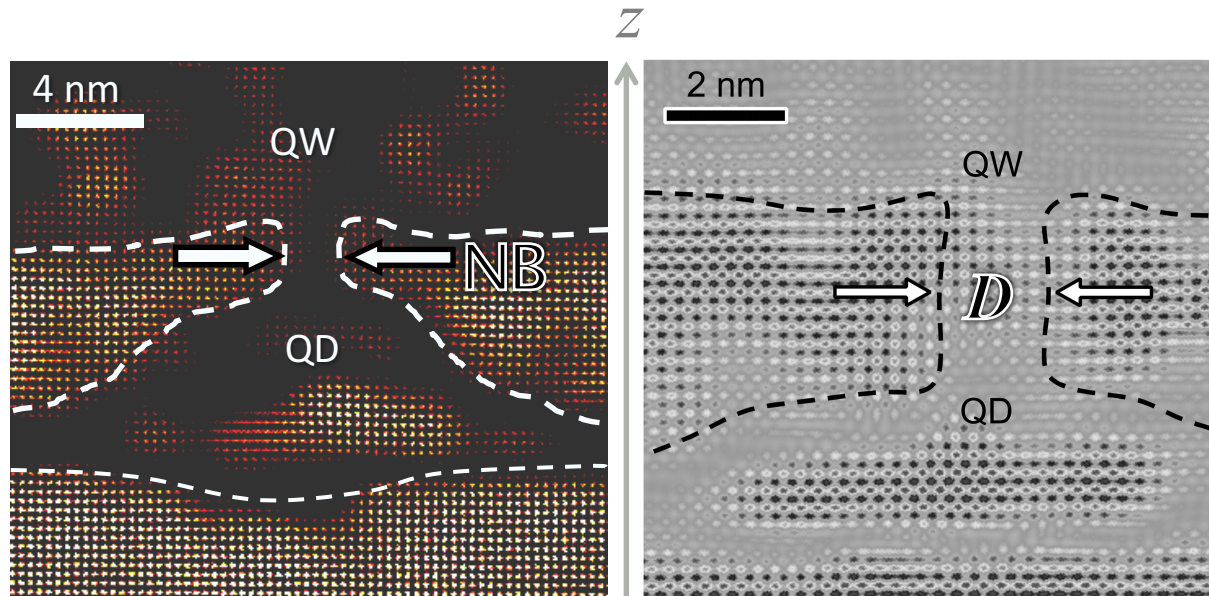
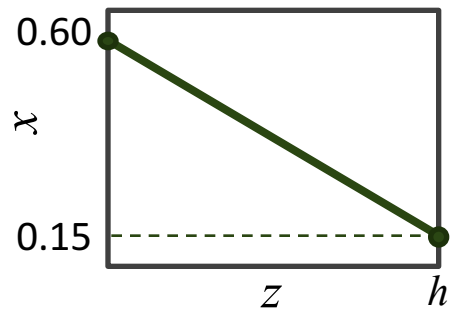
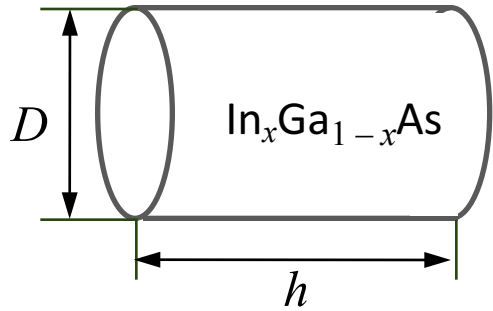
Nanobrücke

$\varnothing, D \approx 2 \text{ nm}$

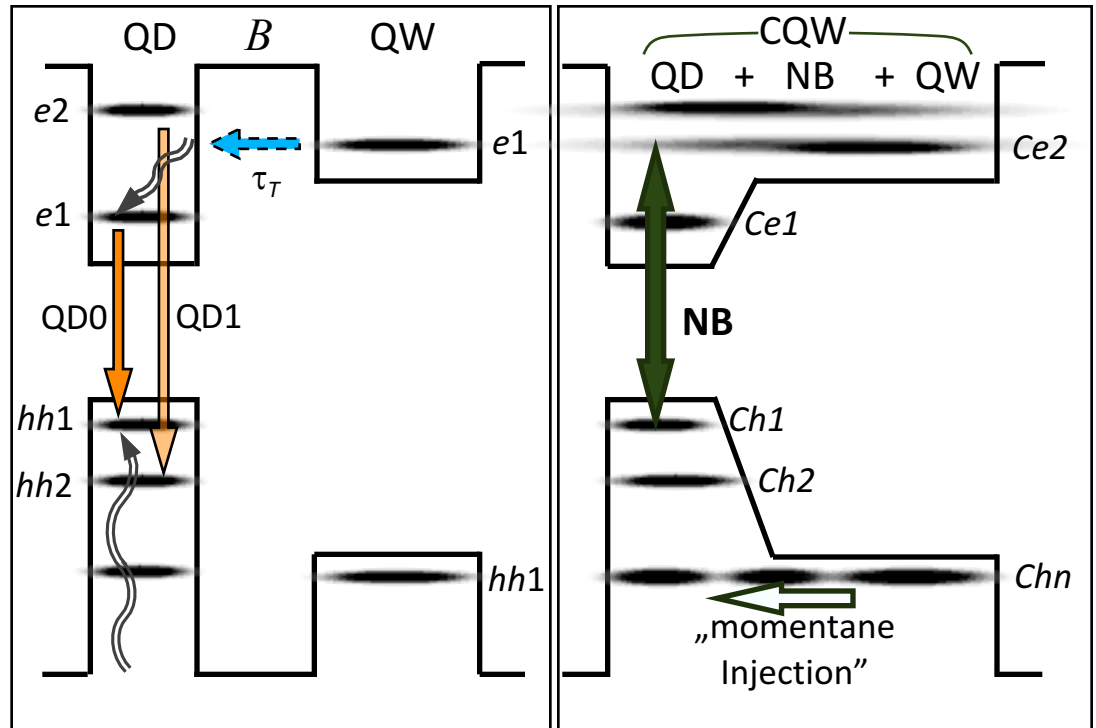
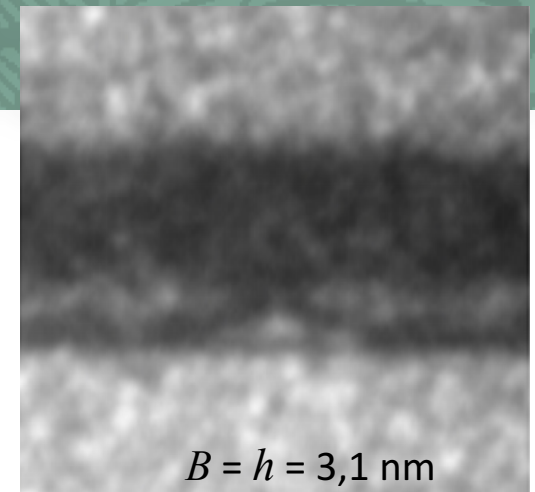
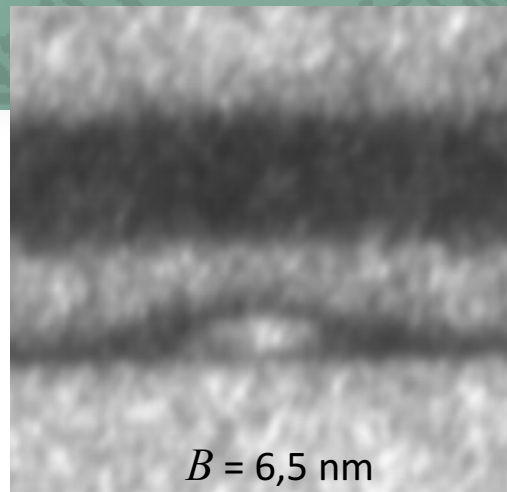
Höhe, $h < 5 \text{ nm}$

Gradient im In-Gehalt

In-Gradient



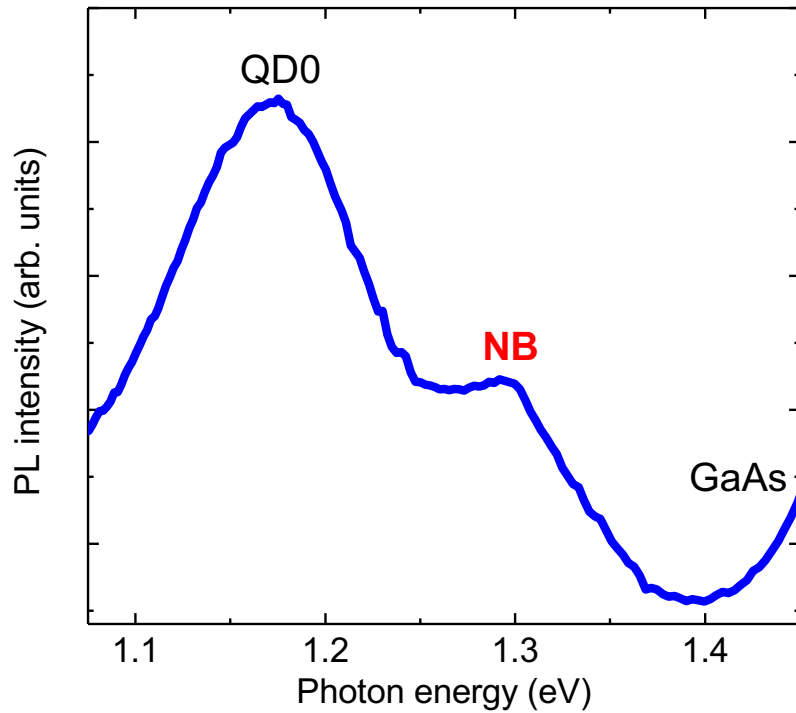
Bandstruktur



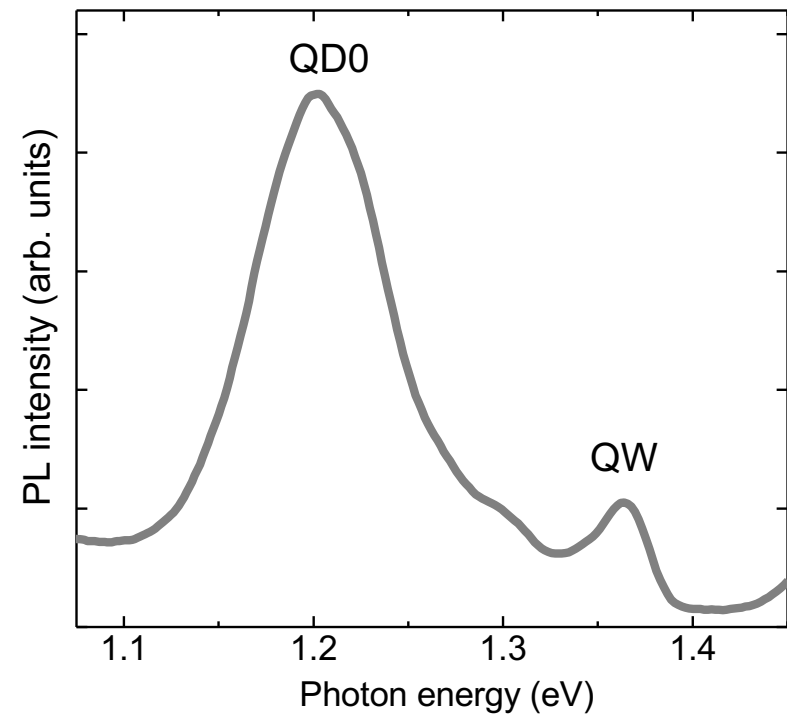
VG Talalaev *et al*
 Appl Phys Lett **93** 031105 (2008)
 doi 10.1063/1.2963973

Photolumineszenz

Spektrum TIN mit Nanobrücken



Referenz-TIN ohne Nanobrücken



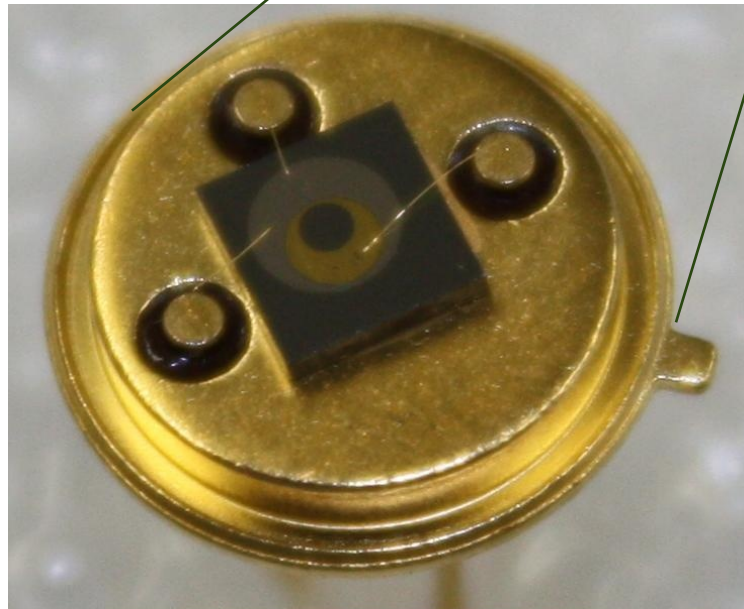
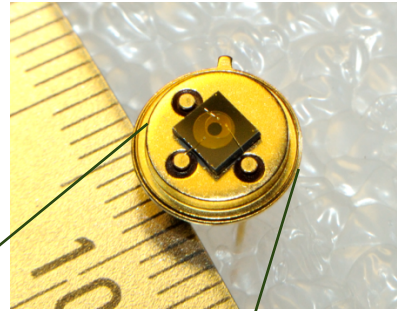
PL @ 10 K, Anregung: 488 nm, 0,05 W/cm²

VG Talalaev et al
Semicond. **48** 1178 (2014) doi
10.1134/S1063782614090218

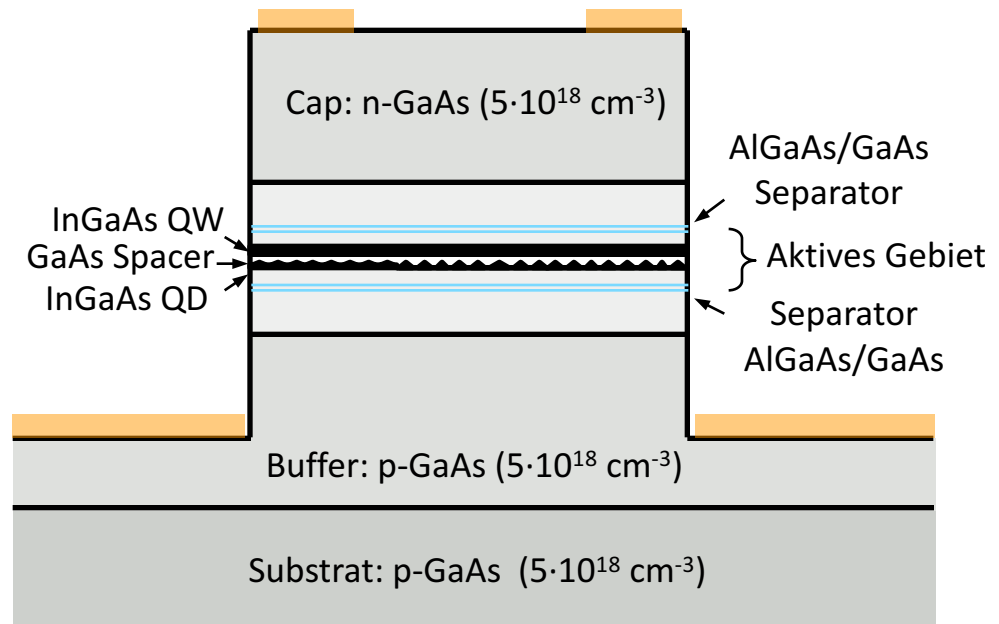
LED-Fabrikation

VG Talalaev *et al*
Semicond **49** 1483 (2014) doi
10.1134/S1063782615110214

Leuchtdiode

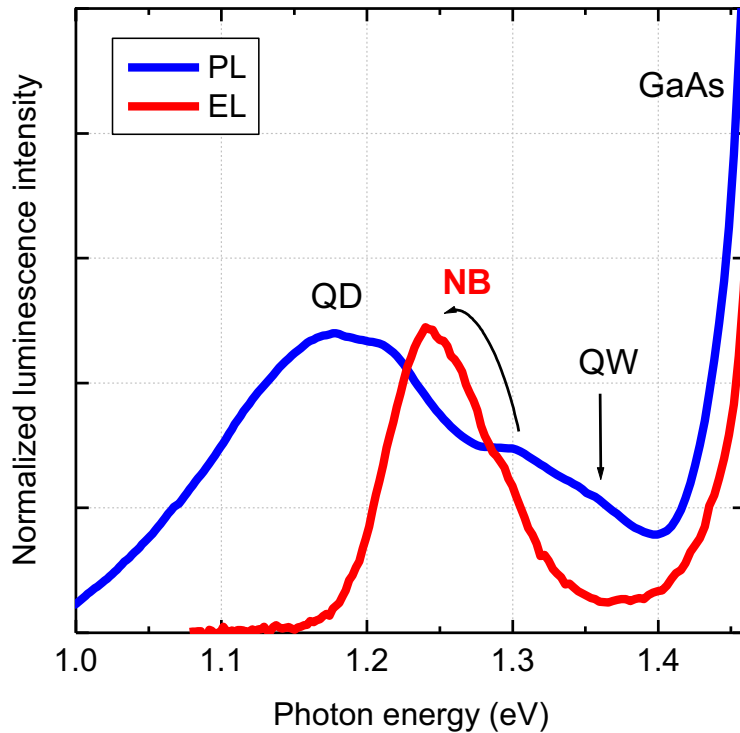


Profil einer Mesastruktur



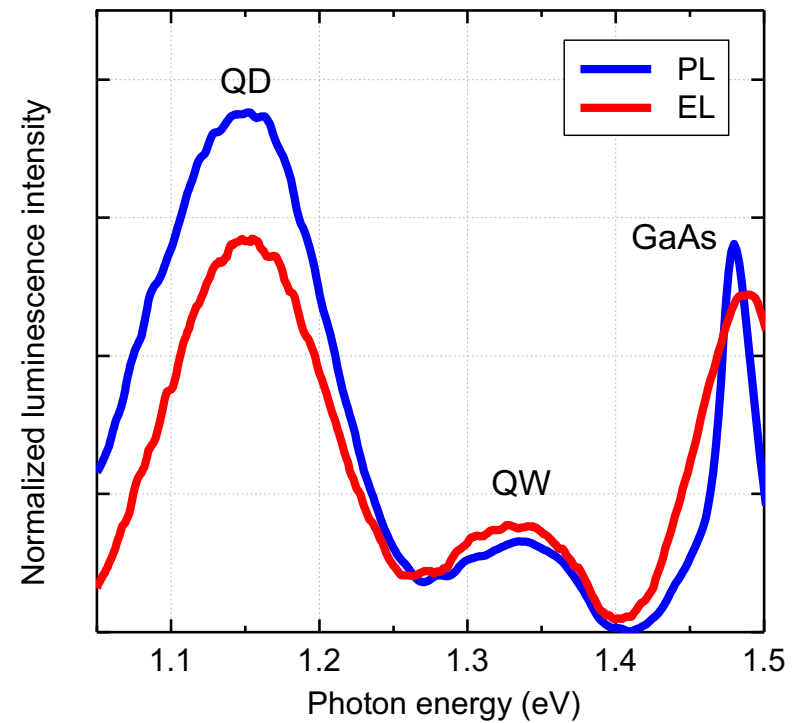
Elektrolumineszenz

Spektrum TIN mit Nanobrücken



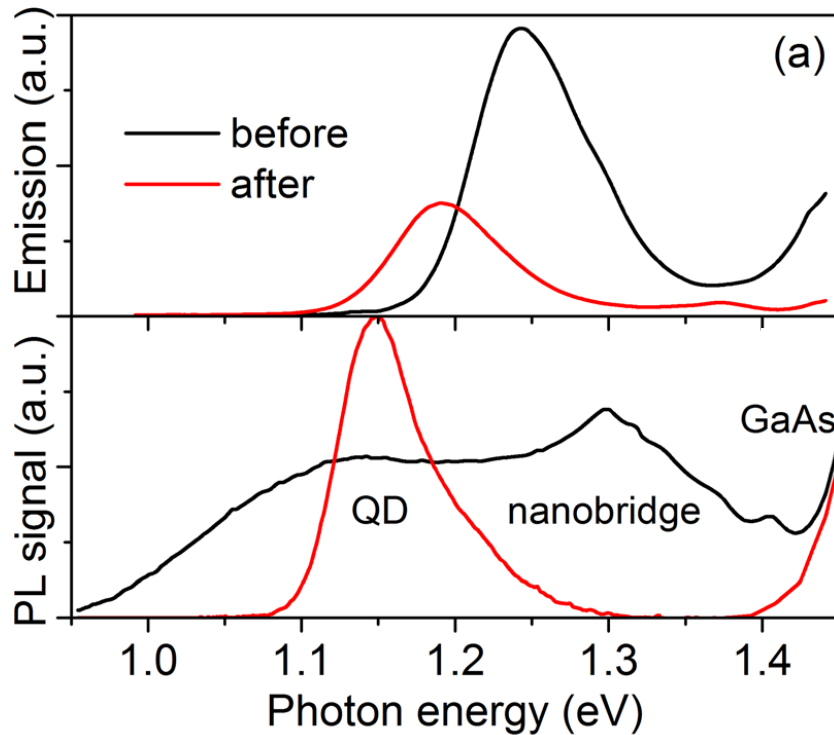
PL: Anregung 488 nm, 15 W/cm²
EL: Anregung 80 mA, 15 W/cm²

Referenz-TIN ohne Nanobrücken

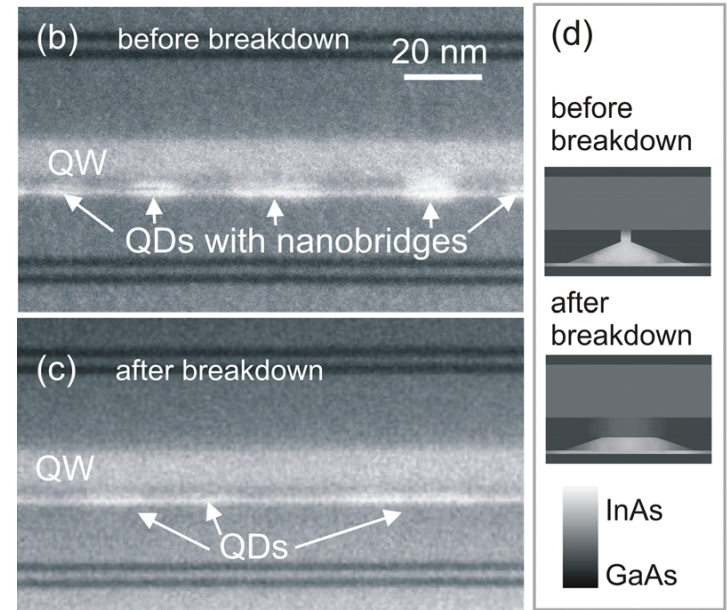


PL: Anregung 488 nm, 5 W/cm²
EL: Anregung 60 mA, 30 W/cm²

Degradation der Nanobrücken



(a) Elektro- und Photolumineszenz vor und nach thermischer Manipulation der Nanobrücken



(b-d) strominduzierte Änderungen im TEM-Querschnitt

Zusammenfassung

- ❖ MBE erlaubt reproduzierbare Fabrikation von InGaAs-Tunnelinjektionsnanostrukturen
- ❖ strukturelle/chemische Untersuchung durch analytischer Elektronenmikroskopie
- ❖ Analyse des Ladungsträgertransports und der -relaxation mittels PL-Spektroskopie
- ❖ „positives“ Degradationsverhalten mit Wiederherstellung der Tunnelbarrieren beobachtet



S. Rodt, D. Bimberg: Quantenpunkte: Design-Atome in Halbleitern.
www.weltderphysik.de/gebiet/technik/quanten-technik/halbleiter-quantenpunkte (2009)