

Berichte aus der Halbleitertechnik

**Joachim Horn**

**Lumineszenzuntersuchungen an  
Verbindungshalbleitern nach Anregung mit  
einem Rastertunnelmikroskop**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

**Shaker Verlag  
Aachen 1998**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Physikalische Grundlagen des Rastertunnelmikroskops .....</b>	<b>5</b>
2.1	Tunneleffekt	5
2.1.1	Grundlagen	5
2.1.2	Prinzipielles Vorgehen zur Berechnung des Tunnelstroms	8
2.1.3	Tunneln zwischen zwei Metallelektroden	10
2.1.4	Tunneln zwischen Metallsonde und Halbleiter	10
2.2	Funktionsweise eines Rastertunnelmikroskops	11
<b>3.</b>	<b>Grundlagen zur Anregung von Lumineszenz aus Halbleitern mit .....</b>	<b>14</b>
	<b>einem Rastertunnelmikroskop</b>	
3.1	Rekombinationsmechanismen	14
3.2	Zeitlicher Ablauf von Rekombinationsprozessen	17
3.3	Diffusion der Minoritätsladungsträger	22
3.4	Mechanismen zur Anregung von Lumineszenz mit dem Rastertunnelmikroskop	26
3.4.1	Erzeugung von Elektron-Loch-Paaren im Feldemissionsmodus	27
3.4.2	Injektion von Minoritätsladungsträgern im Tunnelmodus	28
3.5	Verlustmechanismen	29
3.5.1	Verluste in der Probe	30
3.5.2	Verluste im Detektionssystem	33
3.6	Quantitativer Ansatz zur Beschreibung der Minoritätsladungsträger- injektion in den Halbleiter über die Tunnelspitze	34
3.6.1	Injektion von Elektronen in p-dotierte Halbleiter	34
3.6.2	Injektion von Löchern in n-dotierte Halbleiter	36

<b>4.</b>	<b>Experimenteller Aufbau .....</b>	<b>42</b>
4.1	Das realisierte Rastertunnelmikroskop	42
4.1.1	Mechanischer Aufbau	42
4.1.2	Elektronik	44
4.1.3	Software	45
4.1.4	Herstellung von Tunnelspitzen	49
4.1.5	Testmessungen	51
4.2	Das Rastertunnelmikroskop für Lumineszenzexperimente	53
4.2.1	Kollektion und Detektion der emittierten Photonen	53
4.2.2	Meßanordnung zur simultanen Messung der Oberflächen- topographie und der integralen Lumineszenz	57
4.2.3	Meßanordnung für spektral aufgelöste Lumineszenz	59
4.2.4	Meßtechniken zur Bestimmung von Minoritätsladungsträger- lebensdauern in Halbleitermaterialien	60
4.2.5	Meßanordnung für Lebensdauermessungen mit einem Rastertunnelmikroskop	61
4.2.6	Statistische Grundlagen der Methode der zeitkorrelierten Einzelphotonenzählung	64
<b>5.</b>	<b>Experimentelle Ergebnisse zu Lumineszenzmessungen auf III-V Halbleitern</b>	<b>66</b>
5.1	Abhängigkeit der Lumineszenz von Tunnelstrom und Tunnelspannung	66
5.1.1	Abhängigkeit der Lumineszenzintensität vom Tunnelstrom	66
5.1.2	Abhängigkeit der Lumineszenzintensität von der Tunnelspannung	67
5.1.3	Quantenausbeute	68
5.2	Oberflächentopographie und integrale Lumineszenz	70
5.2.1	Untersuchung von GaAs-Oberflächen nach Politur mit Diamantpaste	70
5.2.2	Untersuchung von GaAs-Oberflächen nach Argon-Plasma- Einwirkung	74
5.2.3	Einfluß von Spannungsimpulsen	81
5.2.4	Querschnittsuntersuchungen an einer pn-GaAs-Gitterstruktur	83
5.3	Spektral aufgelöste STL	93

5.4	Zeitaufgelöste Lumineszenz zur Messung von Minoritätsladungsträgerlebensdauern	96
5.4.1	Einführung	96
5.4.2	Lebensdauermessungen	97
5.5	STM-Messungen auf GaN	103
5.6	Vergleich des STL-Verfahrens mit Photo- und Kathodolumineszenz	107
6.	<b>Lithografie mit dem Rastertunnelmikroskop .....</b>	<b>111</b>
6.1	Motivation für STM-Lithografie	111
6.2	Experimentelle Ergebnisse	112
6.3	Ausblick	116
7.	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>117</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>120</b>