

Optisches Pumpen und Spektroskopie von Halbleitermikrokavitäten (OS)

Inhaltsverzeichnis

1. Zielsetzung
2. Experimenteller Aufbau
3. Probenaufbau
4. Versuchsdurchführung
5. Versuchsvorbereitung
6. Software

1. Zielsetzung des Versuchs

Das Ziel des Versuches ist es, die Grundlagen der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischen Wellen und Materieanregungen und somit die Physik der Polaritonen kennenzulernen und zu verstehen. Dabei sollen grundlegende Eigenschaften von Exziton-Polaritonen, die durch optisches Pumpen in einer Halbleitermikrokavität generiert werden, untersucht und analysiert werden.

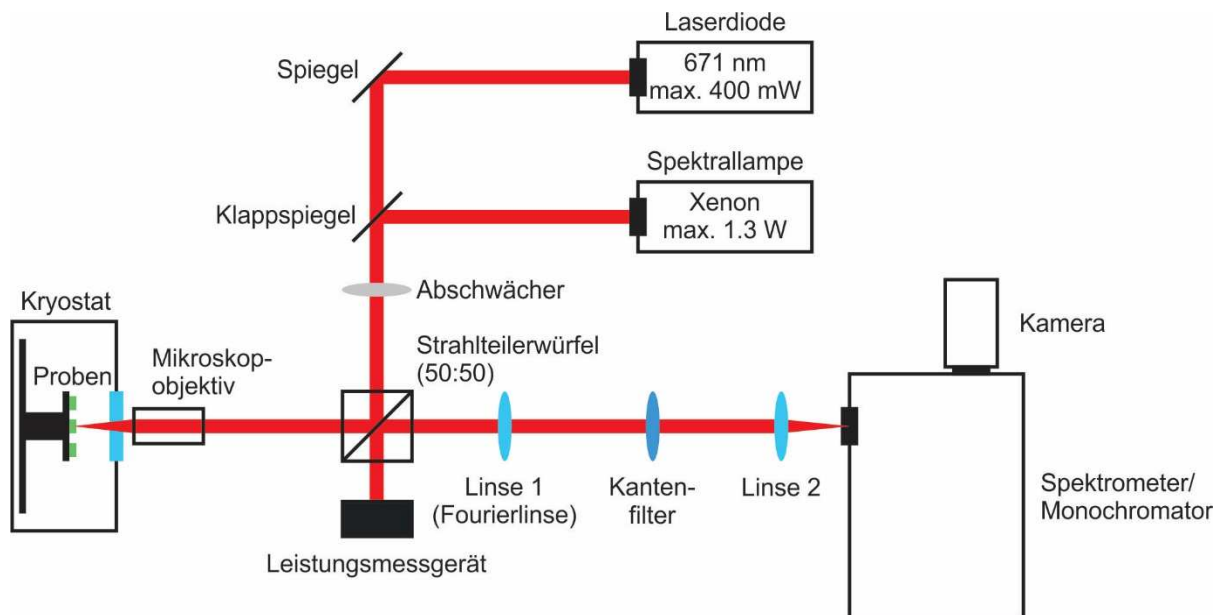


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Praktikumsversuchs.

2. Experimenteller Aufbau

Der Messplatz ist mit einem Diodenlaser ausgestattet, welcher im Dauerstrichmodus bei einer festen Wellenlänge von 671 nm mit einer regelbaren Laserausgangsleistung (bis maximal 400 mW) emittiert. **Aufgrund der hohen Ausgangsleistung ist während des gesamten Praktikumsversuches eine Schutzbrille zu tragen (liegt am Messplatz aus)!** Außerdem steht eine Halogenspektrallampe zur Verfügung. Die gerichtete Emission von Anregungslaser und

Spektrallampe wird über Spiegel auf einen 50:50-Strahlteilerwürfel abgelenkt. Der gerade durch den Würfel transmittierte Teil des Lichts kann zur Leistungsmessung verwendet werden, wohingegen der abgelenkte Teil des Lichts auf die Halbleitermikrokavität durch ein Mikroskopobjektiv fokussiert wird. Die Mikrokavität befindet sich in einem Kryostaten, dessen Temperatur mittels Durchfluss von flüssigem Helium auf 4K abgesenkt werden kann. Das von der Mikrokavität ausgesandte oder reflektierte Licht soll durch das gleiche Mikroskopobjektiv eingesammelt werden, gerade durch den Strahlteilerwürfel hindurchgehen und auf den Eingangsspalt eines Monochromators abgebildet werden. Am hinteren Ausgang des Monochromators befindet sich eine peltier-gekühlte CCD-Kamera mit einem zweidimensionalen Chip, um die Probenemission zu detektieren. Zwischen Mikroskopobjektiv und Monochromator befindet sich zusätzlich ein 4f-Aufbau aus Linsen, um sowohl das Real- als auch das Fourierbild der Probe auf dem Detektor abzubilden (siehe Abbildung 2).

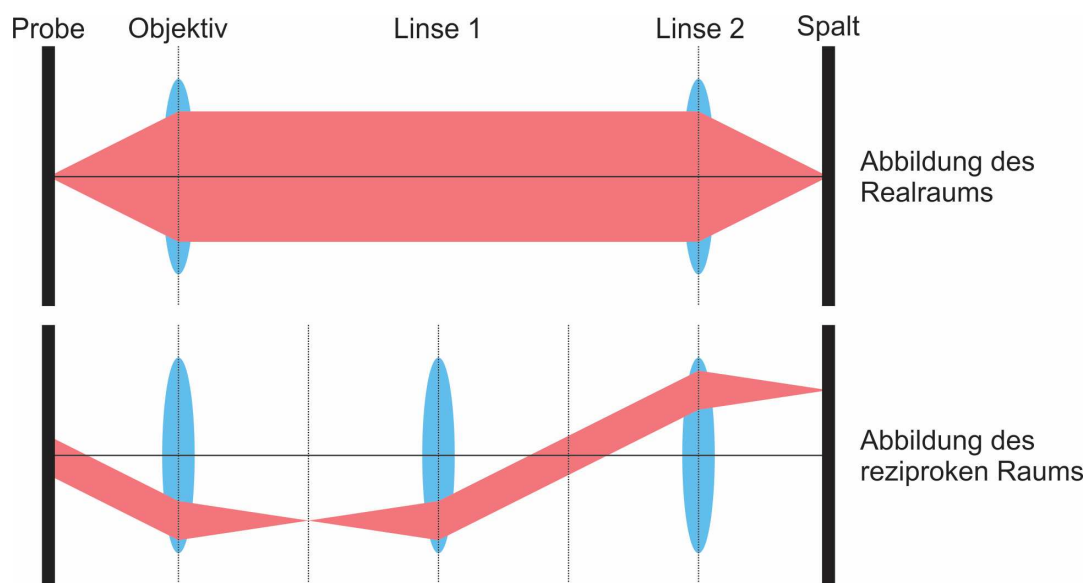


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Strahlengangs zur Abbildung des realen (oben) und reziproken (unten) Raums der Probe auf dem Eingangsspalt des Spektrometers.

3. Probenaufbau

Im Versuch soll eine Radialstreifenprobe untersucht werden, deren Schichtaufbau schematisch in Abbildung 3 gezeigt ist. Die Probe wurde mittels Molekularstrahlepitaxie am Lehrstuhl für Technische Physik der Universität Würzburg hergestellt. Die aktive Schicht umgebenen Bragg-Spiegel bestehen aus $\text{AlAs}/\text{Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$ -Schichtpaaren mit einer optischen Dicke von $\lambda_{\text{zentral}}/4$. Der untere Spiegel setzt sich aus 33,5 Schichtpaaren, der obere Spiegel aus 27 Schichtpaaren zusammen, um einerseits einen hohen Lichteinschluss, andererseits eine effiziente Probenemission durch den oberen Spiegel zu gewährleisten. Die Quantenfilme, bestehend aus $\text{In}_{0,04}\text{Ga}_{0,96}\text{As}$, sind in ein Barrierenmaterial (GaAs) eingebettet und besitzen eine Quantenfilmbreite von wenigen Nanometern.

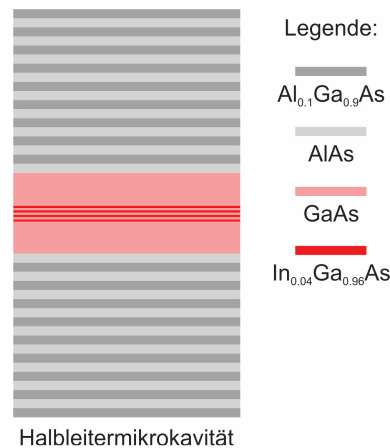


Abbildung 3: Schematischer Aufbau der im Versuch untersuchten Halbleiterprobe (Radialstreifen).

4. Versuchsdurchführung

Vorbereitung

- A) Kühlen Sie die im Kryostaten eingebaute Probe auf eine Temperatur von ca. 10-15 K herunter.

Auflösungsvermögen

- B) Bestimmen Sie während des Kühlvorgangs das Auflösungsvermögen des Spektrometers mithilfe einer Krypton-Spektrallampe für die drei verfügbaren Gitter des Monochromators (150, 300 und 1200 Striche), indem Sie das Spektrum der Lampe für verschiedene Spaltbreiten (2500, 1500, 1000, 500, 250, 100, 50, 25, und 10 μm) aufnehmen. Bestimmen Sie daraus die maximal auflösbaren Qualitätsfaktoren. Überprüfen Sie ebenfalls die spektrale Lage der Maxima.

Ungekoppelte Oszillatoren

- C) Nehmen Sie das Reflektionsspektrum der Radialstreifens auf für eine große Verstimmung zwischen Photon- und Exzitonmode. Bestimmen Sie daraus den Qualitätsfaktor der photonischen Resonanz. Entscheiden Sie anschließend, welche Messeinstellungen (Gitter, Spaltbreite) Sie für die restlichen Messreihen verwenden wollen.
- D) Nehmen Sie das Emissionsspektrum des Radialstreifens am selben Ort auf und bestimmen Sie daraus die Emissionswellenlänge des Quantenfilm-Exzitons und seine Halbwertsbreite.
- E) Bestimmen Sie mithilfe der gemessenen Werte die Dicke der Quantenfilme. Entnehmen Sie die zur Berechnung fehlenden Parameter der Publikation Vurgaftman et al. - „Band parameters for III-V compound semiconductors and their alloys“.

Gekoppelte Oszillatoren

- F) Nehmen Sie winkelaufgelöste Reflektions- und Emissionsspektrum des Radialstreifens für eine kleine Verstimmung zwischen Photon- und Exzitonmode auf. Passen Sie die gemessenen Spektren mithilfe einer gekoppelten Oszillatormatrix an. Bestimmen Sie aus der Anpassung die Kopplungsstärke zwischen Quantenfilm-Exziton und Kavitätsphoton sowie deren spektrale Verstimmung.

- G) Berechnen Sie die Hopfield-Koeffizienten aus den unter F) bestimmten Werten in Abhängigkeit des Messwinkels.
- H) Wiederholen Sie die Punkte F) und G) für zwei weitere Verstimmungen zwischen Quantenfilm-Exziton und Kavitätsphoton.

5. Versuchsvorbereitung

Themenbereiche

Abbildung des Real- und Imaginärteils eines Gegenstands
 Gitterspektrometer, Auflösungsvermögen
 Bragg-Spiegel, Stoppbande, Zentralwellenlänge, Mikrokavität
 Niedrigdimensionale Quantensysteme, Quantenfilme, Exzitonen
 Starke Licht-Materiewechselwirkung, Exziton-Polaritonen, gekoppelte Oszillatormatrix, Hopfield-Koeffizienten

Literaturempfehlung

Demtröder - Experimentalphysik 2 (Springer, 2013)
 Kavokin, Baumberg – Microcavities (Oxford University Press, 2011)
 Kavokin, Malpuech - Cavity Polaritons (Elsevier, 2003)

6. Software

ANDOR Solis

