

# Antonia Jaye

## Darstellung der Forschungsaktivitäten

Im Rahmen dieser Arbeit wurden experimentelle Anordnungen zur Messung des Vier-Wellen-Misch-Signals sowie der zeitaufgelösten Reflektivität von Halbleitern und Halbleiter-Heterostrukturen im fs-Bereich aufgebaut.

### Vier-Wellen-Mischen

Es wurden Vier-Wellen-Misch-Signale an GaAs und LT-GaAs-Proben gemessen um damit die Empfindlichkeit des Experiments zu charakterisieren und zu optimieren. Zur Zeit werden erste Messungen an einer GaAs-basierten Microcavity durchgeführt. Diese Halbleiter-Heterostrukturen entsprechen Fabry-Perot-Resonatoren auf nm-Skala, und sind zum einen von fundamentalem Interesse zum Verständnis der Licht-Materie-Wechselwirkung, andererseits jedoch auch von technologischem Interesse zur Entwicklung von Halbleiterlasern mit extrem niedriger Laserschwelle und hoher Kontrolle der Emissionswellenlänge. Spezielle Aufmerksamkeit gebührt bei der Untersuchung dieser Strukturen dem kohärenten Energietransfer zwischen den elektronischen und photonischen Subsystemen im starken Kopplungsregime. Dabei soll im vorliegenden Experiment – wie weiter unten beschrieben – die nichtlineare Polarisation zur Unterscheidung dieser gekoppelten Elektron-Photon-Zustände von rein elektronischen Multi-Level-Systemen genutzt werden.

Das Prinzip dieser nichtlinear-optischen Methode beruht darauf, daß zwei (oder mehr) zeitlich zueinander verzögerte Laserpulse vergleichbarer (hoher) Intensität auf die Probe auftreffen. Diese Lichtwellen induzieren in der Probe eine makroskopische Polarisation mit nichtlinearem Anteil, die nun ihrerseits wieder zur Erzeugung einer neuen Lichtwelle, des Vier-Wellen-Misch-Signals führt. Die Richtung dieser Lichtwelle unterscheidet sich in der Regel von denen der einfallenden Strahlen, so daß diese Technik weitgehend untergrundfrei ist.

Das zeitliche Verhalten der nichtlinearen Polarisation kann sich von dem des linearen Polarisationsanteils drastisch unterscheiden, so daß diese Methode häufig eine Unterscheidung zugrundeliegender physikalischer Prozesse erlaubt, die mit linearen optischen Methoden nicht möglich ist. Zum Beispiel ist das Zeitverhalten der linearen Polarisation eines gekoppelten 3-Level-Systems von einem ungekoppelten 2x2-Level-Systems nicht zu unterscheiden, das der nichtlinearen Polarisation jedoch sehr wohl (s. M. Koch, Festkörperprobleme/Advances in Solid State Physics, Vol. 37, Seiten 169 ff, 1998).

### Zeitaufgelöste Reflektivitätsmessungen

Es wurden Messungen zur Ladungsträger-Lebensdauer an Low-Temperature-Grown Gallium-Arsenid (LT-GaAs) und an high-quality GaAs durchgeführt. Als LT-GaAs bezeichnet

man GaAs, das bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen von etwa 200°-300° C in der MBE aufgewachsen wurde. Diese Materialien zeichnen sich durch kurze Rekombinationszeiten und hohe Beweglichkeit der Ladungsträger aus und sind daher u.a. von Interesse als THz-Emitter. Die untersuchten LT-GaAs-Proben stammen aus dem Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg und vom Institute of Industrial Sciences der Tokyo University, Japan. Die Wachstumstemperatur des LT-GaAs wurde zwischen 175 °C und 250 °C variiert. Die aus den gemessenen Reflektionstransienten bestimmten Ladungsträgerlebensdauern entsprechen den bisher aus der Literatur bekannten Werten (siehe z.B. Gupta et al., IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 28, No. 10, 1992, Seiten 2464 ff) und dokumentieren damit die Qualität des Materials. Im Mittelpunkt der Experimente steht jetzt die bisher wenig untersuchte Temperaturabhängigkeit der Ladungsträgerlebensdauer, mit dem Ziel ein besseres Verständnis des Rekombinationsmechanismus zu erreichen.

Das Prinzip der Meßmethode ist die Bestrahlung und dadurch Anregung der Probe (z. B. durch die Erzeugung freier Ladungsträger) durch einen intensiven Pumpstrahl, und die Detektion seiner Reflektivität durch einen wesentlich schwächeren Probestrahl. Das reflektierte Signal ist abhängig von der zeitlichen Verzögerung zwischen Pump- und Probestrahl, da sich das Reflektionsvermögen der Probe entsprechend der charakteristischen Lebensdauer der betreffenden Anregung ändert.

Als Lichtquelle dient für beide Experimente ein Ti:Saphir Laser, gepumpt durch einen Festkörperlaser (Spectra Physics). Dieses System liefert sech<sup>2</sup>-Pulse mit einer Dauer von 50-150 fs (volle Halbwertsbreite) und einer Repetitionsrate von 82 MHz. Die spektrale Bandbreite  $\Delta\nu$  reicht von 2 bis 6 THz (volle Halbwertsbreite), mit einer verstimmbaren zentralen Frequenz  $\nu_0 = 350\text{-}410$  THz ( $\Delta\lambda=5\text{-}15$  nm mit  $\lambda_0=720\text{-}850$  nm).

Um die aktuelle Laserpulsdauer zu bestimmen wurde außerdem ein Autokorrelator gebaut, basierend auf der Zwei-Photonen-Absorption in einer GaAsP-Diode. Mit diesem Autokorrelator können sowohl Intensitäts-Autokorrelationen als auch interferometrische Autokorrelationen gemessen werden.

Die beiden Pulse werden durch einen Strahlteiler im Laserstrahl erzeugt, von denen einer durch eine variable, motorisierte Verzögerungsstrecke (Auflösung  $< 0.1$   $\mu\text{m}$ , bzw.  $< 0.7$  fs) die Probe zu dem gewählten, in Bezug auf den ersten Strahl verzögerten, Zeitpunkt erreicht.

Der Nachweis und die Verstärkung des Signals erfolgt über Photodioden in Lock-In-Technik mit Hilfe eines optischen Choppers.

Die Temperatur der zu untersuchenden Probe kann in einem He-Durchflußkryostat von Raumtemperatur bis auf einige Kelvin variiert werden.

## Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedern des Graduiertenkollegs

- *David Endler* stellt die zu untersuchenden Microcavities her.
- Gemeinsam mit *Maxim Khazan* erfolgt die Betreuung und Pflege des Labors zur Femtosekunden-Spektroskopie.
- *Dr. Lucia Rolf* führte im Rahmen ihrer Promotion Reflexionsmessungen und Raman-Spektroskopie an den Microcavities durch.
- *Dr. Christian Schüller* ist Diskussionspartner für spektroskopische Untersuchungen von Halbleitern mit der Vier-Wellen-Misch-Methode.

- *Dr. Ingrid Wilke* ist Diskussionspartnerin für spektroskopische Untersuchungen von Halbleitern mit den Methoden Vier-Wellen-Mischen und Zeitaufgelöste Reflektivitätsmessungen.

## Ausblick

Der nächste Schritt zur Verbesserung des experimentellen Aufbaus ist der Einsatz einer zweiten Verzögerungsstrecke, um damit das Signal mit einem dritten Strahl zeitlich abzutasten (zeitaufgelöstes Vier-Wellen-Mischen).

## Publikationen

Angehörige und Gäste des Graduiertenkollegs sind unterstrichen

- [1] A. Jaye, T. Korn und I. Wilke: *Experimental arrangement for optical experiments with femtosecond laserpulses*, Technical Digest of the First International Conference on Laser Optics for Young Scientists, St. Petersburg, Russland, Seite 10 (2000).

## Teilnahme an Tagungen

- „fs und neV: Dynamik in kondensierter Materie“. 31. Ferienkurs des Instituts für Festkörperforschung 2000, Forschungszentrum Jülich, März 2000.
- „First International Conference on Laser Optics for Young Scientists“, St. Petersburg, Russland, Juni 2000.

## Forschungsaufenthalte und eingeladene Vorträge

Laborbesichtigung im April 1999 an folgenden niederländischen Instituten mit Erfahrungsaustausch und Diskussion:

- Technical University Eindhoven, Gruppe von Jos Haverkort zum Thema „Vier-Wellen-Mischen an selbstorganisierten Quantendots“
- Utrecht University, Gruppe von Jaap Dijkhuis zum Thema „Femtosekunden-Spektroskopie an niederdimensionalen Strukturen“
- Technical University Delft, Gruppe von Leo Kouwenhoven zum Thema „Leitungs- und Transportphänomene in Quantendots“

## Eigene Vorträge im Rahmen des Graduiertenkollegs

- „Four Wave Mixing with Ultrashort Laserpulses“,  
3. Workshop des Graduiertenkollegs „Physik nanostrukturierter Festkörper“  
in Niederkeez, Mai 1999