

Forschungsprofil

Ein Schwerpunkt unserer Arbeit liegt auf der Simulation neuartiger, innovativer Materialien mittels einer mikroskopischen Vielteilchentheorie auf Basis der Halbleiter-Bloch-Gleichungen. Durch die Beachtung aller relevanten Wechselwirkungen wie zum Beispiel Elektron-Elektron- und Elektron-Phonon-Interaktion erlangt die Theorie einen Vorhersagecharakter. In der Entwicklung neuer Bauelemente können damit einzelne Iterationen durch Simulationen ersetzt beziehungsweise neue Ideen zur Optimierung des entsprechenden Devices entwickelt werden.

Ein weiterer Fokus ist die Simulation von oft kompliziert strukturierten Bauelementen mittels eigener sowie kommerzieller Software. Existierende Modelle werden weiterentwickelt und verbessert sowie Impulse zur Optimierung von Bauelementen gegeben.

Lehrveranstaltungen

- Theoretische Physik I - Mechanik
- Theoretische Physik VI - Ausgewählte Kapitel der theoretischen Physik
- Festkörperoptik - Einführung in die Theorie
- Tutorium für Studierende der Sensorik und kognitiven Psychologie
- Seminar „Topical Problems in Theoretical Physics“

Wissenschaftliche Kollaborationen

- Philipps-Universität Marburg
- Ruhr-Universität Bochum
- The University of Arizona, Arizona Center of Mathematics and Optical Sciences Center, Tucson, Arizona, USA
- Sandia national Laboratories, Albuquerque, New Mexico, USA
- Lakehead University, Thunder Bay, Kanada

Industrielle Kollaborationen

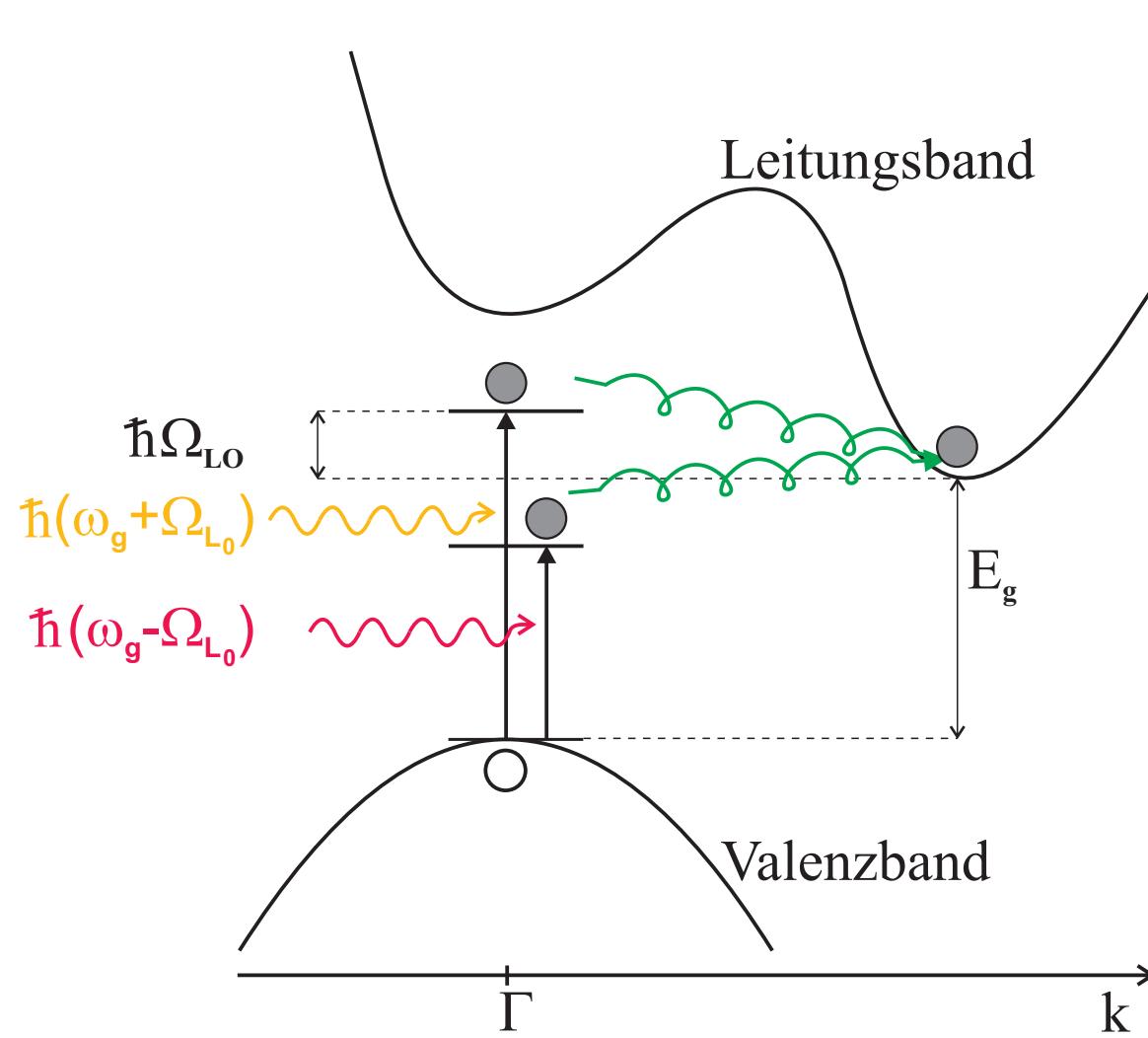
- Osram Opto Semiconductors GmbH, Regensburg

Aktuelle Projekte

Optische Eigenschaften indirekter Halbleiter

Motivation:

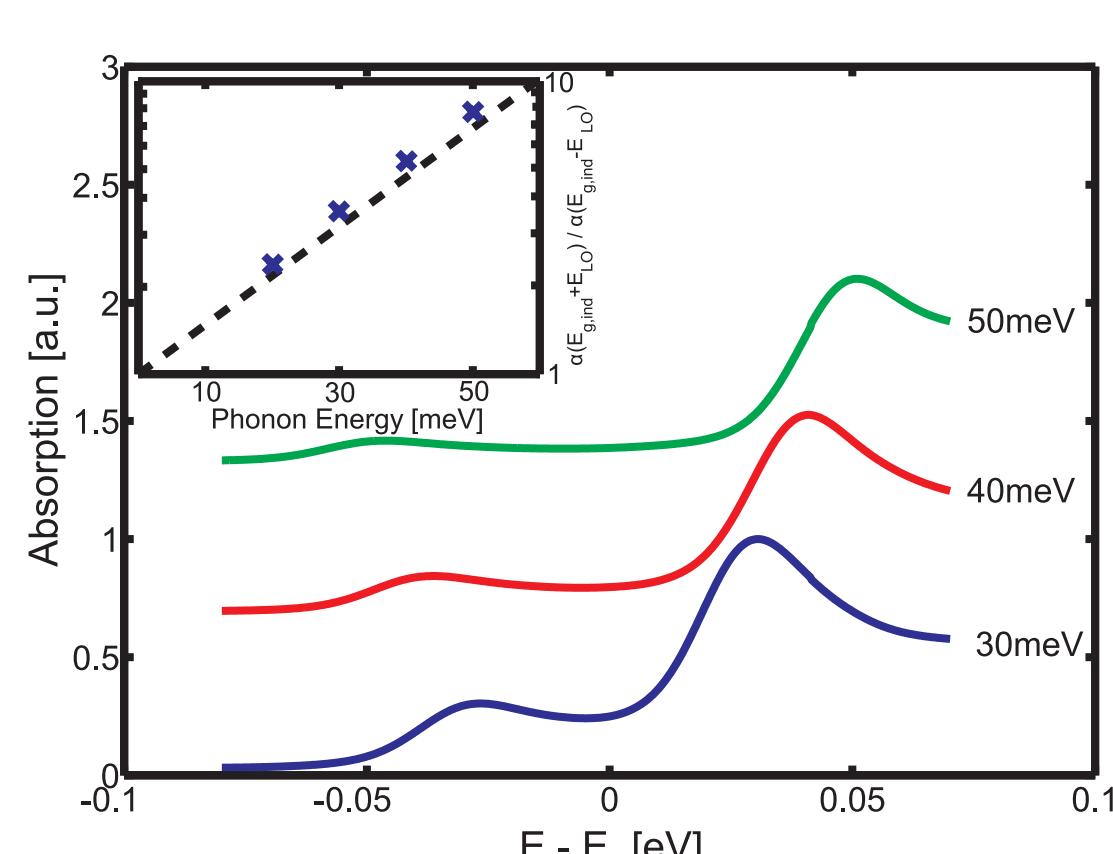
- Silizium als eines der wichtigsten Halbleitermaterialien besitzt eine indirekte Bandlücke \Rightarrow keine optischen Bauelemente
- Silizium ist kostengünstig und in sehr hoher Qualität herstellbar.
- Aufgrund der indirekten Bandlücke sind optische Übergänge nur durch die zusätzliche Erzeugung oder Vernichtung eines Phonons möglich.
- Bisher Simulationen nur anhand von einfachen Modellen



Methode:

- Ziel ist eine mikroskopische Theorie der optischen Eigenschaften von Silizium.
- Optischer Übergang besteht aus der Erzeugung oder Vernichtung eines Elektron-Loch-Paars bei gleichzeitiger Erzeugung oder Vernichtung eines Phonons unter der Absorption oder stimulierten Emission von Licht.
- Es handelt sich hierbei um ein kompliziertes Vielteilchensystem.
- Gleichungen für die Polarisation lassen sich mithilfe eines quantenmechanischen Vielteilchenformalismus auf Basis von Bewegungsgleichungen herleiten.
- Bewegungsgleichungen lassen sich numerisch lösen.

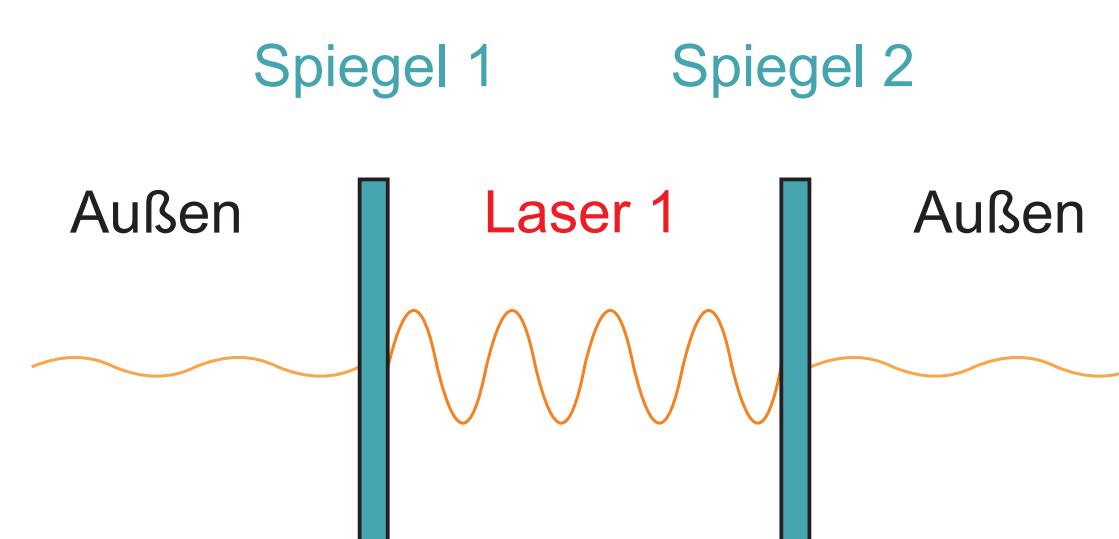
Aktuelle Ergebnisse:



- Abbildung: Absorption an der indirekten Bandlücke für verschiedene Phononenergien
- Man erhält zwei Signaturen, die der Absorption und Emission eines Phonons entsprechen.
- Asymmetrisches Verhältnis zwischen den beiden Übergängen

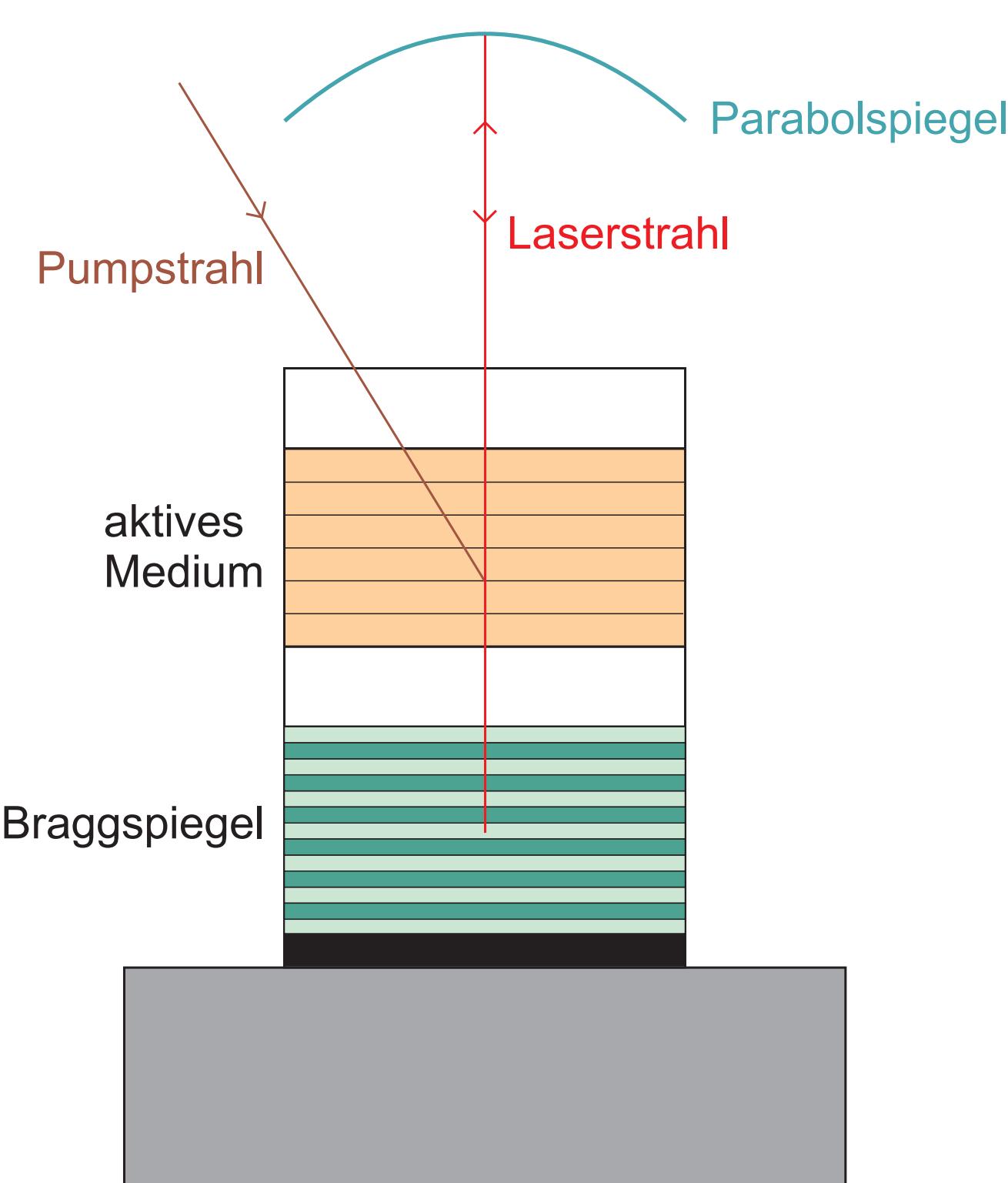
Lasersimulationen

Konsistente Behandlung der Auskopplung in Lasersimulationen



- Traditionell:** Simulation der Auskopplung mit Hilfe einer einfachen Zerfallszeit der Lichtmode, die aus den Spiegelreflektivitäten berechnet werden kann.
- Verbessertes Modell:** Berechnung der Moden der Gesamtstruktur Laser-Luft im Formalismus der Transfomatrixmethode
- Im Gegensatz zur Zerfallszeit auch bei komplizierten Systemen möglich, beispielsweise bei zwei oder mehr wechselwirkenden Lasern.
- Zunächst Vergleich der Ergebnisse des neuen Modells mit denen der traditionellen Rechnung
- Später Betrachtung von Lasersystemen, die auf komplexen photonischen Strukturen beruhen.

Wärmeleitung im Halbleiterscheibenlaser

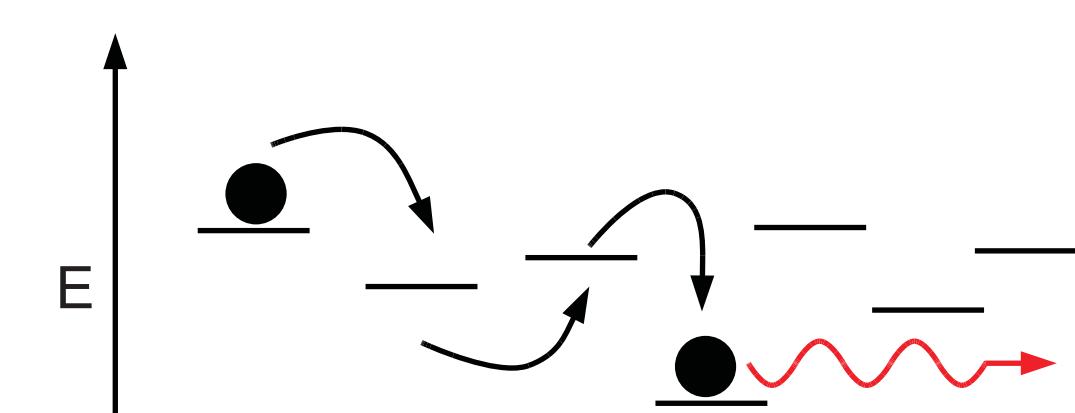


- Halbleiterscheibenlaser oder VECSEL (Vertical External Cavity Surface Emitting Lasers) sind optisch gepumpte Laser, die sich durch hohe Strahlqualität sowie hohe Leistung auszeichnen.
- Leistung limitiert durch Aufheizen des Bauelements \Rightarrow thermisches Überrollen, d.h. Selbstausschaltung
- Simulation der Wärmeleitung im VECSEL mit Hilfe der Software TCAD
- Ziel: Designoptimierung und das Erreichen höherer Leistungen

Photolumineszenz in ungeordneten Materialien

Motivation:

- Perfekte Kristalle gibt es nicht.
- Neuartige Materialien sind anfangs i.d.R. von relativ niedriger Kristallqualität.
- Ihre optischen Eigenschaften sind deshalb häufig unordnungsdominiert.
- Unordnung in Halbleitermaterialien kann zur Ausbildung lokalisierter Störstellen führen.

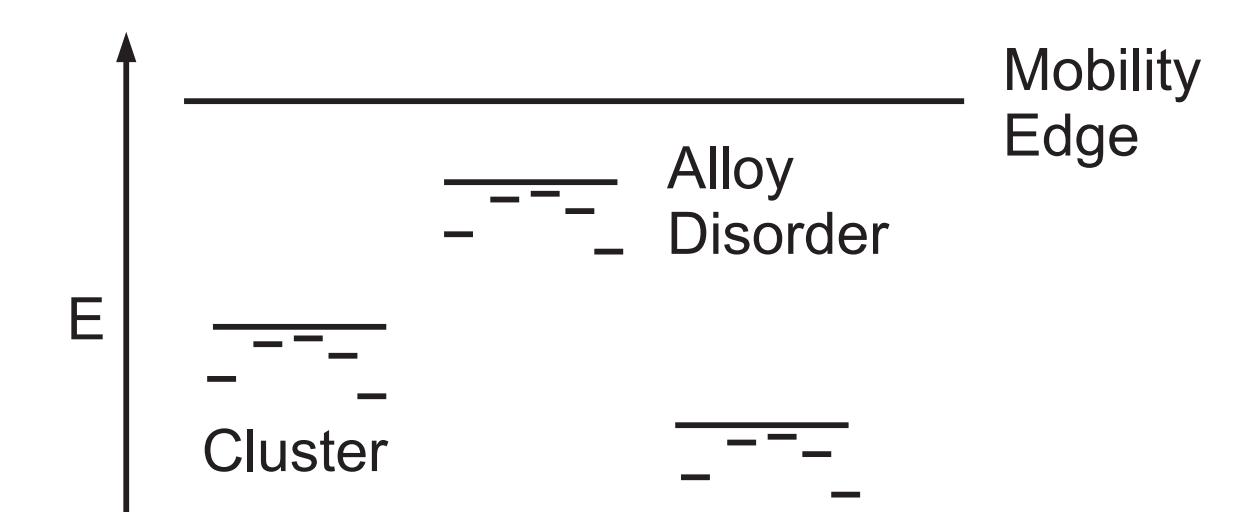


Methode:

- Elektron-Loch-Paare können als Exzitonen betrachtet werden, die über die lokalisierten Störstellen hüpfen.
- Phononassistierter Hüpfprozess
- Zustandsdichte der lokalisierten Störstellen meist exponentiell
- Simulation über kinetischen Monte-Carlo Algorithmus

Beispiel: Anwendung auf Ga(AsBi)

- Bi reduziert die Bandkante von GaAs um 60-80meV pro Prozent Bi.
- Interessante Laseranwendungen, z.B. Telekommunikationswellenlängen
- Temperaturabhängigkeit der PL-Energie beschreibt ein „S“ \Rightarrow klare Unordnungssignatur
- Temperaturabhängige Halbwertsbreite der PL-Spektren hat ein Maximum \Rightarrow Signatur für exponentielle Zustandsdichte



Aktuelle Ergebnisse:

- Theorie und Experiment stimmen nur bei Verwendung von mindestens zwei Unordnungsskalen überein.
- Legierungsunordnung auf relativ großer Längenskala
- Bi-Cluster erzeugen eine zweite Energie- und Längenskala.
- Gute Übereinstimmung von Theorie und Experiment

