

Versuch 2.12

Licht-Halbleiter-Wechselwirkung

Einleitung

Die Licht-Halbleiter Wechselwirkung ist zu einem integralen Bestandteil unserer heutigen Technologie geworden. Vom CCD-Chip einer Digitalkamera, über Bildschirme von Fernsehern und PCs bis hin zu Nachtsichtgeräten und Bewegungsmeldern basieren heute viele Geräte auf optoelektronischen Prinzipien. In diesem Versuch sollen die grundlegenden Aspekte der Licht-Halbleiter Wechselwirkung erlernt und fundamentale Konzepte der Festkörperphysik bestätigt werden. Des Weiteren sollen Sie über die Arbeit mit optomechanischen Komponenten erste Erfahrungen im Handling optischer Aufbauten sammeln.

Dazu werden Sie Experimente an einem Superkontinuums laser durchführen, dessen breitbandiges Spektrum mittels akustooptischer Modulatoren (AOMs) gefiltert werden kann. Der Aufbau ermöglicht es also wellenlängenabhängige Messungen, beispielsweise in Transmission oder in Absorption, durchzuführen.

Ein besonderes Augenmerk soll außerdem auf der eigenständigen Erarbeitung eines Experiments liegen, weswegen Sie ab dem zweiten Teil des Versuchs die Möglichkeit haben ihre eigenen Messung zu erarbeiten und zu realisieren.



Laserstrahlung:

Im Versuch wird ein Superkontinuums laser der Klasse 3B verwendet. Das bedeutet, dass eine direkte Bestrahlung der Augen zu schweren Sehschäden führen kann, weswegen Sie, den gesamten Versuch über, die vorhandenen Laserschutzbrillen tragen sollten.

Voraussetzungen

Zu Beginn des Versuchs sollten Sie mit den folgenden Konzepten vertraut sein:

Bandstrukturen, Fermi-Niveau, Halbleiter, Elektron-Photon bzw. Elektron-Photon-Phonon-Wechselwirkung in Festkörpern, PN-Übergänge, Photodioden, optoelektronische Messung von Licht, Laser, Selbstphasenmodulation, akustooptische Modulatoren, Parabolspiegel.

Literatur

Informationen über die oben genannten Konzepte finden Sie in den folgenden Ressourcen:

- Ergänzungsmaterial zum Versuch (Überblick über alle Aspekte des Versuchs)

- Gross, Marx: Festkörperphysik (Bandstruktur, Halbleiter, PN-Übergang)
- Demtröder: Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper (Laser)
- Boyd: Nonlinear Optics (Selbstphasenmodulation)

Versuchsdurchführung

Der Versuch lässt sich in drei Teile unterteilen:

1. Aufbau des Strahlengangs und Messung von Si:

Im ersten Teil des Versuchs sollen Sie ein Transmissionsspektrum (also die Transmission in Abhängigkeit der Wellenlänge) einer Siliziumprobe aufnehmen. Dazu müssen Sie mit den vorhandenen optischen Komponenten (Spiegel, Flip-Spiegel, Parabolspiegel) einen Strahlengang erzeugen, welcher die aus den Ausgängen der AOMs kommenden Laserstrahlen auf die Si-Probe und anschließend den InGaAs-Detektor lenkt. Sie können dazu den Aufbau in Abb. 1 nachbauen oder sich einen eigenen ausdenken.

Zur Messung des Transmissionsspektrums müssen Sie jeweils ein Spektrum mit und ein Spektrum ohne Si-Probe aufnehmen. Das eigentliche Transmissionsspektrum ergibt sich dann durch die Division des aufgenommenen Spektrums mit Si-Probe durch das Referenzspektrum:

$$T(\lambda) = \frac{I_{\text{Si}}(\lambda)}{I_{\text{Ref}}(\lambda)}.$$

2. Bau und Charakterisierung eines Photodetektors:

Im zweiten Teil des Versuchs sollen Sie aus einer einfachen Photodiode ihren eigenen Photodetektor bauen. Überlegen Sie sich dazu wie eine Photodiode als Detektor verwendet werden kann und welche Messmethoden mit einer Photodiode möglich sind. Zur Verfügung steht Ihnen dabei neben Photodioden verschiedener Wellenlängen und dem zuvor verwendeten Sourcemeter auch eine Source-Measurement-Unit (SMU), mit welcher Sie eine Spannung bzw. einen Strom auf die Photodiode geben können, während die jeweils andere Größe vermessen wird. Auch einige Delay-Stages stehen zur Verfügung, sodass Sie ihre Photodiode mit einer Genauigkeit im μm -Bereich verschieben können.

Sie können bei dieser Aufgabe selbst entscheiden, welche Messungen Sie für sinnvoll erachten und auf welche Weise Sie ihre Photodiode charakterisieren wollen. Wichtig ist nur, dass Sie in der Lage sind die Sinnhaftigkeit ihrer aufgenommenen Messungen zu begründen und die Daten entsprechend auszuwerten. Besprechen Sie sich dazu vor der Durchführung der Messungen mit ihrem Betreuer, um eine realistische und sinnvolle Zielsetzung zu erarbeiten.

Sie können bei diesem Versuchsteil beliebig lange verbleiben, sofern ihnen sinnvolle Messungen einfallen. Es ist keine Voraussetzung zum erfolgreichen Bestehen des Versuchs alle Aufgaben bearbeitet zu haben, stattdessen sollen Sie die Fähigkeit zur eigenständigen Planung, Durchführung und Auswertung von physikalischen Experimenten gewinnen bzw. trainieren.

3. Freier Teil:

Sollten Sie mit den aufgenommenen Daten der vorherigen Aufgaben zufrieden sein und noch Zeit übrig haben, so können Sie in diesem Teil selbst entscheiden, welche weiteren Messungen Sie mit dem vorhandenen Aufbau vornehmen wollen. Hierbei können Sie zum Beispiel weitere Proben auswerten oder versuchen eine Reflexionsmessung durchzuführen. Auch hier gibt es keine Vorgaben bezüglich der durchzuführenden Messungen. Sofern Sie begründen können, warum die von ihnen vorgeschlagene Messung sinnvoll erscheint, können Sie diese, in Absprache mit ihrem Betreuer, durchführen.

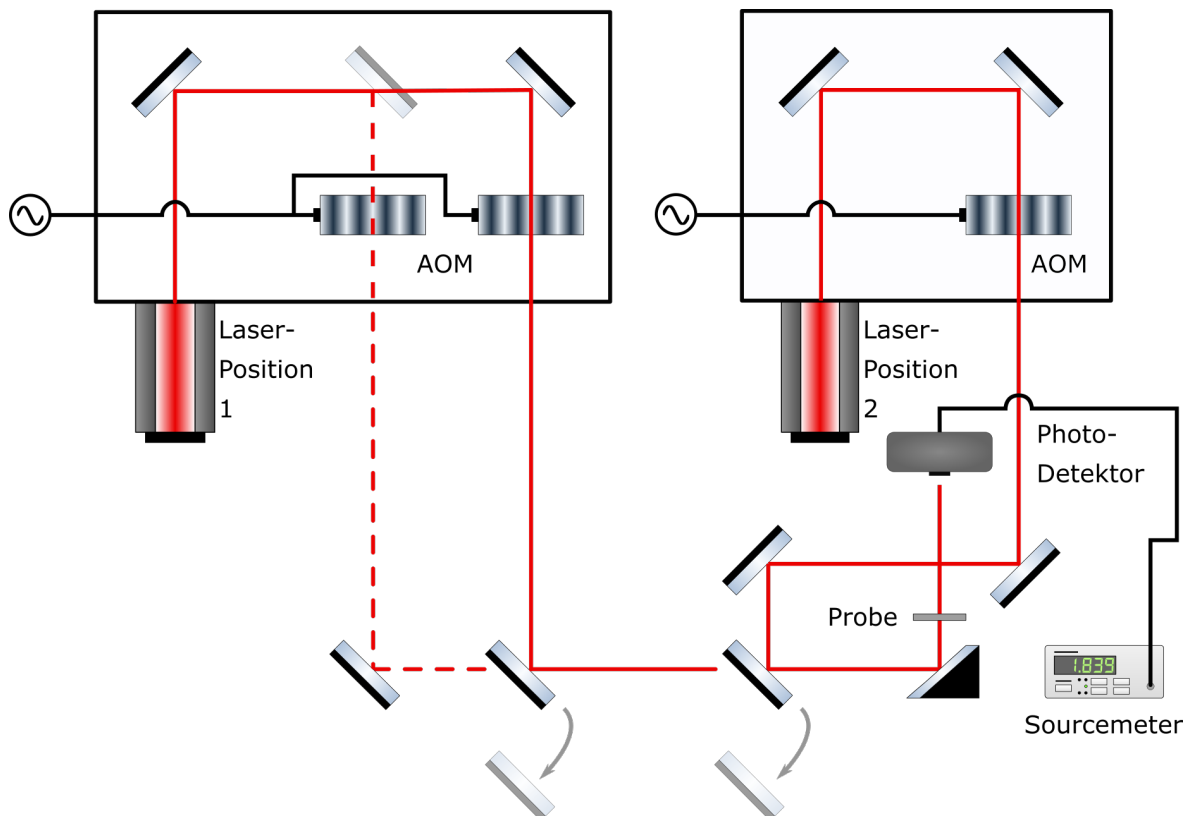


Abb. 1: Schematische Skizze eines Aufbaus zur Transmissionsmessung mit einem Superkontinuums-laser und mehreren AOMs. Für weiterführende Informationen siehe Ergänzungsmaterial zum Versuch.

Fragen zur Selbstkontrolle

1. Was beschreibt die Bandstruktur eines Materials und wie hängt die Bandstruktur mit physikalischen Eigenschaften wie der Leitfähigkeit zusammen?
2. Wie ist ein Halbleiter definiert? Was ist der Unterschied zwischen einem direkten und einem indirekten Halbleiter?
3. Welche Wechselwirkungsmechanismen treten zwischen Elektronen und Photonen in einem Halbleiter auf?
4. Welche zusätzlichen Wechselwirkungsmechanismen treten auf, wenn auch Phononen bei der Wechselwirkung berücksichtigt werden?
5. In der unteren Skizze ist ein Transmissionsspektrum von Silizium (indirekter Halbleiter) aufgetragen. Erklären Sie die wichtigsten Bereiche des Spektrums. (Die Unstetigkeit in der Mitte hat keine physikalische Bedeutung.)

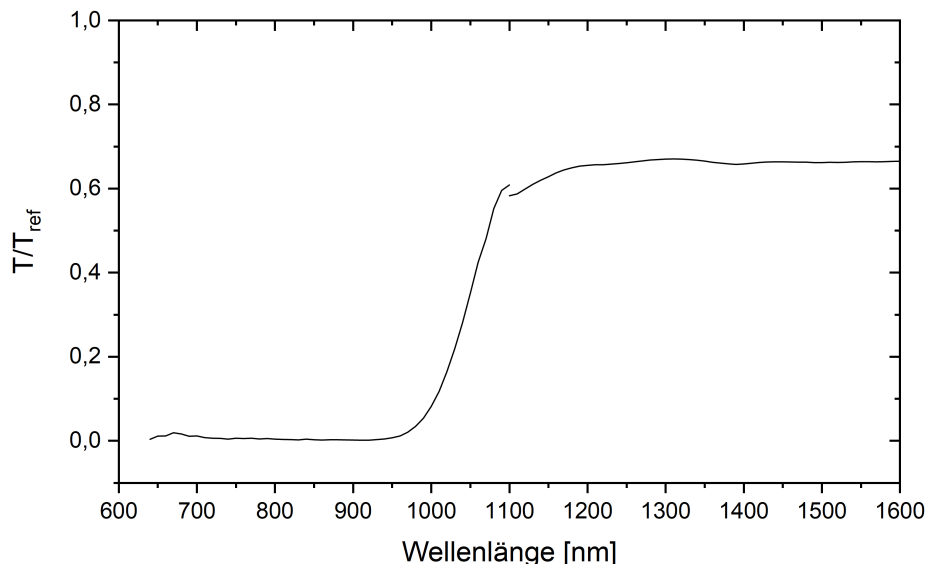


Abb. 2: Transmissionsspektrum von Silizium.

6. Welche Änderungen im Transmissionsspektrum erwarten Sie für einen direkten Halbleiter wie GaAs?
7. Was beschreibt das Fermi-Niveau? Welchen Einfluss hat es auf physikalische Effekte?
8. Wie und warum ändert die Dotierung eines Halbleiters sein Fermi-Niveau?
9. Was sind die Mechanismen die zur Entstehung eines PN-Übergangs führen?
10. Auf welche Arten kann man mit einem PN-Übergang Photonen messen? Welche Vor- und Nachteile haben die einzelnen Methoden?
11. Beschreiben Sie die Kennlinie einer Photodiode. In welchem Bereich kommt es zu einer Emission von Photonen?
12. In der unteren Abbildung sind die Responsivitäten des InGaAs- und des Si-Photodetektors

aufgetragen. Warum sinkt die Responsivität für größere Energien (kleinere Wellenlängen)? Hinweis: Überlegen Sie sich wie die Leistung mit der Photonenzahl verknüpft ist. Wie würde die Kurve aussehen, wenn Sie die Responsivität nicht in A/W sondern in A/N angeben, wobei N die Anzahl der Photonen sei?

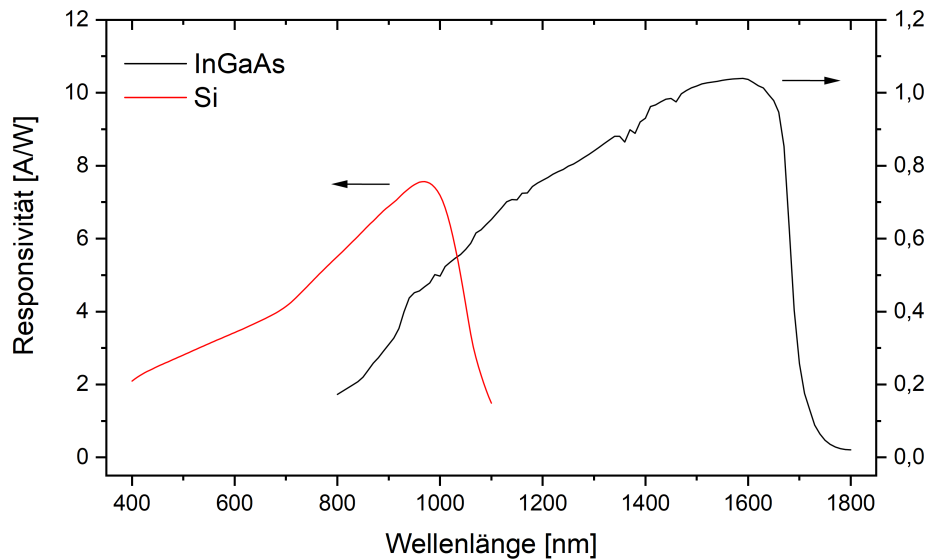


Abb. 3: Responsivitäten der verwendeten Photodetektoren.

13. In der Praxis verwendet man meistens PN-Übergänge zur Messung von Photonen. Wie könnte man Photonen stattdessen mit einem reinen Halbleiter messen?
14. Wie ist der in diesem Versuch verwendete Superkontinuums laser aufgebaut?
15. Zur Änderung der Ausgangsleistung des Superkontinuums lasers ändert man die Wiederholrate des Lasers bei gleichbleibender Intensität. Warum ändert man nicht, wie bei anderen Lasern üblich, die Intensität des Nd:YAG-Lasers bei gleicher Wiederholrate?
16. Wie funktioniert ein akustooptischer Modulator?