

UNIVERSITÄT REGENSBURG

F-PRAKTIKUM

Ultraschnelle Optik



Michael Rößner und Jonas Schambeck

20. Juni 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Vorbereitung	4
2.1	Technische Grundlagen	4
2.1.1	Halbleiter	4
2.1.2	Photodiode	6
2.1.3	Laser	6
2.1.4	Lock-In Verstärker	8
2.1.5	Pump-Probe Versuch	9
2.2	Nichtlineare Optik	9
2.2.1	Doppelbrechung	9
2.2.2	Phasen Anpassung	9
2.2.3	Nichtlineare Autokorrelation	9

1 Einleitung

2 Vorbereitung

2.1 Technische Grundlagen

Zur Untersuchung optischer Phänomene müssen umfangreiche experimentelle Aufbauten mit komplizierten Geräten verwendet werden. Hier soll kurz in die für diesen Versuch notwendige Technik eingeführt werden.

2.1.1 Halbleiter

Den Halbleiter zeichnet eine Bandlücke zwischen *Valenzband* und *Leitungsband* aus, das kleiner ist als beim Isolator, aber groß genug, um sich vom Leiter abzugrenzen, siehe Abbildung 2.1. In der Technik findet sich der Halbleiter inzwischen überall. Auch in diesem Experiment wird der Halbleiter Verwendung finden.

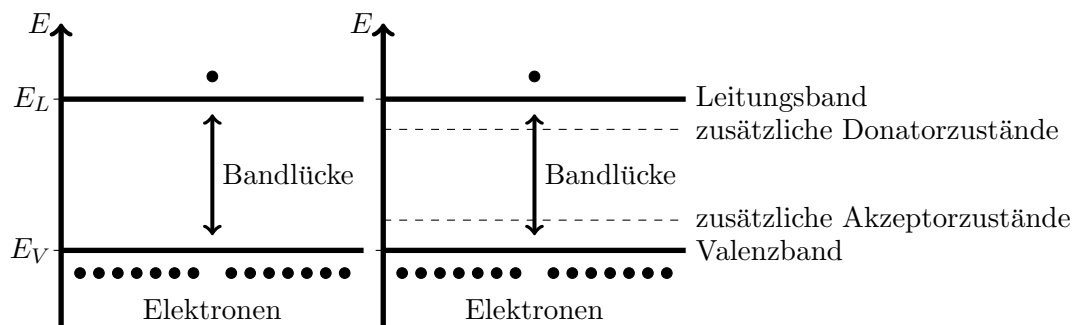


Abbildung 2.1: Bandstrukturen eines (a) reinen Halbleiters, (b) dotierten Halbleiters

In der Technik werden Halbleiter meist *dotiert*. Hierbei werden gezielt Fremdatome in das Gitter eingebracht, um so das Verhältnis von Lochdichte zu Elektronendichte zu manipulieren. *Donatoren* geben Elektronen an das Gitter ab, während *Akzeptoren* diese aufnehmen und so ein zusätzliches Loch schaffen. Da die Bindungsenergie des Donators kleiner als die Bandlücke ist, entstehen zusätzliche Niveaus, die energetisch etwas tiefer liegen, als das Leitungsband. Beim Akzeptor entstehen neue Niveaus etwas oberhalb des Valenzbandes, siehe Abbildung 2.1. Bringt man nun zwei gegensätzlich dotierte Halbleiter in Kontakt, das mit Donatoren dotierte Gebiet nennt man n-Typ, das mit Akzeptoren dotierte p-Typ, so entsteht an der Grenzfläche der *pn-Übergang*, siehe Abbildung 2.2. Durch die unterschiedlichen Dotierungen entsteht in Richtung des p-dotierten Gebiets ein Konzentrationsgefälle für Elektronen, während in Richtung des n-dotierten Gebiets ein Gefälle der Löcherkonzentration entsteht. Dies führt zu einem Elektronenstrom in das p-, und einem Löcherstrom in das n-Gebiet. Die Folge dieser

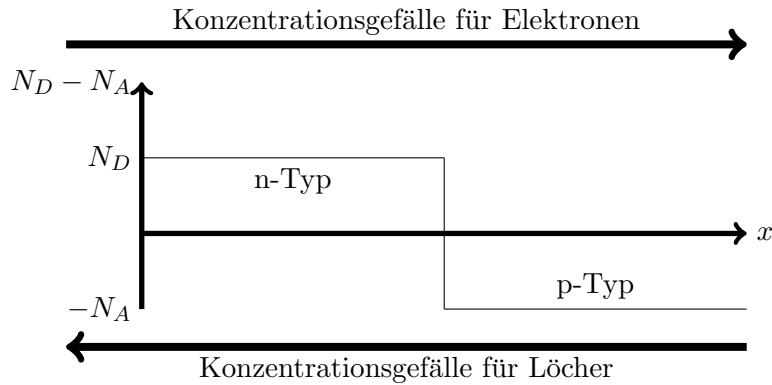


Abbildung 2.2: Konzentration von Donatoren und Akzeptoren. N_D beschreibt hier die Donatorkonzentration, N_A die Akzeptorkonzentration.

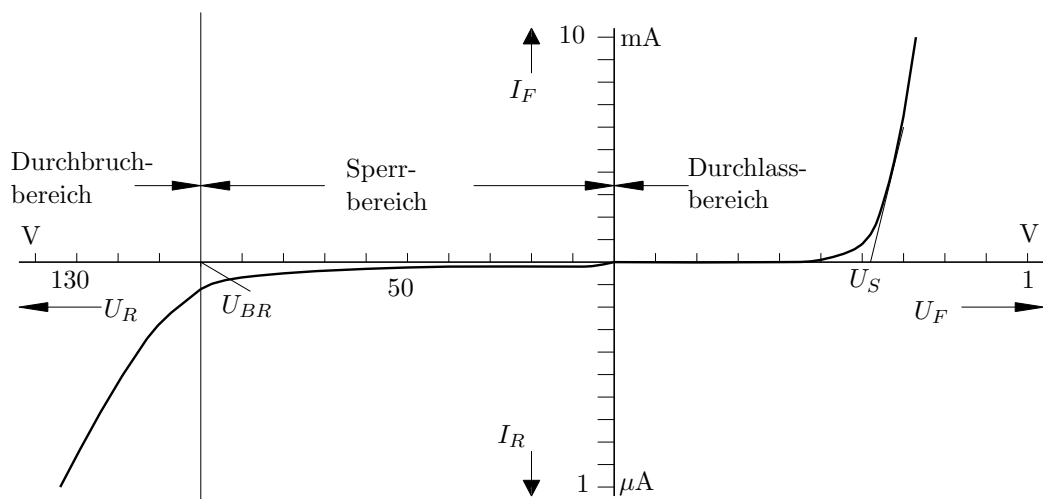


Abbildung 2.3: Qualitative Darstellung einer Diodenkennlinie [3]

Ströme ist eine Verarmung an beweglichen Ladungsträgern im Gebiet um den Übergang. Da die Ionen, Donatoren und Akzeptoren, nicht mehr durch freie Elektronen und Löcher kompensiert werden, entsteht ein Gebiet mit positiven/negativen Raumladung. Dieses Gebiet wird *Raumladungszone* genannt. Legt man an den pn-Übergang eine Spannung an, kann man die typische Diodenkennlinie beobachten. Diese ist in Abbildung 2.3 zu sehen. Der pn-Übergang ist also Basis für den Großteil der modernen Technologie.

2.1.2 Photodiode

Betrachtet man einen solchen pn-Halbleiter unter Lichteinfall, kann man den *photoelektrischen Effekt* beobachten. Photonen mit einer Energie $E = h \cdot \nu$ können Elektronen ins Leitungsband anregen, falls $h \cdot \nu > E_g$, mit der Größe der Bandlücke E_g . Dies wird in Abbildung 2.4 veranschaulicht. Im Bereich des pn-Übergangs werden weitere Elek-

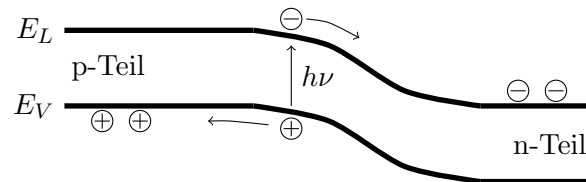


Abbildung 2.4: Anregen eines Elektrons im pn-Übergang

tronen ins Leitungsband angeregt. Wie im vorherigen Abschnitt besprochen entstehen im p-Teil zusätzliche Akzeptorzustände über dem Valenzband und im n-Teil zusätzliche Donatorzustände unter dem Leitungsband. Der Bandverlauf ist, wie in Abbildung 2.4 zu sehen, um den pn-Übergang gebogen. Nach der Anregung diffundiert das Elektron in den n-Teil, da hier ein Mangel an beweglichen Elektronen herrscht, während das Loch in den p-Teil driftet. Dies führt zu einer Photospannung, die am Halbleiter abgenommen werden kann.

2.1.3 Laser

Der Laser (light **amplification** by **stimulated emission** of **radiation**) ist eine Lichtquelle, die sich durch hohe Strahlungsintensität, einen engen Frequenzbereich, starker Bündelung des Strahls und einer großen Kohärenzlänge auszeichnet.

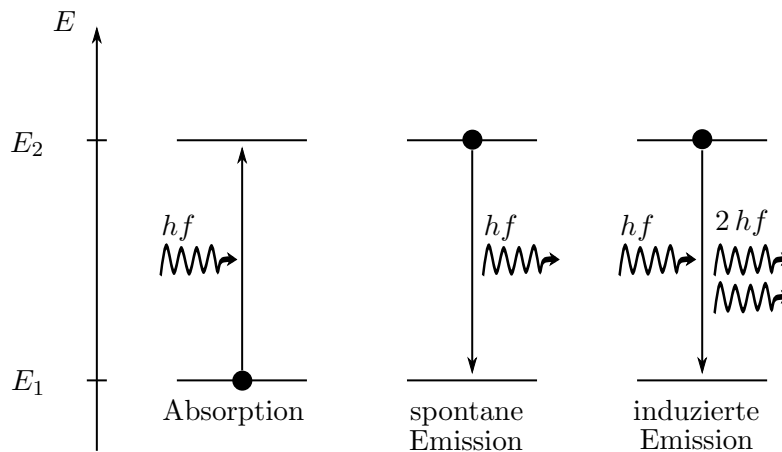


Abbildung 2.5: Wechselwirkung zwischen Photonen und Elektronen im Atom

Zur Lichterzeugung wird die *spontane* und *induzierte Emission* ausgenutzt, die in Abbildung 2.5 skizziert ist. Ein Photon kann ein gebundenes Elektron durch *Absorption*

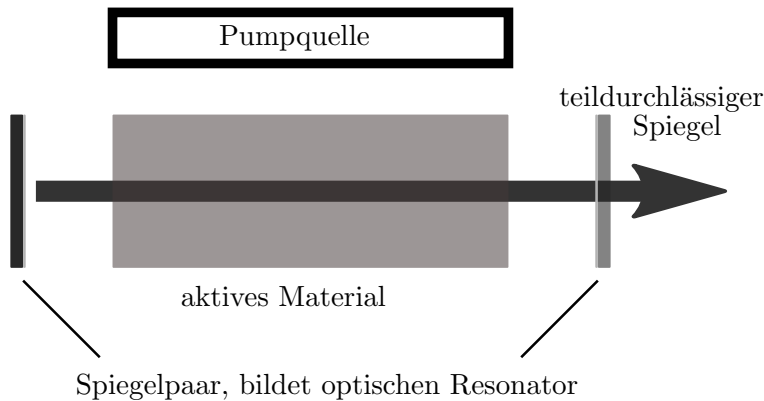


Abbildung 2.6: Aufbau eines Lasers

auf ein höheres Energieniveau heben. Selbiges kann durch *spontane Emission* unter Abgabe eines Photons zurück in das niedrigere Niveau wechseln. Trifft dieses Photon auf ein weiteres angeregtes Elektron, so kann dieses Elektron zur Emission angeregt werden, zur *induzierten Emission*. Wichtig ist hierbei, dass alle emittierten Photonen die gleiche Energie tragen. Das Licht ist also monochromatisch.

Soll mithilfe dieses Prinzips ein intensiver Strahl erzeugt werden, so müssen möglichst viele Elektronen in diesen angeregten Zustand gebracht werden. Hierzu verwendet man eine *Pumpquelle*, siehe Abbildung 2.6. Diese Pumpe regt im *aktiven Material*, also das Material, in dem die Emission stattfinden soll, die Elektronen an, sodass mehr Elektronen im energetisch höheren Energieband aufhalten. Dieser Zustand wird *Besetzungsinversion* genannt. Durch spontane Emission wandern erste Photonen durch das aktive Material und induzieren weitere Emission. Ein *optischer Resonator*, oft verwirklicht durch zwei Spiegel, reflektiert nun die Photonen immer wieder zurück in das aktive Material, wodurch sich eine stehende Welle bildet. Der vordere Spiegel lässt immer einen Teil der Strahlung entweichen. So entsteht ein homogener, intensiver Strahl.

Zur Versuchsdurchführung wird eine besondere Bauart des Lasers verwendet, der *Faserlaser*. Dieser gibt statt einem kontinuierlichen Strahl kurze Pulse ab. Der Aufbau ist hier komplexer, siehe Abbildung 2.7. Das aktive Medium ist eine Erbium-dotierte Glasfaser. Durch eine Leuchtdiode, in der Abbildung *Pump Diode*, wird eine Besetzungsinversion der Erbium-Ionen hergestellt. An den Enden der Faser bilden zwei teildurchlässige Spiegel den Resonator. Durch einen sättigbaren Absorber, *SAM*, der nur kurze intensive Impulse transmittiert, wird der gepulste Charakter des Lasers erreicht. Nach dem Verlassen des Oszillators erfolgt eine weitere Verstärkung in einer dotierten Glasfaser, wieder durch eine Diode gepumpt, bevor der Impuls ausgesendet wird. [2, 1]

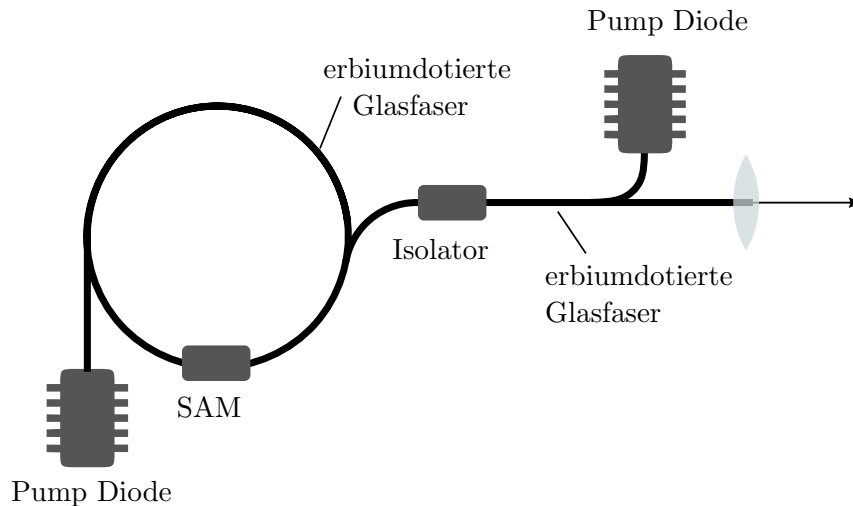


Abbildung 2.7: Aufbau eines Faserlasers

2.1.4 Lock-In Verstärker

In der Experimentalphysik arbeitet man oft mit Messsignalen, die um ein vielfaches schwächer sind, als das Umgebungsrauschen, das unweigerlich auftritt. Ohne passende Verstärkung und Filterung sind diese Messungen wertlos. Abhilfe schafft in diesem Experiment der Lock-In Verstärker. Die Funktion des Verstärkers erkennt man am bes-

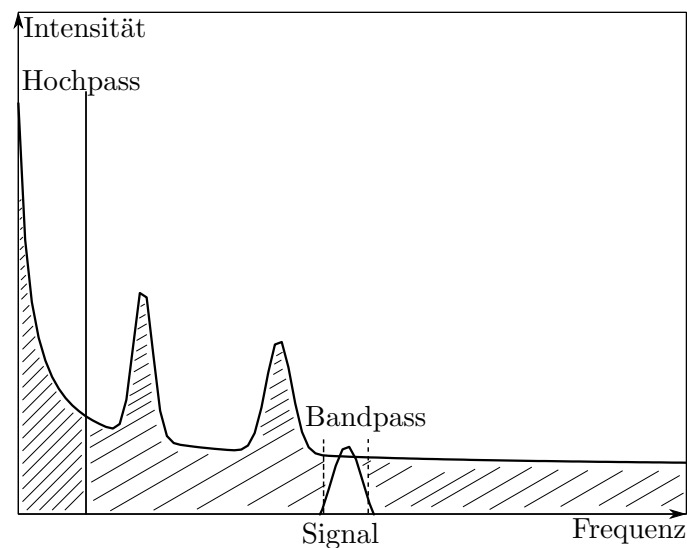


Abbildung 2.8: Signalverarbeitung mit einem Lock-In Verstärker

ten anhand eines Signals. In Abbildung 2.8 ist eine rein qualitative Darstellung eines möglichen Messsignals abgebildet. Das Signal selbst ist durch das starke Rauschen kaum zu erkennen. Im ersten Schritt wird ein Hochpass angewandt. Das kräftige Rauschen

gegen 0 Hz fällt dadurch weg. Danach wird eine sehr enger Bandpass um das eigentliche Signal angewandt. Die ungefähre Frequenz ist bei vielen Anwendungen bekannt. Beispiele sind die Herzfrequenz, oder wie in diesem Experiment die Frequenz der Lichtquelle. So wird ein Großteil des Rauschen gefiltert, in der Abbildung schraffiert, und das Signal kann weiter ausgewertet werden.

2.1.5 Pump-Probe Versuch

2.2 Nichtlineare Optik

2.2.1 Doppelbrechung

2.2.2 Phasenanpassung

2.2.3 Nichtlineare Autokorrelation

Literatur

- [1] Tina Bonertz, Ursula Zinth und Wolfgang Zinth. *Optik: Lichtstrahlen - Wellen - Photonen*. De Gruyter, 2013.
- [2] Ekbert Hering u. a. *Physik für Ingenieure*. Springer Berlin, 2016.
- [3] Saure. *Diode*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Diode>. Zuletzt Zugegriffen: 20.06.2020, bearbeitet.