



## Praktikum

### Grundlagen der Fertigungstechnik

### Bachelorstudiengang Werkstoffwissenschaft

## Versuch F4

### Diodenlaser-gepumpter Nd:YAG-Laser

#### Versuchsziel

Der Praktikumsversuch soll mit dem grundlegenden Aufbau, der prinzipiellen Funktionsweise und dem Umgang mit modernen Laserstrahlungsquellen vertraut machen. Dazu ist aus den verfügbaren Komponenten ein funktionsfähiger Nd:YAG-Laser auf einer optischen Schiene aufzubauen und zu justieren. In den Experimenten soll sowohl der als Pumpquelle verwendete Halbleiterdiodenlaser als auch das aktive Medium bezüglich seiner Eigenschaften charakterisiert werden.

#### 1. Zur Verfügung stehende Technik

Für den Aufbau des Lasers und die Charakterisierung der Eigenschaften stehen folgende Komponenten zur Verfügung (s. Skizzen Versuchsdurchführung):

- (A) Diodenlaser Ausgangsleitung  $P_{cw} \leq 450$  mW mit Steuergerät (Einstellmöglichkeiten für Temperatur  $t$ , Injektionsstrom  $I$  und Modulationsfrequenz  $f$ )
- (B) Kollimator mit dreilinsigem Kollimationssystem
- (C) Fokussierlinse (bikonvex)  $f = 50$  mm
- (D) YAG-Stab (Länge 5 mm,  $\varnothing$  5 mm, einseitig verspiegelt mit  $R_s \approx 1$  für  $1,06 \mu\text{m}$  und  $T \approx 0,85$  für Pumplicht) in Justierhalterung
- (E) Resonatoraukoppelspiegel ( $\varnothing$  12,7 mm,  $R_s = -50$  mm,  $R_s \approx 0,98$  für  $1,06 \mu\text{m}$ ) in Justierhalterung
- (F) Filter zur Unterdrückung der Pumpstrahlung (transparent für  $1,06 \mu\text{m}$ )
- (G) Fotodetektor (Si-Fotodiode) mit Zielkreuz
- Oszillograph
- Bildplatten
- Spektrometer

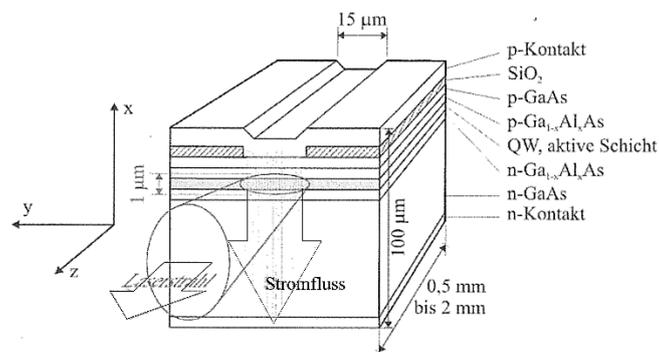
## 2. Aufgabenstellung

- 2.1 Die Ausgangsleistung  $P$  des Diodenlasers (Pumplaser) ist als Funktion des Injektionsstromes  $I$  bei konstanter Diodentemperatur  $t = 25\text{ °C}$  aufzunehmen.
- 2.2 Die vom Diodenlaser emittierte Wellenlänge  $\lambda$  ist in Abhängigkeit von der Diodentemperatur  $t$  bei festem Injektionsstrom  $I = 300\text{ mA}$  (Impulsbetrieb) im Bereich von  $10\text{ °C} \leq t \leq 40\text{ °C}$  zu vermessen.
- 2.3 Die Transmission des Nd:YAG-Stabes (aktives Medium) ist als Funktion der Wellenlänge des Pumplichtes im Bereich von  $804\text{ nm}$  bis  $815\text{ nm}$  aufzunehmen. Die Maxima der Absorptionen sind zu ermitteln.
- 2.4 Die Fluoreszenzlebensdauer  $\tau$  für das  ${}^4F_{3/2}$ -Niveau des Nd:YAG-Kristalls ist zu bestimmen.
- 2.5 Der Nd:YAG-Laser ist aufzubauen, die Laserstrahlung nachzuweisen und die Leistung des Nd:YAG-Lasers in Abhängigkeit vom Injektionsstrom  $I$  der Pumpquelle (Diodenlaser bei konstanter Temperatur  $t = 20\text{ °C}$ ) aufzunehmen und der Kurvenverlauf zu interpretieren.
- 2.6 Das Intensitätsprofil der Nd:YAG-Laserstrahlung ist für verschiedene Justierzustände des Resonators zu beobachten und zu beurteilen.

## 3. Grundlagen

### 3.1 Die Pumpquelle

Der Nd:YAG-Laser ist ein typischer Vertreter der klassischen, optisch gepumpten Festkörperlaser. Als Pumplichtquelle dienen hierbei z.B. Blitzlampen und kontinuierliche Lampen. Neben einigen Anwendungen in der Lasermaterialbearbeitung dienen auch Diodenlaser als Pumplichtquelle für Festkörperlaser. Ein Diodenlaser besteht aus einem p-n-Übergang, der durch Anlegen einer elektrischen Spannung in Durchlassrichtung gepumpt wird. Die Strahlungsentstehung basiert dabei auf der Energieabstrahlung, wenn die Elektronen im Bereich des p-n-Übergangs durch stimulierte Emission vom Leitungsband ins Valenzband wechseln. Den typischen Aufbau eines Diodenlasers zeigt Bild 1. Der Laserstrahl entsteht in einer  $\mu\text{m}$ -dicken Schicht. Die Resonatorlänge beträgt typischerweise  $0,3\text{--}2\text{ mm}$ .



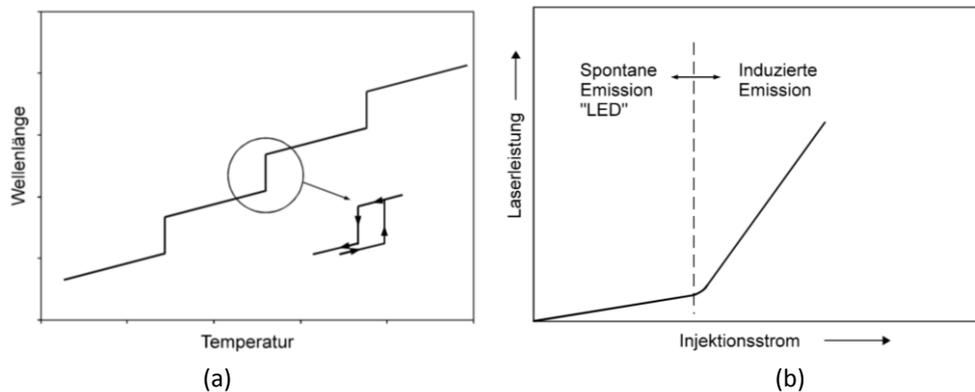
**Bild 1: Aufbau eines Diodenlasers [1].**

Im Vergleich zu den Pumplampen liegt eine wesentliche Eigenschaft der Diodenlaser im schmaleren Emissionsspektrum. Des Weiteren kann eine starke Abhängigkeit der emittierten Laserwellenlänge  $\lambda$  von

- der Temperatur des Lasermediums (ca.  $0,25\text{ nm/K}$ ) und
- dem Injektionsstrom (ca.  $0,05\text{ nm/mA}$ )

beobachtet werden. Bild 2a zeigt schematisch die Temperaturabhängigkeit der Strahlungsemission. Mit zunehmender Temperatur steigt die Wellenlänge, da sich die Brechzahl  $n$ , die Bandlücke sowie die Länge der aktiven Zone und damit die Resonatorlänge vergrößern. Ab einer bestimmten Temperatur

passt die gerade schwingende longitudinale Mode nicht mehr in den Resonator und es erfolgt ein Modensprung. Der Modenabstand des extrem kurzen Resonators ist sehr groß, so dass Sprünge in der Emissionswellenlänge von ca. 0,3 nm auftreten. Erniedrigt man die Temperatur, so springt der Laser in seiner Wellenlänge wieder zurück, jedoch nicht notwendigerweise in die Ausgangsmode. Ein ähnliches Verhalten ergibt sich auch bei der Variation des Injektionsstroms. Die Wellenlängenänderung resultiert hier vorwiegend aus der Erhöhung der Brechzahl auf Grund der steigenden Ladungsträgerdichte in der aktiven Zone. Im Versuch wird eine GaAlAs-Laserdiode mit einer maximalen Ausgangsleistung von  $P_{cw} = 450 \text{ mW}$  verwendet, die über die Kristalltemperatur im Wellenlängenbereich  $804 \text{ nm} \leq \lambda \leq 815 \text{ nm}$  abstimmbaar ist.

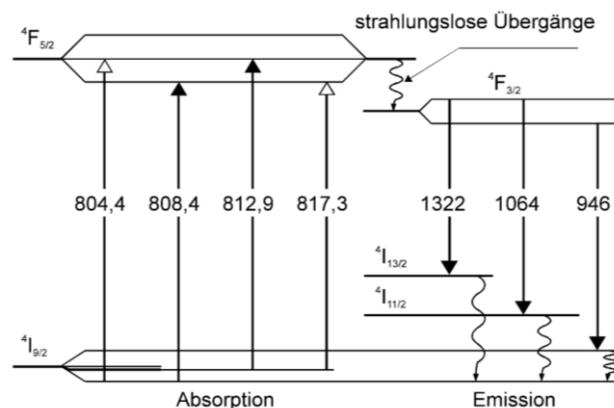


**Bild 2: Abhängigkeit (a) der Emissionswellenlänge von der Kristalltemperatur und (b) der Ausgangsleistung vom Injektionsstrom**

Bild 2b zeigt schematisch die Laserleistung des Diodenlasers in Abhängigkeit vom Injektionsstrom. Charakteristisch ist hier der bei einem spezifischen Stromwert auftretende Übergang vom inkohärenten Strahler (spontane Emission) zum kohärenten Strahler (stimulierte Emission), der mit einer signifikanten Reduzierung der spektralen Breite der emittierten Strahlung einhergeht.

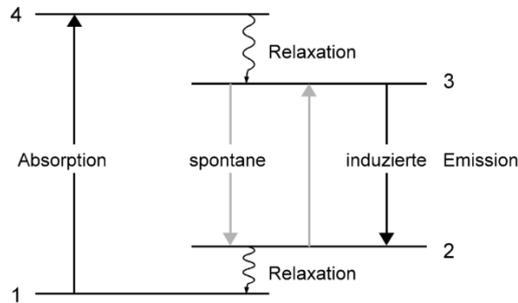
### 3.2 Das aktive Medium

Das aktive Medium des Nd:YAG-Lasers besteht aus einem Nd-dotierten Yttrium-Aluminium-Granat (YAG). Etwa 1-2% der  $Y^{3+}$ -Ionen des  $Y_3Al_5O_{12}$ -Kristallgitters sind dabei durch  $Nd^{3+}$ -Ionen ersetzt. Der Nd:YAG-Kristall besitzt 4 Hauptabsorptionsbanden, die zum Pumpen mit der Laserdiode verwendet werden können (Bild 3).



**Bild 3: Energieniveaus des Nd:YAG (Angaben in nm), die für optisches Pumpen um 808 nm genutzt werden können.**

Die Abbildung zeigt einige Energieniveaus des Nd-Ions, die mit ihren spektroskopischen Bezeichnungen versehen sind. Da sich die Nd-Ionen innerhalb des YAG-Wirtskristalls befinden, spalten die sonst entarteten Energieniveaus des isolierten Nd-Ions durch die Wechselwirkung mit dem Gitter in mehrere Zustände auf. Der Grundzustand  $^4I_{9/2}$  besteht aus 5 und der Zustand  $^4F_{5/2}$ , der optisch gepumpt werden soll, aus 3 Unterzuständen. Die Nd-Ionen des  $^4F_{5/2}$ -Zustandes relaxieren sehr schnell in das Laserausgangsniveau  $^4F_{3/2}$ .

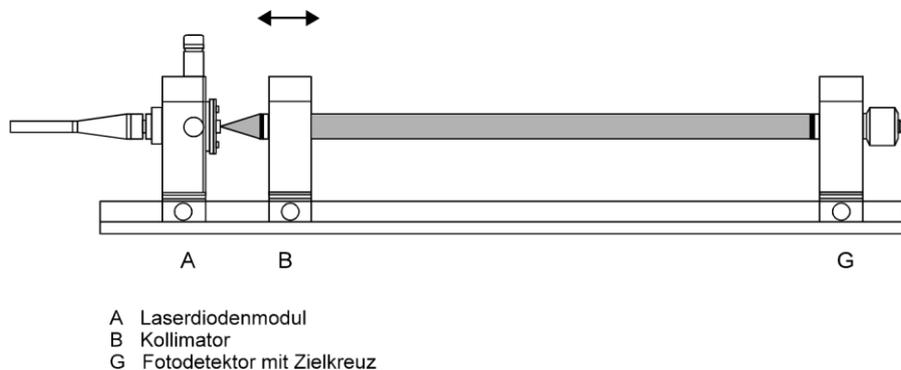


**Bild 4: Vierniveausystem des Nd:YAG-Lasers**

Eine schematische Darstellung des resultierenden Vierniveausystems des Nd:YAG-Lasers zeigt noch einmal Bild 3 mit allen beteiligten Absorptions-, Emissions- und Relaxationsprozessen.

#### 4. Versuchsdurchführung

- 4.1 Zur Messung der Ausgangsleistung  $P$  des Diodenlasers wird auf einer optischen Schiene die Versuchsanordnung gemäß Bild 5 aufgebaut.



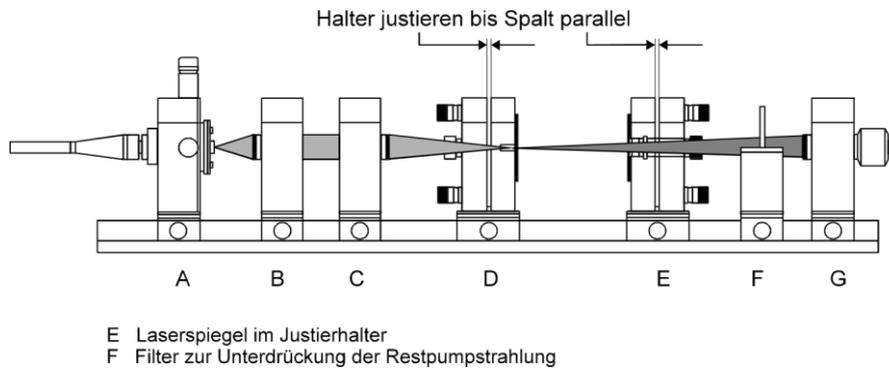
**Bild 5: Versuchsaufbau zur Messung der Ausgangsleistung**

Die Parallelität der kollimierten Laserdiodenstrahlung wird mittels Bildplatten geprüft und die Ausgangsleistung im cw-Betrieb mit einem Leistungsmesser oder im modulierten Betrieb mit Fotodetektor und Oszillographen gemessen.

- 4.2 Mit dem gleichen Aufbau wird mittels Spektrometer die Emissionswellenlänge der Laserdiode vermessen.
- 4.3 Der Aufbau nach Bild 5 wird schrittweise durch die Fokussierlinse (Bild 6) und den YAG-Stab im Justierhalter (Bild 7) erweitert.



- 4.5 Entsprechend Bild 9 wird der Versuchsaufbau um den Laserauskoppelspiegel erweitert und nach Justierung des Resonators (!) die YAG-Laserstrahlung mit der Fotodiode nachgewiesen. Dabei wird der Nd:YAG-Stab mit modulierter Diodenlaserstrahlung gepumpt.



**Bild 9: Versuchsaufbau zum Nachweis der Nd:YAG-Laserstrahlung**

Der Aufbau nach Bild 9 wird verwendet, der Injektionsstrom im Bereich von 0...400 mA variiert und die YAG-Strahlung mit dem Leistungsmesser vermessen.

- 4.6 Das Strahlprofil des Nd:YAG-Lasers wird für verschiedene Justierzustände mit Bildplatten betrachtet

## 5. Literatur

- [1] Graf: Laser - Grundlagen der Laserstrahlquellen, Teubner Verlag, Wiesbaden, 2009.