



TU Clausthal

Anleitung zum Fortgeschrittenenpraktikum:

Diodengepumpter Nd:YAG-Laser

Ansprechpartner:

Dr. Ulrike Willer

u.willer@pe.tu-clausthal.de

Tel. 05323 / 72-2280

Raum 412

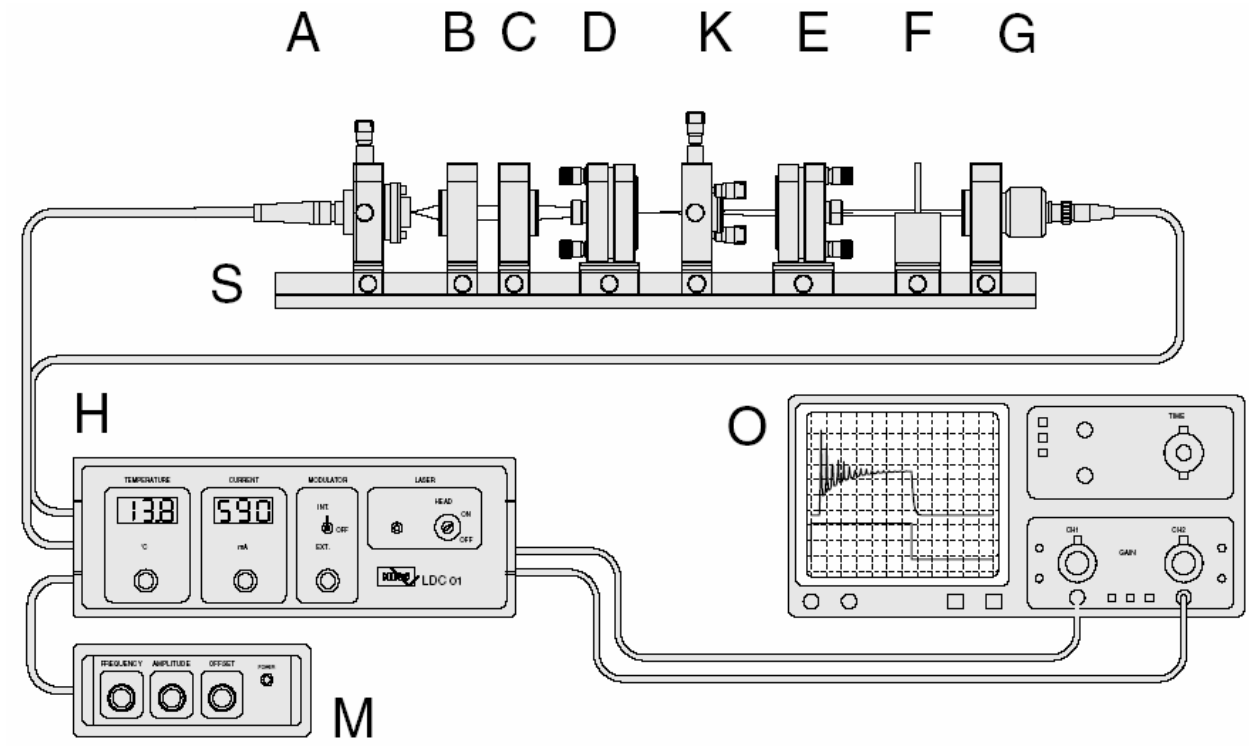
I Aufgabenstellung

- 1) Darstellung der Abstrahlcharakteristik der Laserdiode
- 2) Messung der Laserdioden-Kennlinie
- 3) Justierung des Nd:YAG-Kristalls
- 4) Messung des Transmissionsspektrums für verschiedene Diodenströme
Festlegung der Arbeitskennlinie
- 5) Messung des Anregungsspektrums (Fluoreszenzintensität als Funktion der Diodentemperatur)
- 6) Messung der Lebensdauer des emittierenden Zustandes
- 7) Justierung und Optimierung des Nd:YAG-Lasers
- 8) Messung der Laserausgangsleistung als Funktion der Diodentemperatur
- 9) Messung der Laserausgangsleistung als Funktion des Diodenstromes
- 10) Erzeugung kurzer Pulse mit einem sättigbaren Absorber (passiver Güteschalter)
- 11) Frequenzverdopplung mit einem KTP-Kristall und Messung der Intensität der 2. Harmonischen als Funktion der Laserleistung

II Geräte

- 1) Nd:YAG Experimentierlaser der Firma Meos
- 2) Steuereinheit des Lasers
- 3) Oszilloskop
- 4) Multimeter
- 5) Computer mit Drucker

II Komponenten des Nd: YAG-Lasers



- A: Laserdiodenmodul
- B: Kollimator
- C: Fokussierlinse
- D: Nd:YAG-Stab
- K: KTP-Kristall zur Frequenzverdopplung
- E: Resonatorspiegel
- F: Filterhalter, Filter RG1000 oder BG39
- G: Detektor
- H: Treiber
- O: Oszilloskop
- M: Modulator

III Versuchsdurchführung

Dieser Laser besitzt eine respektable Ausgangsleistung. Den Anhang der Versuchsanleitung zur Lasersicherheit sollten Sie gelesen haben.

Ein- und Ausschalten des Netzgerätes und des Diodenstromes (Schlüssel-Schalter).
Nur in Nullstellung des Potentiometers für den Diodenstrom.

Nullstellung = linker Anschlag.

1) Abstrahlcharakteristik der Laserdiode (LD)

Entfernen Sie alle Komponenten von der optischen Bank außer der Laserdiode. Bei einer Diodentemperatur von 20°C und mäßigem Diodenstrom (600mA) können Sie mit einem Stück Papier als Schirm die Abstrahlcharakteristik der Diode abbilden. Skizzieren Sie die Abstrahlcharakteristik.

2) Laserdioden-Kennlinie

Stellen Sie den Detektor (Photodiode) etwa 5 cm von der LD entfernt auf (ohne Zielscheibe). Messen Sie das Detektorsignal als Funktion des LD-Injektionsstromes für 2 Diodentemperaturen (10°C, 40°C).

Achtung: $P_{\text{Max}} = 500 \text{ mW}$

Erklären Sie den Kurvenverlauf.

3) Justierung des Nd:YAG-Kristalls

Wie in der Abbildung 1 dargestellt wird nun die Kollimatorlinse (kleine Linse mit kurzer Brennweite) einjustiert. Dies geschieht bei 600 mA Diodenstrom. Der Strahlengang sollte möglichst parallel sein (Kontrolle mit Experimentierschirm). Der Strahl muss mit den Justierschrauben für seitliche Verstellung der LD sorgfältig zentriert werden, da sonst der später erzeugte Laserstrahl den Detektor nicht treffen wird. In etwa 7 cm Abstand die große Fokussierlinse anbringen. Mit einem Stück Papier als Schirm können Sie den Ort des Fokus recht genau bestimmen. Dort muss der Nd: YAG hin (s. Abb. 2). Dies ist in etwa erreicht, wenn der Fokus unter der metallisch glänzenden Madenschraube auf der Oberseite der Halterung liegt.

Für eine koaxiale Anordnung stellen Sie als nächstes den YAG-Halter parallel. Die parallele Anordnung können Sie mit dem sog. „Karteikartentrick“ überprüfen. Dazu stellen Sie den Justagehalter zunächst bewusst schräg ein und lassen den Lichtstrahl durch ein Loch in einer Karteikarte auf die Oberfläche des

YAG-Kristalls fallen. Ein Teil des Strahls wird reflektiert und als heller Punkt neben dem Loch in der Karte sichtbar. Nun vermindern Sie die Verkippung des Justagehalters und beobachten wie der Punkt immer weiter in Richtung des Loches wandert. Wenn der Strahl in sich selbst zurückreflektiert wird, ist eine senkrechte Justage erreicht. Beobachten Sie die Anzeige des LD-Stromes bei eingeschalteter Stabilisierung. Finden Sie die YAG-Stellung für maximale Rückkopplung. Verdrehen Sie dann aber seitlich bis dieser Rückkoppeleffekt auf etwa die Hälfte abgefallen ist. Bei den folgenden Versuchen würde sich eine allzu starke Rückkopplung störend bemerkbar machen, andererseits soll die Anordnung möglichst coaxial sein. Ein solcher Rückkopplungseffekt ist nicht immer zu beobachten. Es sollte Sie nicht beunruhigen, wenn Sie ihn nicht messen können.

Abb. 1:

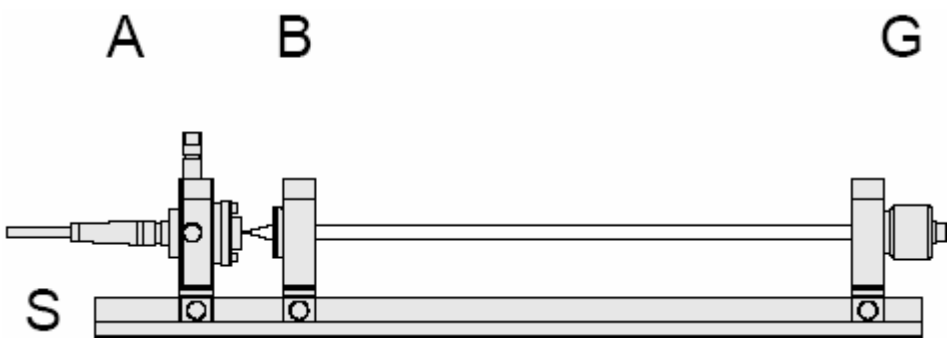
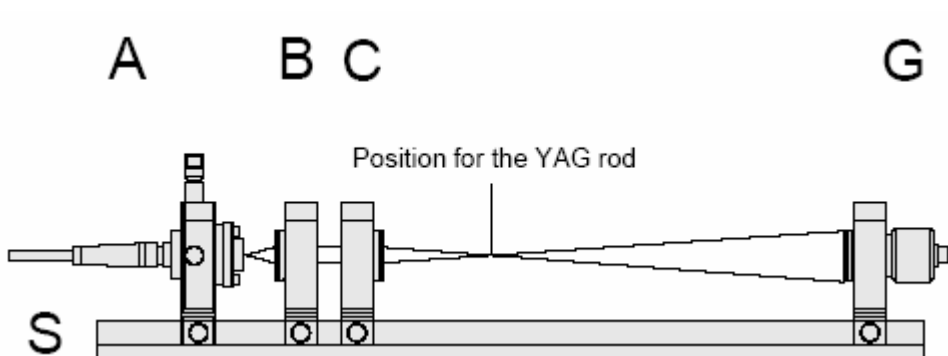


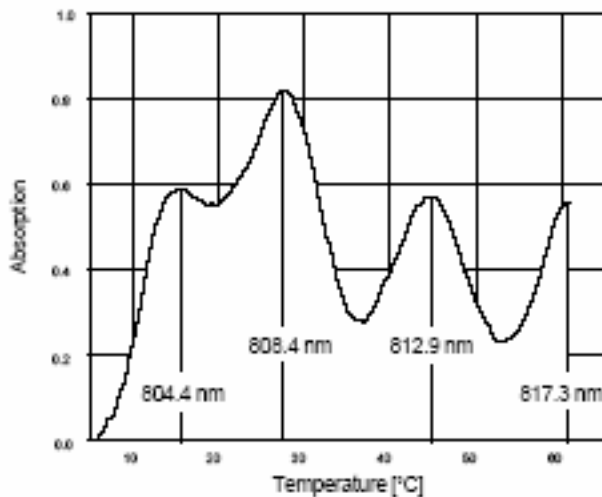
Abb. 2



4) Transmissionsspektrum und Arbeitsgerade

Das Absorptionsspektrum (Abb. 3) von Nd im YAG besteht (im relevanten Wellenlängenbereich) aus Linien bei 804.4, 808.4, 812.9 und 817.3 nm. Da das emittierende Niveau durch Absorption der LD-Strahlung bevölkert wird, muß die Wellenlänge der Diode auf eine dieser Linien abgestimmt werden. Dies geschieht durch Änderung der Temperatur der LD. Misst man die transmittierte Intensität als Funktion der Temperatur so sollten sich Minima bei denjenigen Temperaturen ergeben, bei welchen eine der oben genannten Absorptionslinien getroffen wird.

Abb. 3



Die Emissionswellenlänge hängt außer von der Temperatur noch vom Diodenstrom ab. Man möchte daher zu jedem Diodenstrom diejenige Temperatur finden, bei der die Wellenlänge konstant bleibt. Messen Sie dazu die transmittierte Intensität als Funktion der Diodentemperatur für verschiedene Diodenströme (550 bis 900 mA in Schritten von 50 mA). Beginnen Sie mit 900 mA und wählen Sie den Abstand der PD so, daß Sättigung vermieden wird. Trägt man nun die zu einem bestimmten Minimum gehörenden Temperaturen gegen den Diodenstrom auf, so erhält man die gewünschte Arbeitskurve, auf der die Wellenlänge konstant bleibt. Diese Arbeitskurve wird für die weiteren Messungen gebraucht.

5) Fluoreszenzspektrum

Stellen Sie die PD möglichst dicht hinter den Nd:YAG mit gerade soviel

Abstand, daß noch der Farbglasfilter RG 1000 ohne Halterung dazwischen paßt. Der Filter dient zur Blockade der transmittierten LD-Strahlung. Wenn Sie nun den LD-Strom und die PD-Verstärkung auf Maximum stellen und eine geeignete Temperatur wählen, sollten Sie Fluoreszenz messen. Die Intensität ist so gering, daß Sie den PD-Verstärker am Netzgerät verwenden müssen. Messen Sie die Fluoreszenzintensität als Funktion der Diodentemperatur. Dieses Spektrum wird Anregungsspektrum genannt, eines der Grundspektren in der optischen Spektroskopie. Stimmen die Maxima hier mit den Minima bei der Transmissionsmessung überein? In der Lage und der relativen Höhe?

6) Lebensdauerermessung

Bei der Temperatur mit maximaler Fluoreszenz wird nun die Lebensdauer des emittierenden Zustandes gemessen. Dazu wird die LD mit maximaler Frequenz moduliert (Schalter und Potentiometer auf der Frontseite des Netzgerätes). Der Ausgang des PD-Verstärkers wird zur Messung an ein Oszilloskop angeschlossen. Bestimmen Sie die Zeit, wenn die Intensität auf $1/e$ abgesunken ist. Der Literaturwert beträgt $230 \mu\text{s}$.

7) Justierung des Nd: YAG-Lasers

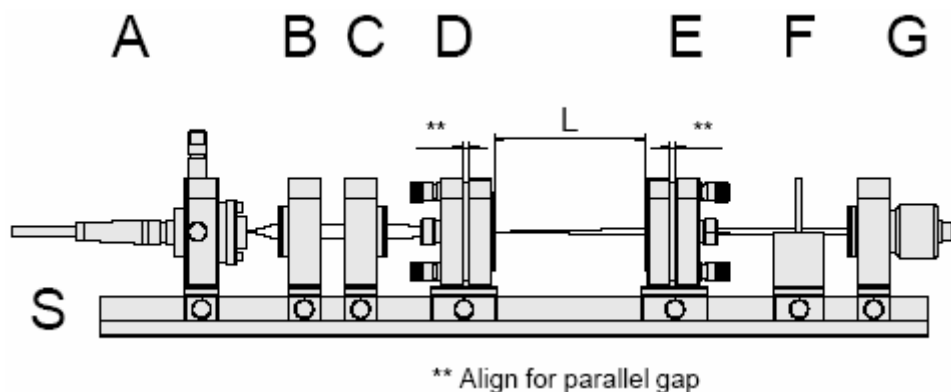


Abb. 4

Die Photodiode wird direkt an das Multimeter angeschlossen und an das rechte Ende der optischen Bank geschoben. Stellen Sie das Filter (RG 1000) in den Filterhalter unmittelbar vor die PD. Bringen Sie nun den Auskoppelspiegel (SHG 100) in einem geeigneten Abstand vor dem Nd:YAG-Stab an ($R = 100 \text{ mm}$, Stabilitätskriterium). Die Justage zur

koaxialen Rückreflexion erfolgt wie bei der YAG-Justage mit dem Lochkartentrick; die Lochkarte jetzt vor den Nd:YAG halten. Bringen Sie die Temperatur bei einem Diodenstrom von 800 mA auf maximale Fluoreszenz. Ist der Auskoppelspiegel gut justiert, sollten Sie einen PD-Strom messen. Dies bedeutet, Laserlicht ist vorhanden, denn der RG 1000 läßt kein LD-Licht durch. Die Wellenlänge des Laserlichtes beträgt 1064 nm ist also für das Auge nicht sichtbar. Zum Nachweis kann auch der IR-Wandlerschirm verwendet werden.

Wenn Sie Laserlicht beobachten und die Stellung des Auskoppelspiegels optimiert ist, versuchen Sie durch vorsichtiges Verschieben der Fokussierlinse die Ausgangsleistung weiter zu erhöhen. Danach Auskoppelspiegel nachjustieren. Schließlich können Sie noch versuchen, die Stellung des Nd:YAG-Stabes zu optimieren. Eine der Schrauben am YAG etwas verdrehen, dann die entsprechende Schraube am Auskoppelspiegel nachjustieren.

8) Laserausgangsleistung als Funktion der Diodentemperatur

Messen Sie die Laserausgangsleistung als Funktion der Temperatur bei festem LD-Strom (900 mA). Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Anregungsspektrum der Fluoreszenz.

9) Laserausgangsleistung als Funktion des Diodenstromes

Messen Sie die Laserausgangsleistung als Funktion des Diodenstromes bei jeweils optimaler Temperatur, die aus der Arbeitskurve für konstante Wellenlängen zu entnehmen ist. Bestimmen Sie die Laserschwelle.

10) Frequenzverdopplung (nichtlineare Optik)

Stellen Sie den KTP-Kristall in den Resonator und bringen Sie den LD-Strom auf 900 mA, die Temperatur auf Optimum und justieren Sie den Auskoppelspiegel nach. Achten Sie darauf, das der KTP – Kristall mit seinen Endflächen etwa senkrecht und zentrisch zur Resonatorachse vorjustiert ist. Je nachdem, wie gut die Vorjustierung war, wird am Ausgang des Lasers grüne Strahlung austreten. Zur Erzielung der höchsten Umwandlungseffizienz ist eine Feinjustage des KTP-Kristalls notwendig (Phasematching). Entfernen Sie alle Filter aus dem Filterhalter und setzen Sie den Filter BG 39 ein. Messen Sie die SHG-Intensität als Funktion des LD-Stromes und tragen Sie die Werte gegen den YAG-Output (Punkt 9) in

einer Weise auf, die geeignet ist, den erwarteten Zusammenhang zu erkennen. Bestimmen Sie die Umwandlungseffizienz.

IV Hinweise zur Vorbereitung

1) Stichwörter zur Vorbereitung

Optisches Pumpen
Vierniveausystem des Nd:YAG
Ratengleichungsmodell
Laser Resonator
Resonatormodem
Dioden Laser
Q-switching (Erzeugung kurzer Pulse)+
Frequenzverdopplung
Sättigbarer Absorber

2) Literatur

Unterlagen der Firma Meos (vom Assistent ausleihen) oder über das Internet www.meos.com. Hier kann die gesamte Literatur heruntergeladen werden.

W. Schade; Vorlesung Lasertechnik I, II

G. A. Reider; Photonik: Eine Einführung in die Grundlagen, Springer-Verlag

A. Donges; Elementare Quantenoptik, Hüthig Verlag

W. Demtröder; Laserspektroskopie

Die Bücher sind in der Institutsbibliothek vorhanden.

V Anhang: Lasersicherheit

Die Laserdiode kann bei einer Wellenlänge von 805 nm eine Leistung von 500 mW abgeben. Der Nd:YAG-Laser der durch die Laserdiode gepumpt wird kann bei einer Wellenlänge von 1064 nm eine maximale Leistung von 300 mW abstrahlen. Laser dieser Klasse (3B) sind potentiell gefährlich, falls ein direkter oder spiegelnd reflektierter Strahl in das ungeschützte Auge gelangt. Die folgenden Vorsichtsmaßnahmen sollen getroffen werden, um das direkte Blicken in den Strahl und um unkontrollierte spiegelnde Reflexionen zu verhindern:

- a) Der Laser soll nur in einem Laserüberwachungsbereich betrieben werden:
- b) Der Laserstrahl soll, wo es möglich ist, am Ende seines Strahlengangs auf einem diffus streuenden Material enden. Farbe und Reflexionsvermögen des Materials sollen die Strahlumlenkung ermöglichen und gleichzeitig die Gefahren durch Reflexion niedrig halten.
- c) Augenschutz ist notwendig, wenn eine Möglichkeit besteht, daß entweder der direkte oder der gespiegelte Strahl ins Auge gelangen oder diffuse Reflexion, die nicht die Bedingung nach b) erfüllt, gesehen werden kann.
- d) Die Zugänge zum Laserüberwachungsbereich sollen mit dem Laserwarnzeichen gekennzeichnet sein.