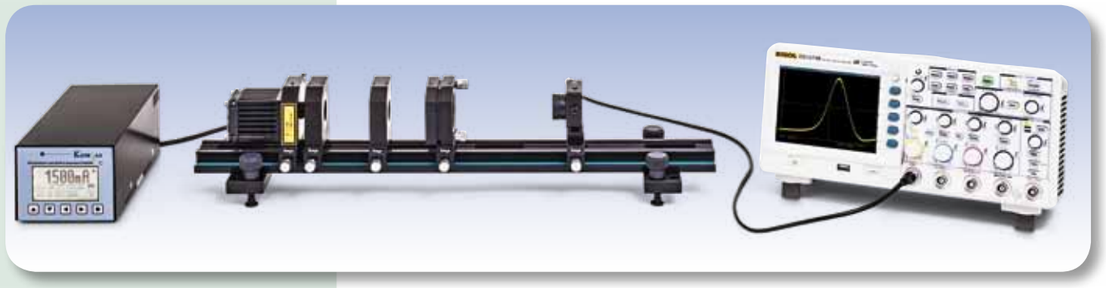
GÜTESCHALTUNG ND:YAG-LASER



AUFGABEN

- **Einrichtung und Optimierung der Güteschaltung des Nd:YAG-Lasers mit einem Cr:YAG-Modul.**
- **Aufzeichnung der Pulse und Bestimmung der Pulsdauer**

ZIEL

Güteschaltung des Nd:YAG-Lasers mit einem Cr:YAG-Modul.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Güteschaltung eines Lasers ermöglicht die Erzeugung kurzer, energiereicher Pulse. Sie beruht auf der Kontrolle der Laserschwelle durch eine Erhöhung oder Erniedrigung der Resonator-Verluste. Mit Hilfe eines Cr:YAG-Moduls wird eine passive Güteschaltung realisiert und der zeitliche Pulsverlauf des Lasers aufgenommen. Aus der mittleren Leistung und der Wiederholfrequenz wird die Pulsenergie berechnet.

BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	Laserdioden-Treiber und Zweifach-Temperatur-Controller Dsc01-2,5	1008632
1	Optische Bank KL	1008642
1	Diodenlaser 1000 mW	1009497
1	Nd:YAG-Kristall	1008635
1	Passiver Güteschalter	1008637
1	Laserspiegel I	1008638
1	PIN-Photodiode, schnell	1008641
1	Filter RG850	1008648
1	Justierlaserdiode	1008634
1	Transportkoffer KL	1008651
1	Laserschutzbrille für Nd:YAG	1002866
1	Digital-Multimeter P3340	1002785
1	Digital-Oszilloskop 4x60 MHz	1008676
1	HF-Kabel, BNC/4-mm-Stecker	1002748
1	HF-Kabel	1002746
1	IR Detektorkarte	1017879

WARNUNG

Im Experiment wird eine Lasereinrichtung der Klasse 4 betrieben, die im infraroten (nicht sichtbaren) Spektralbereich emittiert. Daher sind grundsätzlich immer Laserschutzbrillen zu tragen. Auch mit Laserschutzbrille darf der Laserstrahl nicht direkt beobachtet werden.

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Die Güteschaltung ermöglicht die Erzeugung kurzer, energiereicher Laserpulse, wie sie etwa in der Materialbearbeitung benötigt werden. Sie beruht auf der Kontrolle der Laserschwelle durch eine Erhöhung oder Erniedrigung der Resonator-Verluste. Bei hohen Verlusten wird ein Anschwingen des Resonators verhindert und die Pumpenergie im Laserkristall gespeichert. Nach dem Freischalten des Resonators durch Erniedrigung der Verluste entsteht ein Laserpuls, dessen Intensität um mehrere Größenordnungen größer ist als die Intensität im kontinuierlichen Betrieb. Dabei ist der Unterschied zum Spiking, dass die Inversionsdichte bei der Güteschaltung den Schwellenwert viel stärker überschreitet. Man unterscheidet passive und aktive Güteschalter. Passive Güteschalter sind Absorber, deren Absorptionsvermögen durch das Licht im Resonator geschaltet wird. Aktive Güteschalter sind typischer Weise akustooptische, elektrooptische oder mechanische Schalter, die die Transmission extern steuern.

Der Einsatz eines absorbierenden Kristalls als passiver Güteschalter setzt voraus, dass seine Absorption gesättigt werden kann. Dazu muss sein Absorptionswirkungsquerschnitt größer sein als der Absorptionswirkungsquerschnitt für Licht von Atomen im angeregten Zustand, und die Lebensdauer des angeregten Niveaus muss größer als die Dauer des Laserpulses und kleiner als die Pulswiederholzeit sein. Ein Cr:YAG-Kristall erfüllt diese Bedingungen.

Die Ratengleichungen für die durch optisches Pumpen erreichbare Inversionsdichte n im Nd:YAG-Kristall und für die Photonendichte p im Laserlichtfeld (vergleiche Experiment UE4070310) müssen zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens des passiv gütegeschalteten Lasers auch die Besetzungsdichte im Grundzustand des Cr:YAG-Kristalls berücksichtigen. Wegen der extrem schnellen Erhöhung der Photonendichte sind die Pumprate und die Rate der spontanen Emission vernachlässigbar. Mit der Definition des Schwellenwertes der Inversionsdichte

(1) $$n_S = \frac{1}{\sigma \cdot c \cdot \tau_{res}}$$

τ_{res}: Zeitkonstante für die Abnahme der Photonendichte durch Verluste im Resonator
σ: effektiver Wirkungsquerschnitt für die Emission oder Absorption eines Photons
c: Lichtgeschwindigkeit

erhält für die zeitliche Änderung der Inversionsdichte n und der Photonendichte p:

(2a) $$\frac{dn}{dt} = -\frac{n}{n_S} \cdot \frac{p}{\tau_{res}}$$

und

(2b) $$\frac{dp}{dt} = -\left(\frac{n}{n_S} - 1\right) \cdot \frac{p}{\tau_{res}}$$

In einem Riesenpuls ist die Inversionsdichte näherungsweise konstant und entspricht ungefähr der Startinversionsdichte:

(3) $$n(t) = n_i$$

Daher ergibt sich für die Photonendichte aus Gl. (2b):

(4) $$p(t) = \exp\left[\left(\frac{n_i}{n_S} - 1\right) \cdot \frac{t}{\tau_{res}}\right]$$

Die Inversionsdichte n_i im Riesenpuls ist sehr viel größer als die Schwelleninversionsdichte n_S. Daher ist die Zeit, in der die Photonendichte anwächst, sehr viel kürzer als die Zeitkonstante τ_{res} für die Resonatorverluste.

Ein weiterer wichtiger Zeitpunkt ist erreicht, wenn die Inversionsdichte auf den Schwellenwert abgesunken ist. Dann ändert sich die Photonendichte gemäß Gl (2b) nicht mehr, d.h. es werden also keine weiteren Laserphotonen erzeugt. Man erhält aus Gl. (2a):

(5) $$\frac{dn}{dt} = -\frac{p_{max}}{\tau_{res}} \text{ mit } p(t) = p_{max}$$

Die Photonendichte fällt also nach Erreichen des Maximums ab mit der Zeitkonstante für die Resonatorverluste

Der Maximalwert der Photonendichte ist gegeben durch:

(6) $$p_{max} = n_S \cdot \ln\left(\frac{n_S}{n_i}\right) - \left(n_S - n_i\right)$$

Dementsprechend weisen Laser mit einer nur sehr geringen Lebensdauer ihres oberen Laserniveaus, also einer nur sehr geringen überschüssigen Inversionsdichte, keine signifikante Steigerung der Ausgangsleistung im Pulsbetrieb auf.

Im Experiment wird das Cr:YAG-Modul in den Resonator eingebracht und eine erneute Feinjustage des Lasers durchgeführt. Mit einer PIN-Diode wird das Lasersignal gemessen und mit einem Oszilloskop aufgezeichnet.

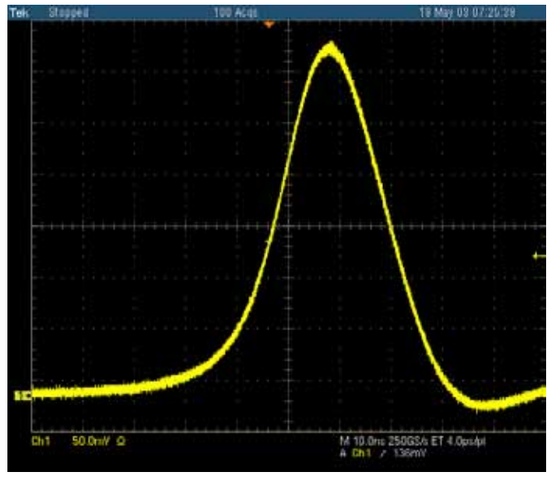


Abb. 1: Pulsverlauf eines passiv gütegeschalteten Nd:YAG-Lasers