

DPSS für Anfänger

Grundlagen zum Bau eines 532 nm Festkörperlaser

19.01.2004

V0.2

Andreas Funcke

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Lasersicherheit	3
3	Aufbau eines DPSSL-Systems	3
3.1	Pumpsystem	4
3.2	Laserresonator	4
3.3	IR-Filter	5
4	Komponentenauswahl	6
4.1	Laserdiode	6
4.2	Laserdiodentreiber	7
4.3	TEC (thermo electric cooler)	7
4.4	Laser- und nicht-lineare Optiken	7
5	Links	8
6	FAQ	9
7	Glossar	10
8	Anhang	11

1 Einleitung

„DPSS für Anfänger“ richtet sich an alle laserinteressierten Hobbybastler, die schnell einen groben Überblick über diese Thematik erlangen wollen. In vielen Bereichen ist diese Zusammenfassung weder vollständig noch sehr detailreich.

DPSSL (diode pumped solid state laser = Dioden gepumpte Festkörperlaser) basieren wie der Name bereits vermuten lässt nicht auf die Anregung eines Gas, sondern auf die Anregung eines Festkörpers. Der Festkörper (Kristallgitter, z.B. Nd:YAG = Neodymium doped Yttrium Aluminum Garnet oder Nd:YVO₄ = Neodymium doped Yttrium ortho Vanadate) wird auch als Laser-Medium bezeichnet. Mit Hilfe einer starken Lichtquelle (Laserstrahlung, Blitzlampe) wird das Kristallgitter angeregt („gepumpt“) und emittiert daraufhin Laserstrahlung. In den meistens Systemen wird das Kristallgitter mit einer 808 nm Laserdiode angeregt und emittiert Strahlung mit einer Wellenlänge von 1064 nm. Für die Erzeugung einer Laserstrahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich benötigt man zusätzlich einen Frequenzverdoppler (KTP). Die Laserstrahlung mit 532 nm ($1064 \text{ nm} / 2$) ist für das menschliche Auge als grün zu erkennen. Das ist natürlich nur die halbe Wahrheit. Für ein funktionierendes System sind weitere Komponenten erforderlich. Diese werden im Kapitel 3 („Aufbau eines DPSSL-Systems“) näher erläutert.

2 Lasersicherheit

Das Thema Lasersicherheit sollte natürlich nicht außen vor gelassen werden. Dennoch werde ich es an dieser Stelle nicht behandeln. Im Internet (z.B. unter <http://www.repairfaq.org/sam/laser cds.htm>) findet man dazu jede Menge Hinweise und Informationsmaterialien.

3 Aufbau eines DPSSL-Systems

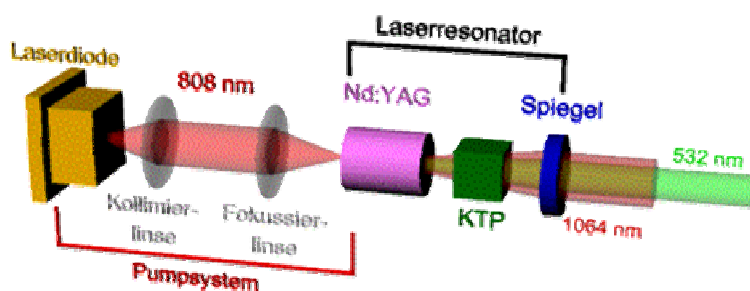


Abb. 1: Aufbau eines DPSSL-Systems

3.1 Pumpsystem

Das Pumpsystem besteht aus einer Laserdiode, einer Kollimierlinse (Kollimatorlinse) und einer Fokussierlinse (Kollimatorlinse und Fokussierlinse werden auch als Korrekturoptik bezeichnet). Ziel ist es, die divergierende und ovale Strahlung der Laserdiode (beispielsweise bei einer leistungsstarken Laserdiode mit einem „langen“ Emitter von 200µm) auf einen Punkt (Punktspace) zu fokussieren, wobei der auftreffende Punkt zudem möglichst rund sein sollte. Außerdem sollte der Pumpstrahl eine geringe Divergenz aufweisen, da der Kristall (Nd:YAG, Nd: YVO₄) eine gewisse Strecke für die Absorption der Pumpenergie benötigt. Abhängig von der Dotierung wird die Energie nicht an einem Punkt absorbiert, sondern über die Länge des Kristalls. Deshalb können hochdotierte (3%) Kristalle dünner sein (0,5mm) und niedrigdotierte (0,5 bzw. 1%) müssen dicker sein (1-2mm). Ideal wäre es, mit einem parallelen Pumpstrahl von 25µm Durchmesser zu pumpen. Da dies technisch nicht möglich ist (außer vielleicht mit einem Titan-Saphir-Laser), ist jedes Pumpsystem ein Kompromiss. Für eine möglichst gute Effizienz muss der Fokus genau auf der Oberfläche des Kristalls liegen bzw. auf der Dotierung. Je kleiner der Punkt ist, der die Dotierung trifft, desto mehr Energie wird durch den Kristall absorbiert und zur Erzeugung der 1064 nm Emission verwendet. Es reicht aber nicht aus, die Pumpdiode möglichst stark zu fokussieren. Bei der Fokussierung über eine Linse mit einer sehr kurzen Brennweite, erreicht man zwar einen sehr kleinen Pumpspot, der Einstrahlwinkel wird aber umso größer. D.h. direkt hinter dem Pumpspot weitet sich der Pumpstrahl wieder stark auf. Der Kristall kann nur direkt im Fokuspunkt absorbieren und die thermische Belastung für das Material ist an dieser Stelle sehr groß. Die Folge ist ein instabiles Verhalten des Lasers. Eine sehr präzise Justage wird daher vorausgesetzt. An dieser Stelle sind Versuche angebracht, um einen Kompromiss zwischen z.B. 200mW unstabilem grün bei sehr starker Pumpfokussierung und 80mW stabilem grün bei schwächerer Fokussierung zu finden.

Oftmals ist das Pumpsystem nur mit einer Laserdiode aufgebaut. Die Fokussierung wird dabei durch eine auf der Laserdiode aufgebrachten Linse bewerkstelligt. Bei Laserpointern bzw. günstigen Systemen wird auch gerne auf eine Fokussierung verzichtet und der Kristall direkt auf der Laserdiode befestigt.

Die Laserdiode emittiert eine Strahlung von 808 nm und wird mit einem Laserdiodentreiber mit konstantem Strom betrieben. Um Schaden an der Laserdiode zu vermeiden ist eine ausreichende Kühlung erforderlich. Da die Wellenlänge der Laserdiode abhängig von der Temperatur ist und die Effizienz (Absorption der IR-Strahlung) des Kristallgitters abhängig von der Wellenlänge ist, muss für einen professionellen Betrieb zusätzlich eine aktive Temperaturregulierung (TEC = thermo electric cooler) eingesetzt werden.

3.2 Laserresonator

Der Laserresonator besteht aus dem Laser-Medium (Kristallgitter), dem KTP (Frequenzverdoppler) und dem Resonatorspiegel (Auskoppeloptik, OC = Outputcoupler).

Das Laser-Medium ist ein Neodym (Nd) Kristallgitter, das entweder mit YAG (Yttrium Aluminum Garnet) oder mit YVO₄ (Yttrium ortho Vanadate) dotiert ist. Im Gegensatz zum Nd:YAG Kristallgitter emittiert Nd:YVO₄ polarisierte Strahlung. Zudem muss ein Nd:YVO₄ Kristall auch in der richtigen Polarisationslage zum Pumpstrahl und damit zur Laserdiode ausgerichtet sein. Dies kann man testen, indem man die Pumpdiode durch den Kristall fokussiert und hinter dem Kristall misst, wie viel Pumpleistung durchgeht, d.h. nicht absorbiert wird. Diese Messung erfolgt ohne Resonatorspiegel und KTP! Dreht man den Nd:YVO₄ Kristall um 90 Grad, sieht man deutlich einen Unterschied. Der Kristall befindet sich in der korrekten Position, wenn die Absorption maximal ist. Die Seite des Kristalls, die zur Laserdiode zeigt ist mit einer HT-Beschichtung bei 808 nm und einer HR-Beschichtung bei 1064 nm versehen. Die gegenüberliegende Oberfläche ist mit einer AR-Beschichtung bei

1064 nm versehen. Um das Laser-Medium vor Überhitzung zu schützen, ist eine ausreichende Kühlung notwendig. Bei der Verwendung eines Nd:YVO₄ Kristalls

Der KTP (Potassium Titanyl Phosphate, KTiOPO₄) dient zur Frequenzverdoppelung der vom Laser-Medium emittierten Strahlung. Die Seite des KTPs, die in Richtung des Laser-Mediums zeigt ist mit einer AR-Beschichtung bei 1064 nm versehen. Die gegenüberliegende Seite ist mit einer AR-Beschichtung bei 532 nm versehen. Das Laser-Medium und der KTP müssen phasenrichtig (im Winkel von 45°) zueinander platziert werden. Eine Temperaturregelung des KTPs ist in Hinblick auf die Effizienz sinnvoll, aber nicht unbedingt notwendig.

Der Resonatorspiegel dient zur Auskopplung der 532 nm Strahlung und zur Reflektion der 1064 nm Strahlung. Die Seite des Resonatorspiegels, die zum KTP zeigt ist mit einer HR-Beschichtung bei 1064 nm und einer AR-Beschichtung bei 532 nm versehen. Die gegenüberliegende Oberfläche ist evt. mit einer AR-Beschichtung bei 532 nm versehen.

Es lassen sich natürlich auch andere Anordnungen realisieren, z.B. hat die Firma Casix (http://casix.com/product/Laser_DPM.htm) Hybrid-Module (composite crystals, composite crystal assemblies → Kombination aus Nd:YVO₄, KTP und Spiegel) entwickelt. Diese Module benötigen nur noch eine Pumpdiode und eine Fokussierlinse (die evt. direkt auf die Laserdiode aufgebracht ist). Die Inbetriebnahme dieser DPSS Laser ist besonders einfach zu realisieren, allerdings vertragen die verklebten Kristalle eine maximale Pumpleistung von 500 mW. Damit lassen sich max. 60 mW (Laborwert) Ausgangsleistung realisieren .

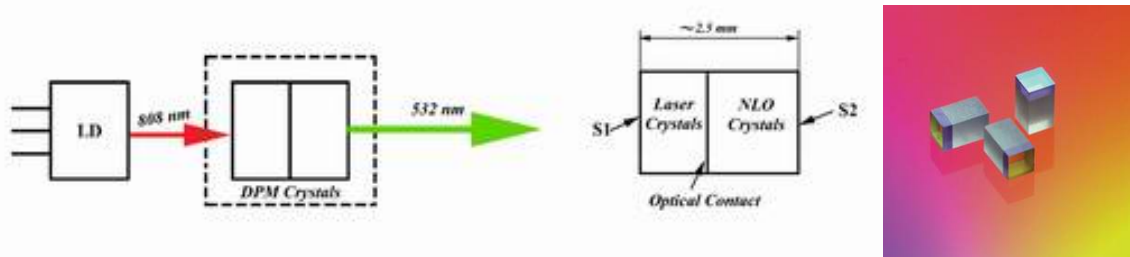


Abb. 2: DPM Modul der Firma Casix

3.3 IR-Filter

Nach dem Auskoppelspiegel sollte ein IR-Filter vorgesehen werden. Diese ist notwendig um die restliche Strahlung der unsichtbaren Wellenlängen 808 nm und 1964 nm auszufiltern. Selbstverständlich wird dadurch auch ein minimaler Teil der grünen 532 nm Strahlung absorbiert (es gibt keine optimalen Komponenten), doch in Hinblick auf die Sicherheit sollte man dies in Kauf nehmen.

Für eine optimale Effizienz (Ausbeute) ist eine getrennte aktive Temperaturregelung sowohl für die Laserdiode als auch für den KTP erforderlich. Das Laser-Medium hingegen muss nur gekühlt werden. Bei kleineren Systemen bis ca. 200 mW ist es einfacher nur eine aktive Kühlung der Laserdiode vorzunehmen. Mit Hilfe einer stärkeren Laserdiode wird die Ineffizienz des restlichen Systems ausgeglichen. Dies ist weniger Aufwand und damit auch günstiger in der Realisierung.

4 Komponentenauswahl

4.1 Laserdiode

Laserdioden gibt es von vielen verschiedenen Herstellern und in verschiedenen Ausführungen. Von außen betrachtet ist die Gehäuseform sofort ersichtlich. Für gepulste Systeme sind Kunststoffgehäuse für die Kühlung ausreichend. Sobald man jedoch die Pumpdiode kontinuierlich (cw = continuous wave) betreibt ist ein Metallgehäuse notwendig. Laserdioden bis 4W Ausgangsleistung werden in folgenden Gehäuseformen angeboten:

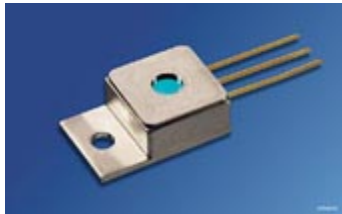


Abb. 3: Osram SPL 2Y81 im TO-220 Gehäuse



Abb. 4: Osram SPL 2F81 im TO-220 Gehäuse mit FC-Anschluss



Abb. 5: Verschieden Gehäuseformen von Boston Laser Inc.

Laserdioden ab 4W werden in speziellen Gehäusen gefertigt:



Abb. 6: Osram SPL MN81-D Laserdioden-Barren

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, gibt es Laserdioden mit und zusätzlichen Optiken. Sowohl Korrekturoptiken (Ausgleich der rechteckigen zu einer quadratischen Abstrahlung) als auch Fokussierlinsen sind bei verschiedenen Modellen bereits integriert. Durch die zusätzlichen Features entfallen gegebenenfalls externe Optiken, was den Aufbau wiederum erleichtert.

Laserdioden-Hersteller:

[Boston Laser, Inc.](#)

[B&W Tek, Inc.](#)

[Coherent, Inc.](#)

[High Power Devices](#)

[Industrial Microphotonics Company](#) (High Power Bars and Arrays)

[Laser Diode Array, Inc.](#) (High Power Bars, Arrays, Stacks)

[Laser Diode, Inc.](#)

[OSRAM Opto Semiconductors](#)

[PD-LD, Inc.](#)

[Spectra-Physics](#)

[Thomson-CSF Laser Diodes](#)

Laserdioden-Distributoren:

[Digi-Art](#)

[Eiergeier](#)

[HB-Laserkomponenten](#)

[Laser Components](#)

[O/E Land, Inc.](#)

[Power Technology, Inc.](#)
[Roithner Lasertechnik](#)
[Thorlabs, Inc.](#)

Eine der im DPSS Bereich bekannten Laserdioden (SPL 2Y81, Laser Diode in TO-220 package, 2.0 W cw, 808 nm) wird von der Firma Osram (Sparte von Infineon übernommen) produziert. Nähere Informationen bekommen Sie unter:

[Osram High-Power Laser Diodes](#)
[Osram Laser Diodes in Metal Package, cw](#)

4.2 Laserdiodentreiber

Eine Laserdiode muss wie jede andere LED auch mit einem Konstantstrom betrieben werden. Da Laserdioden sehr empfindlich auf Überstrom reagieren können, empfiehlt es sich für die ersten Versuche einen fertigen Treiber zu kaufen oder einen getesteten Treiber nachzubauen und diesen vor dem Anschluss an die LD gründlich zu überprüfen.

Auf der Homepage von Guido Jäger (<http://www.mylaserpage.de>) ist ein Schaltplan eines passenden Treibers veröffentlicht. Mit etwas Eigeninitiative lässt sich daraus ein Layout entwerfen und damit eine Schaltung aufbauen. Der Treiber ist für Laserdioden mit einer Stromaufnahme bis 2A geeignet und somit für die ersten Versuche mehr als ausreichend dimensioniert. Apropos ausreichend, der Leistungstransistor sollte unbedingt gekühlt werden. Dies muss nicht aktiv sein, es reicht ein gut dimensionierter Kühlkörper.

Fertig aufgebaute Laserdiodentreiber erhalten sie bei folgenden Anbietern:

[B&W Tek, Inc.](#)
[Eiergeier](#)
[Meredith Instruments](#)
[Roithner Lasertechnik](#)

4.3 TEC (thermo electric cooler)

Wir in einer folgenden Version implementiert.

4.4 Laser- und nicht-lineare Optiken

Wir in einer folgenden Version implementiert.

5 Links

http://www.casix.com/	Casix	Optiken und Kristalle
http://www.eiergeier.at	Eiergeier	DPSS Forum, Komponenten, usw.
http://www.laserfan.de	Das Laser-Diskussionsforum	Diskussionsforum über Laser
http://www.laserfreak.de	Forum für Laser- und Showtechnik	Wahrscheinlich das bekannteste Forum im Bereich Laser
http://www.laspro.de/	Digi-Art	DPSS Simulation, Eigenbau, Komponenten
http://www.mylaserpage.de/	Guido Jäger	Website für Anfänger und Hobbylaseristen, unter anderem ist ein Schaltplan für einen Diodentreiber verfügbar
http://www.repairfaq.org/sam/lasercds.htm	Sam's Laser FAQ	Home-Built Diode Pumped Solid State (DPSS) Laser
http://www.repairfaq.org/sam/laserfaq.htm	Sam's Laser FAQ	Alles (wirklich alles) zum Thema Laser
http://www.roithner-laser.com/	Roithner Lasertechnik	Treiber, Optiken, Kristalle, ...
http://www.tms-laser.net/		

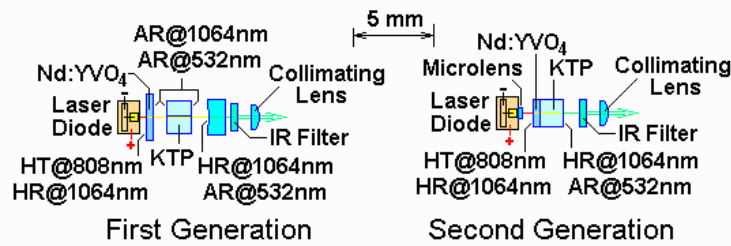
6 FAQ

- *Was bedeuten die Anschlüsse LD und PD an einer Laserdiode?*
LD steht für Laserdiode und ist mit dieser verbunden. PD steht für Photodiode und wird evt. für die Regelung der Laserdiode verwendet (closed-loop Regelung der Ausgangsleistung).
- *Wie erkenne ich beim Laser-Medium, welche Seite zur Laserdiode zeigen muss?*
Die Seite mit einem metallischen Schimmern (gegen ein Lichthalten) zeigt in Richtung Laserdiode.
- *Wie erkenne ich beim KTP, welche Seite zum Laser-Medium zeigen muss?*
Die grün schimmernde Seite ist mit der 532 nm Beschichtung versehen und die lila schimmernde (farblos oder etwas gelblich bzw. leicht violett) Seite ist mit der 1064 nm Beschichtung versehen und zeigt zum Laser-Medium Kristall.
- *Welche Ausgangsleistung erreiche ich mit wie viel Leistung der Laserdiode?*
Das Verhältnis ist ca. 1:10
- *Wozu kann man den Modulationseingang eines Diodentreibers nutzen?*
Zur Regulierung der Laserleistung und für Blanking.
- *Was versteht man unter dem Begriff Festkörperlaser?*
Ein Festkörperlaser emittiert die Strahlung durch ein angeregtes („gepumpt“) Laser-Medium (Kristallgitter, z.B. Nd:YAG = Neodymium doped Yttrium Aluminium Garnet oder Nd:YVO₄ = Neodymium doped Yttrium ortho Vanadate). Die Anregung erfolgt entweder durch einen anderen Laser oder durch eine Blitzlampe.

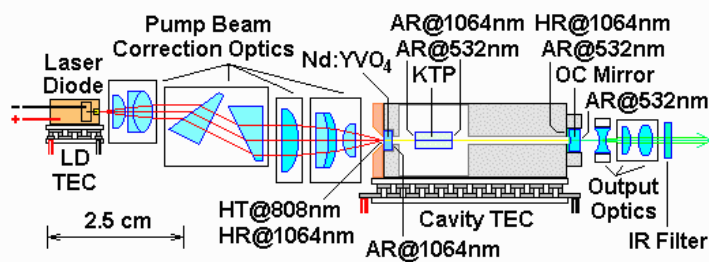
7 Glossar

Abschaltstrom	Die Stromstärke bei dem die Laserdiode aus geht (für Blanking)
AR-Beschichtung	Antireflexbeschichtung
Blanking	Abschaltung des Laserstrahls (wird beispielsweise bei einer Lasershow verwendet, um Verbindungslinien auszublenden)
Coating	Beschichtung
cw	kontinuierlich (continuous wave)
diffus	Strahlen, die weder einen gemeinsamen Ausgangspunkt noch einen gemeinsamen Zielpunkt haben
Diodenstrom	Strom den die Laserdiode verbraucht
divergent	Strahlen, die von einem gemeinsamen Punkt radial ausstrahlen
DPSS	diode pumped solid state
DPSSL	diode pumped solid state laser
Gridlinse	Linse zum Fokussieren (wird hauptsächlich in Laserpointern verwendet)
HR-Beschichtung	hoch reflektierende Beschichtung
HT-Beschichtung	hoch Transmissions-Beschichtung
Hybrid-Module	Kombination aus Laser-Medium und Frequenzverdoppler
Idle Current	Leerlauf Strom
IR	Infrarot
IR-Filter	Infrarotfilter
Kollimator	Optik (Linse) zur Bündelung einer Strahlung
Konvergent	Strahlen, die auf einen gemeinsamen Schnittpunkt zulaufen
Korrekturoptik	Kollimator- und Fokussierlinse
KTP	Frequenzverdoppler (Potassium Titanyl Phosphate, KTiOPO_4)
LAR	Lensed Diode Arrays
Laser-Medium	Kristallgitter, das durch Anregung mit einer Lichtquelle (Laser oder Blitzlampe) Strahlung emittiert, siehe Nd:YAG und Nd:YVO ₄
LD	Laserdiode
Modulation	Änderung der Laserleistung
Nd	Neodym, siehe auch Nd:YAG und Nd:YVO ₄
Nd:YAG	Neodymium doped Yttrium Aluminium Garnet
Nd:YVO ₄	Neodymium doped Yttrium ortho Vanadate
OC	Output coupler (Auskoppelspiegel)
TEC	thermo electric cooler
Thermistor	Temperaturfühler

8 Anhang



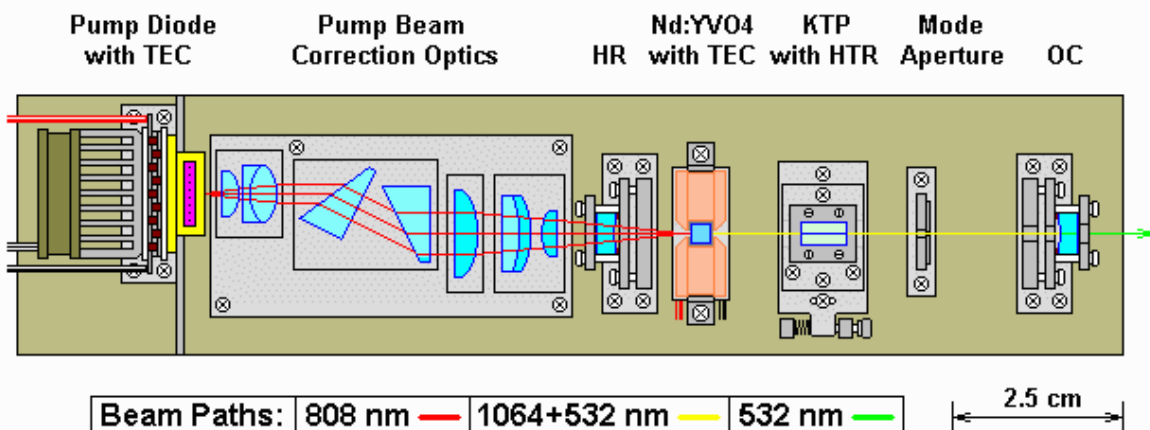
Green DPSS Laser Pointers



Medium Power (50 to 100 mW) DPSS Lasers

Beam Paths: 808 nm — 1064+532 nm — 532 nm —

Organization of Basic Green DPSS Lasers



Home-Built DPSS Laser Assembly (Preliminary)

