



Thema:
Lernfeld:
Zeitraum:

Name:
Klasse:
Datum:

Information Lasertypen und Laserschutzklassen

Neue Laserklassen nach DIN EN 60 825-1(VDE 0837 Teil1): 2001-11		
Klasse 1	Augensicher auch bei längerer (absichtlicher) Bestrahlung, auch bei Bestrahlung mit Lupen und Ferngläsern.	40 μ W im blauen Spektralbereich 400 μ W im rotem Spektralbereich (Messblenden für Lupen oder Ferngläser)
	Gekapselte Laser höherer Leistung. Durch die vollkommene Einhausung wird ein Austritt von Strahlung vollkommen verhindert.	Kein Strahlaustritt, auch nicht bei einer Fehlbedienung
Klasse 1M	Augensicher für das Auge, auch bei längerer (absichtlicher) Bestrahlung, möglicher Augenschaden bei Bestrahlung mit Lupen und Ferngläsern.	Wie Klasse 1, aber Messblende für das Auge.
Klasse 2	Sichtbare Laserstrahlung, augensicher bei kurzzeitiger Bestrahlung, auch bei Bestrahlung mit Lupen und Ferngläsern.	1 mW (Messblenden für Lupen und Ferngläser)
Klasse 2M	Sichtbare Laserstrahlung, augensicher bei kurzzeitiger Bestrahlung für das freie Auge, möglicher Augenschaden bei Bestrahlung mit Lupen und Ferngläsern.	Wie Klasse 2, aber Messblende für das freie Auge
Klasse 3R	Praktisch keine Gefahr für die Augen bei kurzzeitiger unabsichtlicher Bestrahlung. Gefahr bei unsachgemäßer Verwendung durch nicht eingewiesenes Personal.	5 x Klasse 2 im sichtbarem Bereich (d.h. 5mW) 5 x Klasse 1 außerhalb des sichtbaren Bereiches
Klasse 3B	Gefahr für die Augen durch den direkten Strahl und spiegelnde Reflexionen. Möglich sind geringfügige Hautverletzungen bei Leistungen nahe der Obergrenze.	500 mW
Klasse 4	Gefahr für die Augen durch den direkten und diffus reflektierten Strahl, Gefahr für die Haut, Brandgefahr.	nach oben hin offen.

M: magnification

R: relaxiert

Die alten Laserklassen nach DIN EN 60 825-1: 1993		
Klasse 1	Laser der Klasse 1 sind ungefährlich und eigensicher, d.h. auch bei Fehlmanipulationen oder bei Verwendung optischer Hilfsmittel (z.B. Fernglas, Mikroskop etc.).	
Klasse 2	Laser der Klasse 2 strahlen nur im sichtbaren Bereich und geben im Dauerstrichbetrieb (länger anhaltender Strahl) höchstens 1 mW Leistung ab. Der direkte Blick in den Laserstrahl erzeugt wohl eine starke Blendung, führt aber zu keinem Schaden, auch nicht bei Verwendung optischer Hilfsmittel. Das reflexartige Schliessen der Augenlider darf jedoch nicht unterdrückt werden.	
Klasse 3A	Die zugängliche Laserstrahlung wird für das Auge gefährlich, wenn der Strahlquerschnitt durch optische Instrumente verkleinert wird. Sie ist für das Auge ungefährlich, solange der Querschnitt nicht durch optische Instrumente (Lupen, Linsen, Teleskope) verkleinert wird! Ist dies nicht der Fall, ist die ausgesandte Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm) bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25s), in den anderen Spektralbereichen auch bei Langzeitbestrahlung, ungefährlich. Die Abstrahlung beträgt im sichtbaren Bereich maximal 5 mW.	
Klasse 3B	Laser der Klasse 3B geben im Dauerstrichbetrieb höchstens 0,5 Watt Leistung ab. Der direkte Blick in den Strahl oder in eine spiegelnde Reflexion kann auch schon bei kurzen Einwirkungszeiten zu Augenschäden führen.	
Klasse 4	Alle Laser, die die Bedingungen der Laserklassen 1, 2, 3A, oder 3B nicht erfüllen, werden der Klasse 4 zugeordnet. Für Laser der Klasse 4 gibt es keine obere Grenze. Strahl und Reflexion gefährden in hohem Masse Augen und Haut.	

Festkörperlaser

Als **Festkörperlaser** werden optisch angeregte Laser bezeichnet, deren verstärkendes (aktives) Medium aus einem kristallinen oder glasartigen (amorphen) Festkörper besteht. In diesem sog. Wirtsmaterial oder Wirtskristall sind in bestimmter Konzentration (Dotierung) die laseraktiven Ionen enthalten.

Funktion

Der Wirtskristall oder ein Glas ist mit Ionen eines fremden Stoffes dotiert. Diese Fremdionen sind das eigentliche aktive Medium der Festkörperlaser.

Die für das Lasern genutzten Elektronenniveaus dieser Ionen liegen innerhalb des d-Orbitals. Diese Orbitale sind nicht an chemischen Bindungen beteiligt. Das Trägermaterial (Wirtskristall, Glas) hat daher nur geringen Einfluss auf die Laser-Eigenschaften der Ionen.

Um im aktiven Medium eine Energieaufnahme zu erreichen, müssen Elektronen ins obere Pumpniveau gehoben werden. Dieser Vorgang heißt **Pumpen**. Festkörperlaser werden immer optisch (d.h. durch Strahlung) gepumpt. Aus der für die Dotierungsionen charakteristischen Energiedifferenz zwischen unterem und oberem Pumpniveau ergibt sich die wirksame Pumplicht-Wellenlänge. Oberes und unteres Pumpniveau stimmen meist nicht mit oberem und unterem Laserniveau überein (man spricht von 3- oder 4-Niveau-Lasern): leert sich z.B. das untere Laserniveau sehr schnell durch Gitter - Relaxationen in das untere Pumpniveau, lässt sich viel leichter eine zum Lasern erforderliche Besetzungsinversion erreichen, da ja das untere Niveau kaum gefüllt ist.

Ebenso ist es hilfreich, wenn die Elektronen im oberen Laserniveau eine lange Verweildauer haben - deren Energie kann dann mit einer Güteschaltung schlagartig als Laserimpuls freigesetzt werden.

Die **Betriebsart** kann kontinuierlich oder gepulst sein, wobei Glaslaser (außer Faserlaser) nur gepulst betrieben werden. Die Pulsung kann durch das Pumpen (Blitzlampen) oder einen resonatorinternen (*intra-cavity*) optischen Schalter (Güteschalter) erfolgen. Kombiniert man beides (hohe Pump-Spitzenleistung durch Blitzlampe, danach Freisetzung der im oberen Laserniveau gespeicherten Energie durch Öffnen des Güteschalters), sind während einiger Nanosekunden Spitzenleistungen von einigen Megawatt erreichbar.

gängige Wirtsmaterialien / Wirtskristalle

- Glas (Stabform oder Faserlaser)
 - Vorteil : einfache Herstellung auch in großen Dimensionen
 - Nachteile (nicht bei Faserlasern!): geringe Wärmeleitfähigkeit, geringe Festigkeit
- Al_2O_3 (Korund, Saphir) (z.B. Rubin (Chrom-Dotierung), Ti:Saphir-Laser)
 - Vorteil : hohe Wärmeleitfähigkeit, hohe Festigkeit
 - Nachteil: relativ hohe Absorption, teuer
- YAG (Yttrium-Aluminium-Granat-Laser) Dotierung Nd, Er, Yb
 - Vorteil : hohe Wärmeleitfähigkeit, hohe Festigkeit, geringe Absorption
 - Nachteil: teuer
- Yttrium-Vanadat (YVO_4), Dotierung Nd
- YLF
- Alexandrit

häufig verwendete Dotierungsmaterialien

- Chrom war das Dotierungsmaterial des ersten Lasers des Rubinlaser (694,3 nm (rot)) Aufgrund der geringen Effizienz wird er heute kaum noch verwendet.
- Neodym, 1064nm, Der wichtigste kommerzielle Festkörperlaser: Nd:YAG-Laser, bei 1064 nm (infrarot), beziehungsweise frequenzverdoppelt bei 532 nm (grün). Auch möglich sind: Nd:Glas, Nd:YLF ...
- Ytterbium, 1030nm, erlaubt im Laserbetrieb einen hohen Wirkungsgrad >50%. Es bedarf dazu allerdings eines schmalbandigen Pumpens mit Laserdioden (940nm). Das wichtigste Material mit dieser Dotierung ist der Yb:YAG-Laser, z.B. hochdotiert als Scheibenlaser mit einer Wellenlänge von 1030nm.

- Titan Ein wichtiger modengekoppelter Festkörperlaser: Ti:Saphir-Laser, 670-1100 nm (rot-infrarot), aufgrund breitbandiger Verstärkung für Pulse im fs-Bereich geeignet
- Erbium Wellenlänge 3µm, Pumpen bei 980nm, sog. "augensicherer" Laser, Verwendung für Laser-Entfernungsmesser und in der Medizin

Pumpanordnungen

Das Pumpen erfolgt z.B. durch das Beleuchten des Lasermediums (Laserstab) mit intensiven Lichtquellen wie z.B. Gasentladungslampen (Bogenlampen oder Blitzlampen).

Die verwendeten Gasentladungslampen müssen einen möglichst hohen Spektralanteil bei der Pump- Wellenlänge (i. Allg. im nahen Infrarot NIR) besitzen. Es sind Krypton- oder Xenon-Bogenlampen mit Wolfram-Elektroden, die einzeln oder zu zweit parallel zum Stab angeordnet sind.

Laserstab und Lampen sind meist wassergekühlt (deionisiertes Wasser umspült Lampen und Stab).

Der Laserstab muss möglichst gleichmäßig ausgeleuchtet sein. Das erreicht man mit Innenreflektoren aus einer Goldschicht oder Halbschalen aus einer diffus reflektierenden weißen Keramik.

Der Laserstab muss vor harter Ultraviolettstrahlung der Lampen geschützt werden - dazu dient ein Schutzglasrohr.

Pumpen mit Diodenlasern

Seitdem Halbleiterlaser ausreichender Leistung verfügbar sind, werden Festkörperlaser häufig mit Laserdioden geeigneter Wellenlänge optisch gepumpt. Dadurch sind ganz neuartige Festkörperlaser realisierbar geworden (Faserlaser und Scheibenlaser), jedoch ergeben sich auch Vorteile bei konventionellen Festkörperlasern durch das Pumpen mit Laserdioden.

Vorteile

- Laserdioden haben sehr hohe Wirkungsgrade und sie können exakt auf der Pumpwellenlänge arbeiten - dadurch steigt die Gesamteffizienz der Festkörperlaser von 1...3% (lampengepumpt) auf 10...25% (diodengepumpt)
- aufgrund der höheren Pumpeffizienz verringert sich die Erwärmung des Laserstabes, es entstehen weniger mechanische Spannungen, daher ist die Zerstörschwelle höher und mit der gleichen Stabgröße lassen sich höhere Leistungen erzeugen
- die geringere Erwärmung des Stabes verringert die durch inhomogene Temperaturverteilung in ihm hervorgerufene Linswirkung - die Strahlqualität und -stabilität steigt wesentlich.
- Laserdioden haben eine höhere Lebensdauer (>10.000h) als Bogenlampen (einige 100h), daher verlängern sich die Wartungszyklen

Nachteile

- Laserdioden sind sehr viel teurer als Bogenlampen, daher sind die Investitionskosten höher
- Laserdioden weisen eine Degradation, verbunden mit einer Abnahme ihrer Effizienz auf 80% des Anfangswertes nach etwa 10...20.000h Betriebsdauer auf und müssen dann ersetzt werden.

Pumpen von Faser- und Scheibenlasern

Bei Faser- und Scheibenlasern entfällt das Problem der thermischen Einflüsse auf die optischen Eigenschaften - mit ihnen lassen sich daher hohe Leistungen bei guter Strahlqualität erzeugen.

Jedoch muss die Pumpstrahlung auf kleine Flächen konzentriert werden, weshalb das Pumpen nur mit Diodenlasern möglich ist.

Bei Scheibenlasern durchläuft die Pumpstrahlung die Scheibe mehrfach, indem sie mit einem Prismenreflektor mehrfach zurück auf die Scheibe gelenkt wird, um möglichst vollständig absorbiert zu werden.

Beim Faserlaser gelangt die fokussierte Pumpstrahlung durch die Endfläche der Faser in diese hinein (endgepumpt) oder eine Umhüllung (cladding) der Faser führt die Pumpstrahlung entlang dem aktiven (dotierten) Faserkern. Auch die umgekehrte Anordnung (Pumpstrahlung im Kern) ist möglich.

Resonator

Ein Resonator ist (außer beim Faserlaser) erforderlich und besteht wie bei anderen Lasern aus einem 100%-Spiegel (Endspiegel) und einem teildurchlässigen Spiegel (Auskoppelspiegel). Es sind für die Laserwellenlänge geeignete dielektrische Interferenz-Spiegel, da Metallspiegel die Strahlintensität nicht überstehen bzw. zu große Verluste aufweisen. Innerhalb der Spiegel befindet sich der an seinen Endflächen entspiegelte Kristallstab sowie ggf. weitere optische Bauteile, z.B. Kristalle zur Frequenzverdopplung/-vervielfachung oder zur Güteschaltung

Geschichte

Der erste je gebaute Laser, entwickelt vom Maiman im Jahre 1960, war ein **Festkörperlaser** - ein lampengepumpter Rubinlaser.

Lampengepumpte Nd:YAG-Laser für kontinuierlichen und gepulsten Betrieb sowie Nd:Glas-Laser für sehr hohe Pulsenergien bildeten lange Jahre die wesentlichsten Vertreter von Festkörperlasern in Industrie und Forschung. Seit etwa 10 Jahren erobern sich durch die Möglichkeit des Pumpens mit Laserdioden eine Vielzahl neuartiger Festkörper-Laser und aktiver Materialien zahlreiche neue Anwendungen in Forschung und Industrie. Herausragende Ergebnisse sind Kurzpulslaser bis in den Sub-Pico-Sekunden-Bereich, miniaturisierte frequenzverdoppelte Festkörperlaser (z.B. grüne Laserpointer) und die extrem gute Fokussierbarkeit von Scheiben- und Faserlasern, die hohe Arbeitsabstände (z.B. in 1 Meter Abstand Metall schweißen) bzw. gute Schnittleistungen ermöglichen. Festkörperlaser lösen durch ihre gestiegene Effizienz, Strahlqualität und Leistung vielfach die industriellen [[CO₂-Laser]] mittlerer Leistung ab, da auf diese Weise z.B. die Strahlübertragung mit Lichtleitkabeln möglich ist und die Absorption auf Metallen besser ist.

Der Neodym-YAG Laser

Ein **Nd:YAG-Laser** (kurz für Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat-Laser) ist ein Festkörperlaser, der Licht mit der Wellenlänge 1064 nm emittiert. Dieser Laser ist in der Technik sehr gebräuchlich, denn er kann gut frequenzverdoppelt werden (Resultierende Wellenlänge ist 532 nm) und eignet sich aufgrund seiner möglichen hohen Ausgangsleistung für die Materialbearbeitung wie Schweißen, Schneiden und Bohren. Der entscheidende technische Vorteil besteht darin, dass sich der Laserstrahl aufgrund seiner Wellenlänge im Gegensatz zum CO₂-Laser durch ein Glasfaserkabel leiten läßt. Das Licht dieser Wellenlänge ist bei Leistungen ab Laserklasse 3R gefährlich für das Auge, da es weniger die Linse, sondern mehr die Netzhaut schädigt.

Es ist mit diesem Laser leicht möglich hohe Leistungen zu erreichen, bis zu 5 kW in Serienlasern. Es ist sowohl ein CW (Continuous Wave, d. h. kontinuierlicher), wie auch ein gepulster Betrieb möglich. Der Wirkungsgrad liegt bei ca. 5 Prozent. Das heißt, für 3 kW Leistung müssen 60 kW Energie eingesetzt werden, die Kühlung nicht inbegriffen.

Die Anregung der Neodym-Ionen erfolgt entweder üblicherweise über (Blitz- oder Bogen-)Lampen oder über Laserdioden bei einer Wellenlänge von 808 nm. Die Lebensdauer des Elektrons im angeregten Zustand beträgt 230 µs. Aufgrund dieser relativ langen Zeit ist es möglich, Energie im Kristall zu speichern, die dann in einem kurzen Puls abgerufen werden kann.

Links:

<http://www.soliton-gmbh.de>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Laser>