

Gepulster Scheibenlaser im grünen Spektralbereich - Eine maßgeschneiderte Lösung für die Flachbildschirmindustrie

Als der Laser vor nicht einmal 50 Jahren erfunden wurde spottete man, dass der Laser eine Lösung auf der Suche nach einem Problem sei. Mittlerweile hat sich viel verändert und viele Herausforderungen und Anwendungen der Fertigungstechnik, der Messtechnik und der Medizintechnik wären ohne den Laser nicht mehr zu realisieren. Viele Prozesse verlangen von der Strahlquelle bestimmte Eigenschaften, die ein für die jeweilige Anwendung optimiertes Lasersystem erfordern. Die Entwicklung solch eines maßgeschneiderten Lasersystems war Mittelpunkt der Zusammenarbeit des Instituts für Strahlwerkzeuge der Universität Stuttgart mit der Firma Jenoptik Laser, Optik, Systeme GmbH. Ziel war die Realisierung einer Laserstrahlquelle für die Flachbildschirm-Industrie.

Bei der Herstellung der Flachbildschirme wird auf einem Glassubstrat eine Schicht aus amorphem Silizium aufgebracht, in die dann die Transistoren zur Ansteuerung der einzelnen Pixel integriert werden. Schnell schaltbare Transistoren verlangen jedoch ein kristallines Substrat. Dazu muss zunächst die amorphe Siliziumschicht in eine polykristalline Schicht umgewandelt werden. Dieser Prozessschritt ist mit dem Laser realisierbar. Dazu wird ein gepulster Laserstrahl zu einem schmalen linienförmigen Fokus auf die Siliziumoberfläche fokussiert. Diese Linie ist typischerweise in einer Richtung lediglich 5 µm breit, während sie sich in die andere Richtung über einige Millimeter bis Zentimeter erstreckt. Durch den Laserpuls wird die typischerweise 50 nm dünne Siliziumschicht aufgeschmolzen und erstarrt unter Bildung einer polykristallinen Struktur. Durch ein Abrastern der gesamten Werkstückoberfläche können so große Flächen umgewandelt werden. Damit ein großer Teil der Pulsenergie zur Erwärmung des Materials genutzt werden kann, muss die

Absorption der Laserstrahlung ausreichend hoch sein. Die gebräuchlichsten Festkörperlaser emittieren Strahlung bei einer Wellenlänge von etwa 1 µm, bei der Silizium leider einer sehr geringe Absorption aufweist. Für die Strahlquelle sind daher Wellenlängen im grünen oder ultravioletten Spektralbereich, wo die Absorption von Silizium deutlich höher ist, vorteilhaft. Zur Zeit werden Excimer-Laser im ultravioletten Spektralbereich eingesetzt, deren maximale Pulswiederholrate jedoch bei wenigen Kilohertz liegt. Damit die Werkstücke schnell und wirtschaftlich bearbeitet werden können muß die Pulswiederholrate hoch, möglichst im Bereich zwischen 50 kHz und 100 kHz liegen. Da der Prozess eine Energie von einigen Millijoule pro Puls verlangt ergibt sich daraus eine erforderliche mittlere Leistung der Strahlquelle von etwa 100 W bis 200 W. Die zeitliche Länge der Pulse ist für diese Anwendung sehr kritisch und liegt im Bereich von 300 ns optimal für den Kristallisationsprozess. Ein Lasersystem, das all diese Anforderungen erfüllt, wurde auf Basis

der Scheibenlasertechnologie entwickelt und realisiert.

Das Konzept des Scheibenlasers wurde vor 15 Jahren am Institut für Strahlwerkzeuge der Universität Stuttgart und dem Institut für Technische Physik des DLR entwickelt. Bei einem Scheibenlaser wird als Verstärkungsmedium eine dünne Kristallscheibe eingesetzt, die mit ihrer verspiegelten Rückseite auf einer gekühlten Wärmesenke aufgebracht ist. Als Kristall kommt YAG, ein Yttrium-Aluminium-Granat, zum Einsatz, der mit Ytterbium dotiert ist. Die Pumpleistung wird über Laserdioden in den Kristall eingebracht. Vorteil der weniger als 0,2 mm dicken Kristallscheibe ist die gute Wärmeabfuhr über die gesamte Rückseite der Scheibe. In diesem Design lassen sich hohe Laserleistungen bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad und guter Strahlqualität erzielen. Für die Erzeugung der grünen gepulsten Strahlung wird die Laserscheibe in einen Resonator eingebaut, der in Abbildung 1 dargestellt ist. Der Resonator wird von hochre-

flektierenden Spiegeln (HR) und einem Polarisator (thin film polarizer, TFP), der nur eine Polarisationsrichtung reflektiert, gebildet. Neben dem Laserkristall befinden sich noch zwei weitere Kristalle im Resonator. Einer ist ein BBO Kristall. Dieser Kristall fungiert als schneller Schalter im Laserresonator. Wird eine elektrische Spannung an diesen Kristall angelegt, dreht der Kristall die Polarisierung der Laserstrahlung, die dann nicht mehr am Polarisator reflektiert wird sondern durch diesen aus dem Resonator ausgekoppelt wird. Der zweite Kristall besteht aus Lithiumborat (LBO). Dieser nichtlineare Kristall wandelt einen Teile der infraroten Strahlung bei 1030 nm, die in der Yb:YAG Scheibe erzeugt wird, in sichtbares, grünes Licht bei 515 nm um.

Zu Beginn eines Verstärkungszyklus liegt keine Spannung an dem BBO Kristall an. Der Resonator ist geschlossen. Durch spontane Emission strahlt die Yb:YAG Scheibe ständig infrarote Strahlung ab, die nun in dem geschlossenen

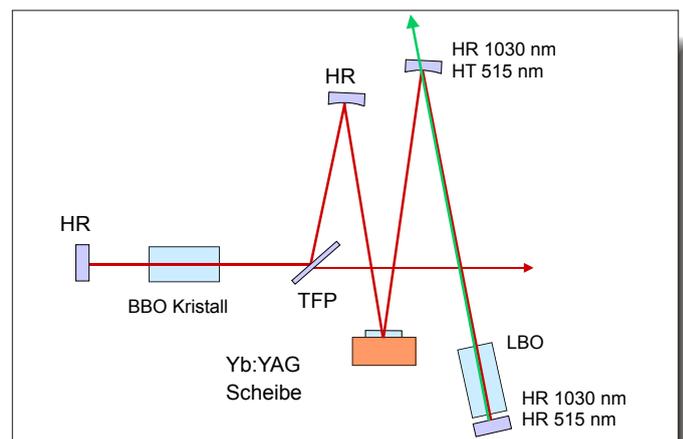


Abb. 1: Aufbau des Laserresonators.

Resonator weiter verstärkt wird. Im Resonator baut sich ein Laserpuls auf. Ein Teil dieser Strahlung wird im LBO Kristall in grünes Licht gewandelt, das durch einen für grünes Licht hochtransmissiven (HT) Spiegel aus dem Resonator ausgekoppelt wird. Haben die grünen Pulse die gewünschte Länge erreicht, muss der Pulsaufbau unterbrochen werden. Dies geschieht mit dem schnellen elektrooptischen Schalter, dem BBO Kristall. An den Kristall wird nun eine Hochspannung von etwa 3 kV angelegt. Die Polarisation des Strahles wird dadurch gedreht und der resonatorinterne infrarote Strahl wird durch den Polarisator aus dem Resonator ausgekoppelt. Die Verluste für den Resonator sind dadurch so groß, dass der im Resonator umlaufende infrarote Puls zusammenbricht. Mit ihm bricht dann folglich auch der grüne Puls zusammen. Somit lässt sich die Pulsdauer der Ausgangsstrahlen präzise einstellen und steuern.

In Abbildung 2 ist der zeitliche Verlauf der einzelnen Pulse dargestellt. Man erkennt, wie sich während der Verstärkungszeit ein infraroter Puls im Resonator aufbauen kann, der in einen grünen Puls gewandelt wird. Die blaue Kurve zeigt den Trigger für den BBO Kristall. Beim Abfallen der Kurve wird die Spannung an den Kristall angelegt. Dadurch wird der

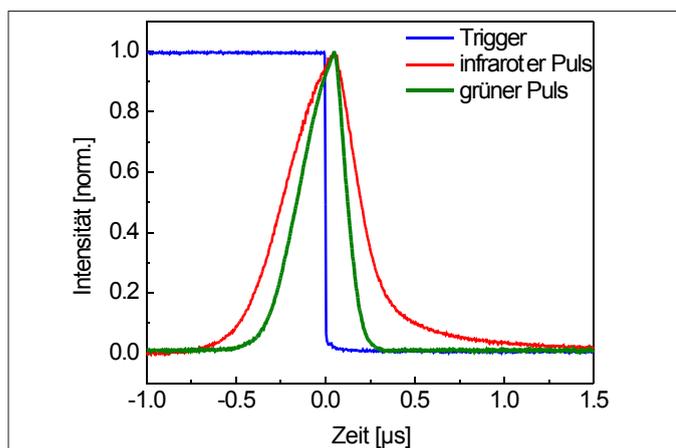


Abb. 2: Pulsaufbau im Resonator.

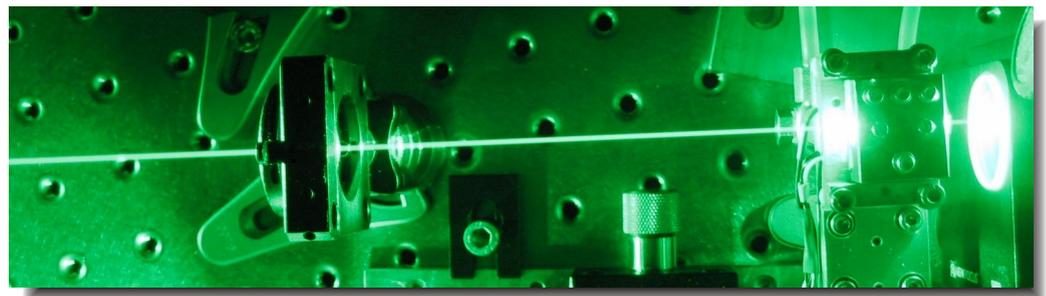


Abb. 4: Grüner Laserstrahl im Resonator.

Pulsaufbau gestoppt und der infrarote Puls im Resonator gelöscht. Über die Zeitspanne, die man dem Puls für die Verstärkung erlaubt, lässt sich die Pulsdauer der grünen Ausgangspulse einstellen.

werden. Da die Wandlung in den grünen Spektralbereich energieabhängig ist, kann bei der niedrigeren Pulswiederholrate f_p von 50 kHz eine höhere Ausgangsleistung bei gleicher Pumpleistung erzielt

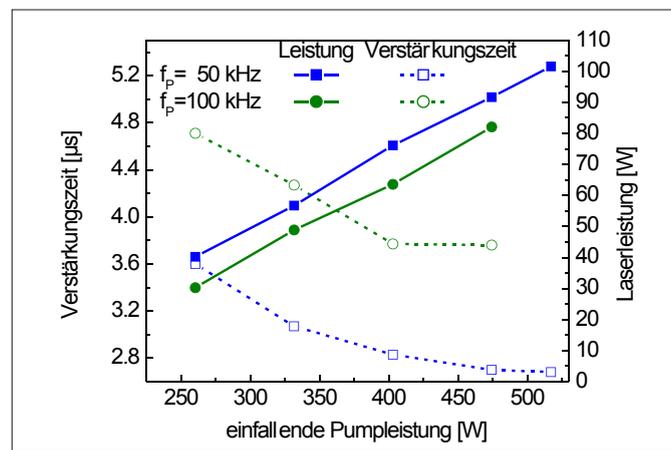


Abb. 3: Ausgangsleistung des Lasersystems.

Abbildung 3 zeigt, wie die mittlere Ausgangsleistung der grünen Laserpulse in Abhängigkeit von der eingestrahlenen Pumpleistung zunimmt. Eine Ausgangsleistung von über 100 W konnte demonstriert

werden. In dieser Abbildung ist auch dargestellt, wie die Verstärkungszeit angepasst werden muss, um für die verschiedenen Pulswiederholraten und Pumpleistungen die Pulslänge konstant bei den gewünschten 300 ns zu halten. Da bei höherer Pumpleistung die Verstärkung im Laserkristall zunimmt, kann sich der Puls im Resonator schneller aufbauen. Damit dennoch die Pulslänge der Ausgangspulse nicht zunimmt, muss die Verstärkung früher beendet werden.

Abbildung 4 zeigt den grünen Strahl im Resonator. Rechts im Bild ist der für beide Wellenlängen hochreflektierende Endspiegel sowie davor der Halter für den LBO Kristall zu erkennen.

Die Erkenntnisse, die im Rahmen dieser Kooperation während des Aufbaus und den Versuchen gewonnen wurden, konnten schnell in ein Produkt umgesetzt werden. Anfang diesen Jahres stellte die Jenoptik Laser, Optik, Systeme GmbH einen gepulsten grünen Scheibenlaser basierend auf dieser Technologie als eines ihrer neuen Produkte vor. Mit dem Scheibenlaserkonzept konnten die Eigenschaften der Strahlquelle an die jeweilige Anwendung angepasst werden.

Institutsadresse:
 Institut für Strahlwerkzeuge
 Pfaffenwaldring 43
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711 685 66840
 Fax: +49 (0)711 685 66842
<http://www.ifsw.uni-stuttgart.de>

Autor:
 Dipl.-Ing. Christian Stolzenburg
stolzenburg@ifsw.uni-stuttgart.de

Kontakt / Redaktion:
 Dipl.-Ing. Friedemann Lichtner
 FGSW - Forschungsgesellschaft
 für Strahlwerkzeuge mbH
 Pfaffenwaldring 43
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711 351 451-28
 Fax: +49 (0)711 351 451-29
 E-Mail:
friedemann.lichtner@fgsw.de
<http://www.fgsw.de>