

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. August 2006 (31.08.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/089681 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
C03C 23/00 (2006.01) **B23K 26/40** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/001410

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Februar 2006 (16.02.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
05003757.1 22. Februar 2005 (22.02.2005) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONEN-FORSCHUNG MBH** [DE/DE]; Planckstr. 1, 64291 Darmstadt (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BORNEIS, Stefan** [DE/DE]; Dr.-Schneider-Str. 12, 36043 Fulda (DE). **ONKELS, Eckenhard** [DE/DE]; Mozartstr. 13, 64683 Einhausen (DE). **JAVORKOVA, Dasa** [DE/DE]; Bornstr. 7, 64291 Darmstadt (DE). **NEUMAYER, Paul** [DE/DE]; Freystr. 10c, 64291 Darmstadt (DE).

(74) Anwalt: **MERGEL, Volker**; Alexandrastrasse 5, 65187 Wiesbaden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR INCREASING THE LASER DAMAGE THRESHOLD OF DIFFRACTION GRIDS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ERHÖHUNG DER LASERZERSTÖRSCHWELLE VON BEUGUNGSGITTERN

(57) Abstract: The aim of the invention is to increase the laser damage threshold LDT of diffraction grids, especially dielectrically coated (multi-layer dielectric; MLD) diffraction grids. To this end, the invention relates to a method for treating a diffraction grid to be used in a high-energy laser device comprising a first laser, said method comprising the following steps: the diffraction grid is prepared, a second treatment laser is prepared, and the diffraction grid is irradiated with laser light from the second treatment laser until the laser damage threshold of the diffraction grid is increased. The invention also relates to a diffraction grid treated according to said method, and a laser system comprising one such diffraction grid.

(57) Zusammenfassung: Zur Erhöhung der Laserzerstörschwelle (Laser Damage Threshold; LDT) von Beugungsgittern, insbesondere von dielektrisch beschichteten (Multi-Layer Dielectric; MLD) Beugungsgittern, sieht die Erfindung ein Verfahren zur Behandlung eines Beugungsgitters zum Einsatz in einer ersten Laser aufweisenden Hochenergielaservorrichtung vor, mit den Schritten des Bereitstellens des Beugungsgitters, des Bereitstellens eines zweiten Behandlungs-Lasers und des Bestrahleins des Beugungsgitters mit Laserlicht des zweiten Behandlungs-Lasers bis sich die Laserzerstörschwelle des Beugungsgitters erhöht hat. Die Erfindung sieht weiterhin ein verfahrensgemäß behandeltes Beugungsgitter vor, sowie ein Lasersystem, welches ein solches Beugungsgitter umfasst.

WO 2006/089681 A2

Verfahren zur Erhöhung der Laserzerstörschwelle von Beugungsgittern

Beschreibung

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erhöhung der
Laserzerstörschwelle (Laser Damage Threshold; LDT)
optischer Komponenten, insbesondere von dielektrisch
beschichteten (Multi-Layer Dielectric; MLD)
Beugungsgittern, sowie entsprechend verbesserte optische
10 Komponenten.

Zur Erforschung der Kernfusion sowie fundamentaler Prozesse
beispielsweise in der Plasma-, Astro- und Atomphysik werden
heute Hochenergie-Laser im Tera- und Petawatt-Bereich zur
15 Erzeugung ultraintensiver Laserpulse eingesetzt. Die
erreichbare Leistung ultraintensiver Laserpulse ist im
wesentlichen durch die Eigenschaften der verwendeten
optischen Komponenten und insbesondere durch deren
Laserzerstörschwelle begrenzt.

20 Durch eine als CPA-Verfahren (Chirped Pulse Amplification;
CPA) bekannte Methode kann die Belastung der optischen
Komponenten bei der Erzeugung ultraintensiver Pulse
reduziert werden. Beim CPA-Verfahren wird ein optischer
25 Puls großer spektraler Bandbreite zunächst zeitlich
gestreckt, verstärkt und nach Verstärkung wieder
komprimiert. Dadurch kann die Intensität eines Hochenergie-
Lasers während der Verstärkung typischerweise um mehrere
Größenordnungen reduziert werden. Das Risiko der Zerstörung
30 optischer Komponenten am Ausgang des optischen Kompressors
kann durch das CPA-Verfahren jedoch nicht eliminiert

werden. Zu diesen kritischen optischen Komponenten gehören insbesondere die im Kompressor verwendeten Beugungsgitter.

Beugungsgitter mit den höchsten Laserzerstörschwellen werden heute durch holographische Abbildung auf Fotolack und nachfolgendes Ätzen der obersten Schicht eines dielektrischen Mehrschichtstapels (Multi-Layer Dielectric; MLD) hergestellt, um ein hocheffizientes Reflexionsgitter zu erhalten.

10

Dies wird beispielsweise beschrieben in Optics Letters, 20, S. 1349 ff, 1995 (L. Li and J. Hirsh, "All-dielectric, high-efficiency reflection gratings made with multilayer thin-film coatings"), J. Opt. Soc. Am. A 14, 1124 (1997) (B. W. Shore, M. D. Perry, J. A. Britten, R. D. Boyd, M. D. Feit, H. T. Nguyen, R. Chow, G. E. Loomis and L. Li "Design of High-Efficiency Dielectric Reflection Gratings"), Applied Optics, October 20, 1999 (K. Hehl, et.al., "High-efficiency dielectric reflection gratings: design, fabrication, and analysis"), Proc. SPIE V5273, 1, (2004) (J.A. Britten, W.A. Molander, A.M. Komashko and C.P.J. Barty) und Nucl. Fusion 44 S266 (2004) (C.P.J. Barty, M. Key, J. Britten, R. Beach, G. Beer, C. Brown, S. Bryan, J. Caird, T. Carlson, J. Crane, J. Dawson, A.C. Erlandson, D. Fittinghoff, M. Hermann, C. Hoaglan, A. Iyer, L. Jones II, I. Jovanovic, A. Komashko, O. Landen, Z. Liao, W. Molander, S. Mitchell, E. Moses, N. Nielsen, H-H. Nguyen, J. Nissen, S. Payne, D. Pennington, L. Risinger, M. Rushford, K. Skulina, M. Spaeth, B. Stuart, G. Tietbohl and B. Wattellier).

30

Der Offenbarungsgehalt der zitierten Artikel wird durch Bezugnahme in den Offenbarungsgehalt dieser Patentanmeldung inkorporiert.

Die in den zitierten Artikeln beschriebenen Beugungsgitter können eine Laserzerstörschwelle für Pulsdauern von 10 ps- erreichen, die fast zehnmal so hoch sind, wie die von
5 konventionellen Goldgittern. Bei Pulsdauern von 500 fs wird eine Verbesserung um den Faktor 2 gegenüber Goldgittern mit einer maximalen Laserzerstörschwelle von $0,6 \text{ J/cm}^2$ erreicht. Weltweit werden Anstrengungen unternommen, die Laserzerstörschwelle von MLD-Gittern weiter zu verbessern,
10 da diese als eine der größten technologischen Herausforderungen und kritischen Komponenten im Design von Hochenergie Petawatt (HEPW)-Lasersystemen, wie beispielsweise der am Lawrence Livermore National Laboratory im Bau befindlichen NIF(National Ignition
15 Facility)-Anlage, angesehen wird.

Um eine Zerstörung der Kompressionsgitter in einem CPA- System zu vermeiden, wird der Strahl vor der Kompression typischerweise aufgeweitet. Durch die Strahlaufweitung
20 erhöhen sich jedoch nachteiligerweise die erforderlichen Abmessungen der eingesetzten optischen Komponenten. Mit den Abmessungen steigen jedoch auch die Kosten in erheblichem Maße und zudem lassen sich optische Komponenten schon allein aus Erwägungen der mechanischen Stabilität nicht in
25 beliebiger Größe herstellen.

Aus US 6,620,333 ist ein Verfahren bekannt, mit dem ein Ausbreiten durch Lasereinstrahlung zerstörter
Oberflächenbereiche optischer Komponenten durch lokalen
30 Materialabtrag, beispielsweise durch Plasmabehandlung, verhindert werden kann. In US 6,518,539 B2 wird ein Verfahren zur Behandlung optischer Komponenten aus Quarzglas beschrieben, wobei durch Laserbestrahlung

Zerstörstellen generiert werden, deren Ausbreitung durch eine weitere Laserbestrahlung begrenzt wird.

5 US 6,705,125 B2 beschreibt ein Verfahren zur Behandlung von Quarzglas-Optiken zum Einsatz bei Wellenlängen von 360 nm und darunter, bei dem die Optiken durch Laserbestrahlung steigender Fluenz behandelt werden, um eine Zerstörung der Optiken im späteren Einsatz zu reduzieren. Ferner ist aus
10 US 5,472,748 ein Verfahren zur Erhöhung der Laserzerstörschwelle dünner optischer Schichten durch Laserbestrahlung bekannt, wobei die Laserbestrahlung bei der gleichen Wellenlänge erfolgt, für die die Laserzerstörschwelle reduziert werden soll.

15 Der Offenbarungsgehalt der Patentschriften US 5,472,748, US 6,518,539, US 6,620,333 und US 6,705,125 wird durch Bezugnahme in den Offenbarungsgehalt dieser Patentanmeldung inkorporiert.

20 Keine der zitierten Patentschriften betrifft die Behandlung von Beugungsgittern zur Erhöhung der Laserzerstörschwelle.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Weg aufzuzeigen, wie die Qualität und insbesondere die
25 Laserzerstörschwelle von Beugungsgittern, insbesondere von MLD-Gittern, verbessert werden kann.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1, ein Beugungsgitter gemäß Anspruch 21, sowie ein Lasersystem
30 gemäß Anspruch 25 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen sind in den jeweiligen Unteransprüchen beschrieben.

Dementsprechend umfasst ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Behandlung eines Beugungsgitters zum Einsatz in einer ersten Laser aufweisenden Hochenergielaservorrichtung das Bereitstellen des Beugungsgitters, das Bereitstellen eines zweiten Behandlungs-Lasers, und das Bestrahlen des Beugungsgitters mit Laserlicht des zweiten Behandlungs-Lasers, bis sich die Laserzerstörschwelle des Beugungsgitters erhöht hat.

Die Erfinder haben festgestellt, dass die Laserzerstörschwelle eines Beugungsgitters, insbesondere eines MLD-Beugungsgitters, dadurch erhöht wird, dass das Gitter mit einem intensiven Laserstrahl eines Behandlungslasers in der Nähe und unterhalb der Laserzerstörschwelle, oder bei rampenförmigen Erhöhung der Ausgangsleistung des Behandlungslasers sogar über die Laserzerstörschwelle des Behandlungslasers hinaus, bestrahlt wird.

Dementsprechend umfasst das Bestrahlen des Beugungsgitters vorteilhaft ein rampenförmiges Erhöhen der Ausgangsleistung des zweiten Behandlungs-Lasers über die Laserzerstörschwelle für den zweiten Behandlungs-Laser hinaus. Besonders vorteilhaft wird die Ausgangsleistung des zweiten Behandlungs-Lasers rampenförmig von unter 80% auf bis zu wenigstens 120% der Laserzerstörschwelle erhöht.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist besonders vorteilhaft zur Erhöhung der Laserzerstörschwelle für Femto- und Pikosekunden-Laserpulse von MLD-Beugungsgittern, wie sie in Terawatt(TW)- und Petawatt(PW)-Pulskompressoren eingesetzt werden.

Als besonders vorteilhaft hat sich eine Laserbestrahlung durch den zweiten Behandlungs-Lasers mit einer

Wiederholrate zwischen 1 und 1000 Hz und für eine Dauer von wenigstens 10 Sekunden erwiesen.

5 Mit besonderem Vorteil ist das Beugungsgitter zum Einsatz in einer Terawatt- oder Petawatt-Hochenergielaser-
vorrichtung ausgebildet. Die Hochenergielaser-
vorrichtung, in welcher das Beugungsgitter eingesetzt wird, ist
vorzugsweise zur Erzeugung von Laserlicht im sichtbaren
oder infraroten Frequenzbereich geeignet. Insbesondere ist
10 das Beugungsgitter vorzugsweise zum Einsatz in einer
Hochenergielaser-
vorrichtung mit einer Laserwellenlänge von
1054 nm +/- 30% ausgebildet. Ferner ist die
Hochenergielaser-
vorrichtung bevorzugt dazu geeignet,
ultrakurze Laserpulse, insbesondere mit einer Pulsdauer
15 unterhalb von 20 ps, zu erzeugen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung liegt
die bevorzugte Wellenlänge des zweiten Behandlungs-Lasers,
welcher sich von dem typischerweise als Terawatt- oder
20 Petawatt-Laser ausgebildeten Hochenergielaser-
vorrichtung unterscheidet, im UV-Bereich, vorzugsweise bei 355nm,
308nm, 248nm, 193nm oder 157 nm. Geeignete Wellenlängen des
zweiten Behandlungs-Lasers umfassen ferner Wellenlängen von
1064 nm, 557 nm und 532 nm, sowie andere Wellenlängen
25 unterhalb von 550 nm. Ein Beispiel eines geeigneten
Behandlungs-Lasers ist ein Excimer-Laser, andere
Laserausführungen liegen aber ebenso im Rahmen der
Erfindung.

30 Ferner wird in einer bevorzugten Ausführungsform der
Erfindung als Material des Mehrschicht-Stapels und des
Substrates des MLD-Beugungsgitters ein Material mit
niedriger Absorption bei der Wellenlänge des Behandlungs-
Lasers gewählt, beispielsweise Quarzglas als

Substratmaterial bei Verwendung eines Behandlungs-Lasers im UV-Bereich. Die Verwendung von Material mit niedriger Absorption erlaubt eine maximale Auftreff-Fluenz des Behandlungs-Lasers, ohne bereits durch die Laserbehandlung
5 eine Zerstörung zu verursachen, wodurch die Effizienz des erfindungsgemäßen Verfahrens erhöht wird.

Insbesondere ist bekannt, dass UV-Licht geeignet ist, die Materialeigenschaften verschiedener Materialien zu
10 verändern. Insofern ist davon auszugehen, dass durch UV-Bestrahlung nicht nur die Oberflächenqualität des Beugungsgitters beeinflusst werden, sondern auch das Schichtsystem des MLD-Stapels und das darunter liegende Material.

15 Vorzugsweise erfolgt die Laserbestrahlung mit dem zweiten Behandlungs-Laser mit einer Fluenz, welche unterhalb von 90% der UV-Zerstörfluez des Beugungsgitters liegt.

20 Mit besonderem Vorteil weist der zweite Behandlungs-Laser eine andere Wellenlänge als die von der Hochenergielaser-vorrichtung erzeugte Laserstrahlung auf. Innerhalb einer Hochenergielaservorrichtung kann ein Beugungsgitter auch mit Laserstrahlung einer anderen Wellenlänge als der
25 Ausgangswellenlänge der Hochenergielaservorrichtung bestrahlt werden, wenn beispielsweise Frequenzvervielfacher in der Hochenergielaservorrichtung vorgesehen sind. Dementsprechend weist der zweite Behandlungs-Laser ferner vorteilhaft eine andere Wellenlänge auf als die
30 Laserstrahlung, mit der das Beugungsgitter im Einsatz bestrahlt wird.

Da das erfindungsgemäße Verfahren gegenüber Verunreinigungen aus der Umgebung sensitiv ist, erfolgt das Bestrahlen des Beugungsgitters vorteilhaft im Vakuum.

5 Bei dem Beugungsgitter handelt es sich vorzugsweise um ein dielektrisches Mehrschicht (MLD)-Beugungsgitter (Multi-layer dielectric; MLD). Eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht für ein solches Beugungsgitter vor, in einem ersten Schritt ein
10 Spiegel des Beugungsgitters mit dem Behandlungs-Laser zu bestrahlen, bevor das Beugungsgitter geätzt wird und in einem zweiten Schritt das Gitterraster des Beugungsgitters zu ätzen. Vorteilhaft kann zusätzlich nach dem Ätzen des Gitterrasters das MLD-Beugungsgitters in einem dritten
15 Schritt ein erneutes Bestrahlen mit dem zweiten Behandlungs-Laser vorgesehen sein.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist das Beugungsgitter im Strahlengang eines Lasersystems
20 angeordnet, welches die Hochenergielaservorrichtung umfasst, wobei die Hochenergielaservorrichtung in einer Position angeordnet ist, so dass von ihr erzeugte Laserpulse auf das Beugungsgitter lenkbar sind, um vom Beugungsgitter zur weiteren Verwendung in eine andere
25 Richtung reflektiert zu werden.

Die Erfindung umfasst ferner ein Beugungsgitter, welches mit dem beschriebenen Verfahren behandelt wurde. Ein erfindungsgemäßes Beugungsgitter weist vorzugsweise eine
30 Laserzerstörschwelle für einen 500 fs Laserpuls von wenigstens $0,7 \text{ J/cm}^2$ auf. Besonders vorteilhaft ist ein erfindungsgemäßes Beugungsgitter ferner als geätztes MLD-Beugungsgitter ausgebildet. Das Gitterraster des

Beugungsgitters weist vorteilhaft 1740 Linien/mm +/- 50% auf.

Ein erfindungsgemäßes Lasersystem umfasst eine
5 Hochenergielaservorrichtung, eine Strahlführung, um
Laserlicht von der Hochenergielaservorrichtung zu einer
Zielvorrichtung zu führen, und wenigstens ein oben
beschriebenes Beugungsgitter, wobei Laserlicht von der
Hochenergielaservorrichtung zum Beugungsgitter geführt und
10 vom Beugungsgitter so reflektiert wird, dass es zu der
Zielvorrichtung geführt wird.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter
Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf die beigefügten
15 Zeichnungen näher beschrieben. Dabei bezeichnen gleiche
Bezugszeichen in den Zeichnungen gleiche oder ähnliche
Teile.

Es zeigen:

- 20 Fig. 1 eine Vorrichtung zum Durchführen eines CPA-
Verfahrens,
Fig. 2 eine schematische Darstellung eines
Beugungsgitters,
Fig. 3a eine bevorzugte Ausführungsform des
25 erfindungsgemäßen Verfahrens,
Fig. 3b eine weitere bevorzugte Ausführungsform des
erfindungsgemäßen Verfahrens,
Fig. 4 Ergebnisse von Messungen der Laserzerstörschwelle
eines erfindungsgemäß behandelten Beugungsgitters.

30

Fig. 1 zeigt schematisch eine Hochenergielaservorrichtung
zum Erzeugen eines hochenergetischen Laserpulses auf der
Grundlage des CPA-Verfahrens. Der Puls eines

Laseroszillators 210 mit einer Pulsdauer von beispielsweise 100 fs und mit Energien von wenigen Nanojoule und ausreichend großer spektraler Bandbreite wird zunächst mittels einer optischen Verzögerungsstrecke zeitlich
5 gestreckt. Die optische Verzögerungsstrecke weist zwei antiparallel angeordnete MLD-Beugungsgitter 10 auf. Die Strahlführung erfolgt mit Hilfe von Spiegeln 230 und 240.

Mittels entsprechender Optiken wird das erste Gitter
10 invertiert hinter das zweite Gitter abgebildet, so dass die einzelnen Wellenlängen, aus der sich der kurze Puls zusammensetzt, zwischen den Gittern verschieden lange Wegstrecken zurücklegen und den Pulsstrecke somit in unterschiedlich langen Zeiten passieren.

15 Der zeitlich gestreckte Puls wird nun mittels eines Leistungsverstärkers 220 um mehrere Größenordnungen verstärkt, bevor er mit Hilfe eines aus zwei parallel angeordneten Beugungsgittern 10 bestehenden Gitterpaares
20 rekomprimiert wird.

Insbesondere die im optischen Kompressor eingesetzten Beugungsgitter 10 sind einer besonders hohen Laserleistung ausgesetzt. Die Laserzerstörschwelle insbesondere solcher
25 Beugungsgitter wird mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens erhöht.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines solchen Beugungsgitters 10, welches ein Substrat 140 umfasst, auf
30 dem ein dielektrisches Mehrschichtsystem 100 angeordnet ist, das Schichten 120 und 130 mit unterschiedlichem Brechungsindex aufweist. In die oberste Schicht 110 ist ein Gitterraster geätzt. Die Gitterparameter, beispielhaft mit a, b und h bezeichnet, können für maximale Effizienz und

optimale Laserzerstörschwelle angepasst werden. Die Form des Gitterrasters, insbesondere der Nuten und Erhöhungen, kann erfindungsgemäß auch von der dargestellten Rechteckform abweichen.

5

Die Erfindung sieht vor, die Laserzerstörschwelle solcher MLD-Beugungsgitter durch Bestrahlen der Gitteroberfläche und des Mehrschichtstapels mit einem Laserstrahl zu erhöhen. Die Erfinder gehen davon aus, dass durch die Laserbestrahlung unter anderem vom Herstellungsprozess des Gitters stammende Rückstände, sowie Staub und andere, eine Zerstörung verursachende, absorbierende Defekte entfernt werden. Ferner wird angenommen, dass scharfe Kanten mit geringerer Laserzerstörschwelle ebenfalls entfernt werden.

15

Vorteilhaft wird die Wellenlänge des Behandlungs-Lasers so gewählt, dass eine minimale Absorption im Mehrschicht-System und dem darunter liegenden Substrat des Beugungsgitters erzielt wird.

20

Fig. 3a zeigt eine erste bevorzugte Ausführungsform der Erfindung, in der das Beugungsgitter 10 mit einem Behandlungs-Laser 300, beispielsweise als UV-Laser ausgebildet, bestrahlt wird.

25

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, in einem ersten Schritt das MLD-Beugungsgitter 10' vor Ätzen des Gitterrasters mit dem Behandlungs-Laser 300 zu bestrahlen, wie in Fig. 3b dargestellt, und anschließend das Gitterraster in die oberste Schicht des MLD-Beugungsgitters zu ätzen. Hierbei kann nach dem Ätzvorgang vorteilhaft eine weitere Bestrahlung mit dem Behandlungs-Laser erfolgen.

30

Fig. 4 zeigt Ergebnisse von Messungen der Laserzerstör-
schwelle eines erfindungsgemäß behandelten Beugungsgitters.
Dabei wurde ein KrF-Excimerlaser mit einer Wellenlänge von
248 nm bei 70% seiner UV-Zerstör-Fluenz verwendet, um die
5 Laserzerstörschwelle eines MLD-Beugungsgitters mit 1740
Linien/mm auf einem Quarzglas-Substrat zu erhöhen. Das Ziel
war, die Laserzerstörschwelle des Beugungsgitters für
Laserpulse mit einer Pulsdauer von 500 fs bei einer
Wellenlänge von 1054 nm zu erhöhen.

10

Die maximale gemessene Laserzerstörschwelle ohne
erfindungsgemäße Laserbehandlung lag bei etwa $0,4 \text{ J/cm}^2$.
Nach UV-Laserbestrahlung wurde die Laserzerstörschwelle bei
500 fs mit einem Teststrahl mit $300 \text{ }\mu\text{m}$ Durchmesser
15 gemessen. Die Ergebnisse für die bestrahlten Gebiete 1, 2, 3
und 4 innerhalb des Bereiches 410 des Beugungsgitters 400
sind in Fig. 4 dargestellt.

20

Der Strahl des als Behandlungs-Laser eingesetzten KrF-
Excimerlasers wurde mittels eines Strahlhomogenisierers
homogenisiert und die Bestrahlung erfolgte bevorzugt bei
einer Wiederholrate von 50 Hz für etwa eine Minute.

25

In Fig. 4 gibt jeweils der Wert in der ersten Zeile die
„Nicht-Zerstör“-Fluenz auf der Gitteroberfläche in J/cm^2
an, bei der nach einigen Laserschüssen mit dieser Fluenz
ein „Strahlabdruck“ auf der Gitteroberfläche erkennbar ist.
Der Wert in der dritten Zeile gibt jeweils die maximale
Zerstör-Fluenz auf der Gitteroberfläche in J/cm^2 an, und
30 der Wert in der zweiten Zeile gibt jeweils die Anzahl der
Laserschüsse an, ab der eine Zerstörung mit der in der
entsprechenden dritten Zeile angegebenen Fluenz auftritt.

- Aus Fig. 4 sind für die bestrahlten Gebiete 1,2,3 und 4 Meßergebnisse für die Laserzerstörschwelle von etwa 0,8 J/cm² (Bezugszeichen 440), etwa 0,7 J/cm² (Bezugszeichen 430) und etwa 0,6 J/cm² (Bezugszeichen 420) zu entnehmen.
- 5 Damit zeigt Fig. 4 den klaren Effekt einer Erhöhung der Laserzerstörschwelle für das erfindungsgemäße Verfahren. Dargestellt sind die Ergebnisse erster Messungen, die bezüglich der statistischen Signifikanz und der Homogenität noch weiter optimiert werden können.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Behandlung eines Beugungsgitters zum
Einsatz in einer einen ersten Laser aufweisenden
5 Hochenergielaseranlage, umfassend die Schritte:
 - Bereitstellen des Beugungsgitters,
 - Bereitstellen eines zweiten Behandlungs-Lasers,
 - Bestrahlen des Beugungsgitters mit Laserlicht des zweiten
Behandlungs-Lasers bis sich die Laserzerstörschwelle des
10 Beugungsgitters erhöht hat.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Bestrahlen des
Beugungsgitters ein rampenförmiges Erhöhen der
Ausgangsleistung des zweiten Behandlungs-Lasers über die
15 Laserzerstörschwelle für den zweiten Behandlungs-Laser
hinaus umfasst.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Ausgangsleistung
des zweiten Behandlungs-Lasers rampenförmig von unter 80%
20 auf bis zu wenigstens 120% der Laserzerstörschwelle erhöht
wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
das Bestrahlen mit Laserlicht des zweiten Behandlungs-
25 Lasers unterhalb und in der Nähe der Laserzerstörschwelle
für den zweiten Behandlungs-Laser erfolgt.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
die Laserbestrahlung durch den zweiten Behandlungs-Laser
30 mit einer Wiederholrate zwischen 1 und 1000 Hz und für eine
Dauer von wenigstens 10 Sekunden erfolgt.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
das Beugungsgitter zum Einsatz in einer Hochenergielaser-

vorrichtung ausgebildet ist, die zur Erzeugung von Laserlicht im sichtbaren oder infraroten Frequenzbereich geeignet ist.

- 5 7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Beugungsgitter zum Einsatz in einer Hochenergielaser-
vorrichtung mit einer Laserwellenlänge von 1054 nm +/- 30%
ausgebildet ist.
- 10 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Beugungsgitter zum Einsatz in einer Terawatt- oder
Petawatt-Hochenergielaservorrichtung ausgebildet ist.
- 15 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Beugungsgitter zum Einsatz in einer Hochenergielaser-
vorrichtung ausgebildet ist, die ultrakurze Laserpulse
erzeugt.
- 20 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Beugungsgitter zum Einsatz in einer Hochenergielaser-
vorrichtung ausgebildet ist, die Laserpulse mit einer
Pulsdauer unterhalb von 20 ps erzeugt.
- 25 11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der zweite Behandlungs-Laser ein UV-Laser ist.
- 30 12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Laserbestrahlung mit dem zweiten Behandlungs-Laser mit
einer Fluenz erfolgt, welche unterhalb von 90% der UV-
Zerstörfluez des Beugungsgitters liegt.
13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der zweite Behandlungs-Laser eine Wellenlänge von 1064 nm,

557 nm, 532 nm, 353 nm, 308 nm, 248 nm 193 nm oder 157 nm aufweist.

14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
5 der zweite Behandlungs-Laser eine Wellenlänge von unterhalb 550 nm aufweist.

15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
10 das Bestrahlen des Beugungsgitters in Vakuum erfolgt.

16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
der zweite Behandlungs-Laser eine andere Wellenlänge aufweist als die Hochenergielaservorrichtung.

15 17. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei als zweiter Behandlungs-Laser ein Excimer-Laser eingesetzt wird.

18. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
20 das Beugungsgitter ein dielektrisches Mehrschicht (MLD)-Beugungsgitter (Multi-layer dielectric; MLD) ist und
- in einem ersten Schritt ein Spiegel des Beugungsgitters mit dem Behandlungs-Laser bestrahlt wird, bevor das Beugungsgitter geätzt wird und
25 - in einem zweiten Schritt das Gitterraster geätzt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei
- in einem dritten Schritt nach dem Ätzen des Gitterrasters das MLD-Beugungsgitter erneut mit dem zweiten Behandlungs-
30 Laser bestrahlt wird.

20. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Beugungsgitter im Strahlengang eines Lasersystems angeordnet ist, welches die Hochenergielaservorrichtung

umfasst, wobei die Hochenergielaservorrichtung in einer Position angeordnet ist, dass von ihr erzeugte Laserpulse auf das Beugungsgitter lenkbar sind, um vom Beugungsgitter zur weiteren Verwendung in eine andere Richtung reflektiert zu werden.

21. Beugungsgitter zum Einsatz in einer Hochenergielaservorrichtung, welches mit einem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche behandelt wurde.

22. Beugungsgitter nach Anspruch 21 mit einer Laserzerstörungsschwelle für einen 500 fs Laserpuls von wenigstens $0,7 \text{ J/cm}^2$.

23. Beugungsgitter nach einem der vorstehenden Ansprüche, ausgebildet als geätztes MLD-Beugungsgitter.

24. Beugungsgitter nach einem der vorstehenden Ansprüche mit 1740 Linien/mm $\pm 50\%$.

25. Lasersystem, umfassend

- eine Hochenergielaservorrichtung,
- eine Strahlführung, um Laserlicht von der Hochenergielaservorrichtung zu einer Zielvorrichtung zu führen, und
- wenigstens ein Beugungsgitter nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei Laserlicht von der Hochenergielaservorrichtung zum Beugungsgitter geführt und vom Beugungsgitter so reflektiert wird, dass es zu der Zielvorrichtung geführt wird.

Fig. 1

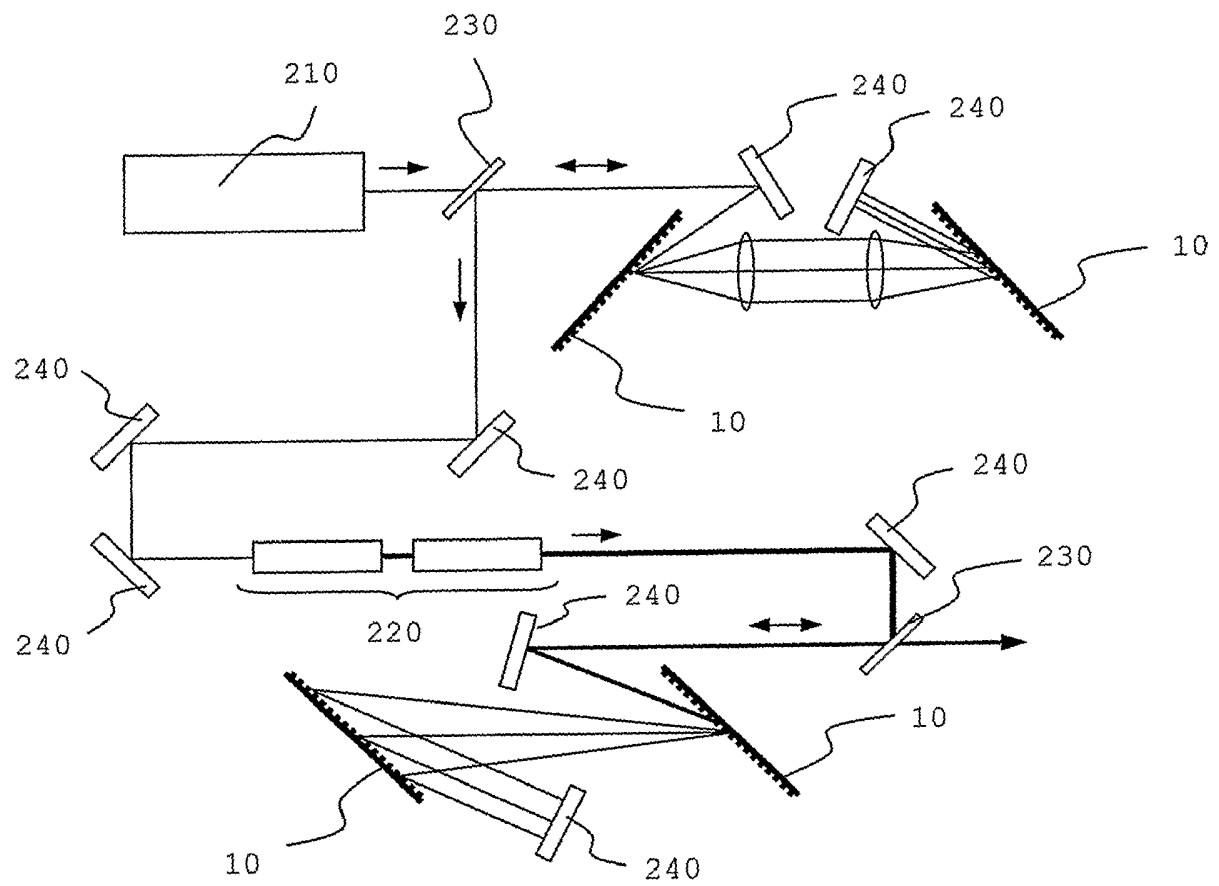


Fig. 2

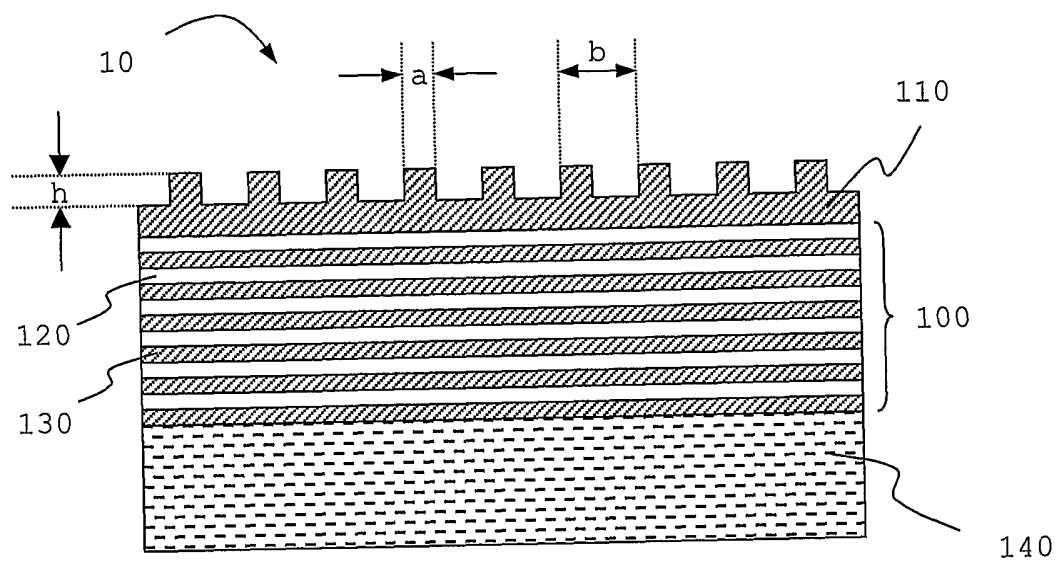


Fig. 3a

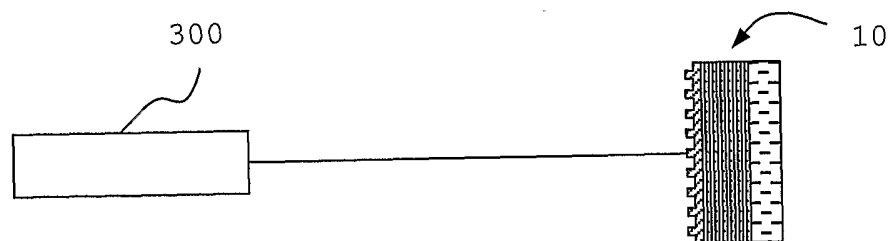


Fig. 3b

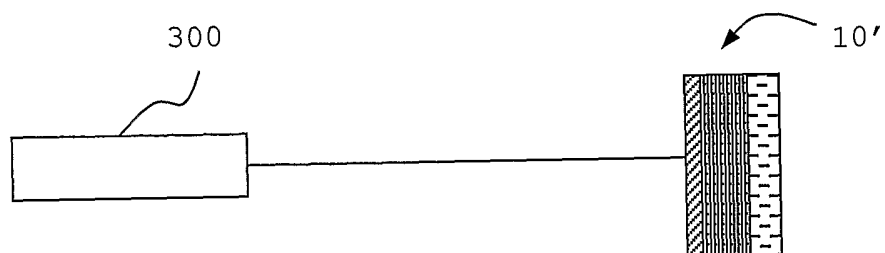


Fig. 4.

