

(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

22. September 2016 (22.09.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2016/146263 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01J 1/42 (2006.01) G01J 1/04 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/000474
- (22) Internationales Anmeldedatum:
16. März 2016 (16.03.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2015 003 370.0 16. März 2015 (16.03.2015) DE
- (71) Anmelder: UNIVERSITÄT STUTTGART [DE/DE];
Keplerstrasse 7, 70174 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder: PIEHLER, Stefan; Immenhofer Strasse 25,
70180 Stuttgart (DE). DANNECKER, Benjamin;
Turnhallestrasse 7b, 70565 Stuttgart (DE). NEGEL, Jan
Philipp; Körschstrasse 18, 70599 Stuttgart (DE).
- (74) Anwälte: ROCKE, Carsten et al.; Müller-Boré & Partner
Patentanwälte PartG mbB, Friedenheimer Brücke 21,
80639 München (DE).

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

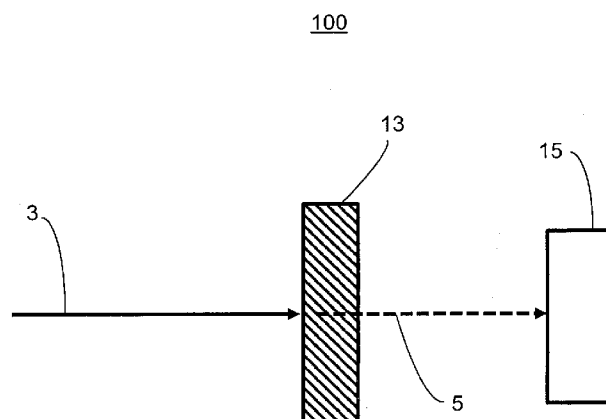
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR QUANTITATIVELY SENSING THE POWER FRACTION OF A RADIATION
BACKGROUND OF A PULSED LASER

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR QUANTITATIVEN ERFASSUNG DES LEISTUNGSANTEILS
EINES STRAHLUNGSHINTERGRUNDS EINES GEPULSTEN LASERS

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a method and to a device for quantitatively sensing the power fraction of a radiation background of a pulsed laser. The invention further relates to the use of a saturable element. The method according to the invention comprises the following steps: modulating a measurement beam (3), which is emitted by the laser, by means of a saturable element (13) in accordance with the fluence of the measurement beam (3); detecting, by means of a modulation beam power detector (15), the power of the measurement beam (5) modulated by the saturable element (13); and determining the power fraction of the radiation background of the pulsed laser on the basis of the detected power of the measurement beam (5) modulated by means of the saturable element (13).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/146263 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers. Zudem betrifft die Erfindung eine Verwendung eines sättigbaren Elements. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Modulieren eines von dem Laser ausgesandten Messstrahls (3) mit Hilfe eines sättigbaren Elements (13) in Abhängigkeit von der Fluenz des Messstrahls (3); Detektieren der Leistung des von dem sättigbaren Element (13) modulierten Messstrahls (5) mit Hilfe eines Modulationsstrahl-Leistungsdetektors (15); und Ermitteln des Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers auf Basis der detektierten Leistung des durch das sättigbare Element (13) modulierten Messstrahls (5).

"Verfahren und Vorrichtung zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers"

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers. Zudem betrifft die Erfindung eine Verwendung eines sättigbaren Elements.

5

Eine Quantifizierung des Strahlungshintergrunds, insbesondere des sogenannten continuous wave (cw) Hintergrunds, eines gepulsten Lasers bzw. Lasersystems ist sowohl für Materialbearbeiter als auch für Laser-Entwickler von großem Interesse. Beispielsweise können bei einer genauen Kenntnis des Strahlungshintergrunds ungünstige Einflüsse des Strahlungshintergrunds auf Bearbeitungsprozesse gezielt untersucht werden. Auch bei der Entwicklung von gepulsten Lasersystemen, insbesondere bei ultrakurz-gepulsten Lasersystemen, ist der quantitative Anteil des Strahlungshintergrundes von großem Interesse.

10

15 Bisher kann abhängig vom Betriebsmodus des Lasers nur indirekt auf den Strahlungshintergrund bzw. cw-Hintergrund geschlossen werden. Bei einem passiv modengekoppelten Laseroszillator ist es beispielsweise möglich, anhand des Spektrums qualitativ auf den Betriebsmodus zurückzuschließen, d.h. es kann festgestellt werden, ob ein reiner Pulsbetrieb vorliegt oder ob zusätzlich ein cw-Untergrund besteht. Eine quantitative Aussage über den Leistungsanteil des cw-Hintergrundes bzw. des Leistungsverhältnisses zwischen gepulstem Anteil und cw-Anteil ist damit allerdings nur mit starken Einschränkungen durchführbar und praktikabel.

20

25 Für eine quantitative Messung könnte zwar z.B. eine Photodiode eingesetzt werden

und damit der Leistungsanteil sowohl während der Pulse als auch in der Zeitspanne zwischen den Pulsen durch Integration des Diodensignals bestimmt werden. Dies verlangt aber durch die hohe Leistung der Laserstrahlung während der Pulse und die kurze Zeitdauer der Pulse einen enorm hohen Dynamikbereich der Photodiode, so dass sich diese Methode als nicht praktikabel erweist. Weiterhin würden eventuelle Offsets und externe Lichtquellen einen sehr großen Fehler erzeugen. Darüber hinaus kann dieses Verfahren nicht bei ultra-kurzen Pulsen eingesetzt werden, da durch die limitierte Ansprech- bzw. Abklingzeit der Dioden eine Auflösung der einzelnen Pulse nicht mehr möglich ist und somit durch Überlagerung mehrerer Pulse während der Messzeit ein Untergrund gemessen werden würde, der tatsächlich nicht vorhanden ist.

Ein weiteres mögliches Verfahren zur Ermittlung des Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers bzw. Lasersystems ist eine Frequenzverdoppelung, deren Effizienz von dem Anteil der gepulsten Leistung an der Gesamtleistung abhängig ist. Die benötigten Komponenten sind allerdings teuer und die Messung ist ungenau, da mehrere unbekannte Parameter in die Konversionseffizienz eingehen.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds bzw. cw-Hintergrunds von gepulsten Lasern bzw. Lasersystemen bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der nebengeordneten Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Ein erster unabhängiger Aspekt zur Lösung der Aufgabe betrifft ein Verfahren zur quantitativen Erfassung bzw. Messung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers, umfassend die Schritte:

- Modulieren eines von dem Laser ausgesandten Messstrahls mit Hilfe eines sättigbaren Elements in Abhängigkeit von der Fluenz des Messstrahls;
- Detektieren bzw. Messen der Leistung des von dem sättigbaren Element modulierten Messstrahls mit Hilfe eines Modulationsstrahl-Leistungsdetektors;

- Ermitteln bzw. Berechnen des Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers auf Basis der detektierten Leistung des durch das sättigbare Element modulierten Messstrahls.

- 5 Der Begriff „Leistungsanteil“ kann sich auf den Anteil der mittleren Pulsleistung oder auf den Anteil des cw-Hintergrunds an der Gesamtleistung beziehen. Insbesondere kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der weiter unten beschriebenen erfindungsgemäßen Vorrichtung das Verhältnis der Leistung der Hintergrundstrahlung zu der Pulsleistung des Lasers erfasst bzw. gemessen werden.

10

Mit dem Begriff „Laser“ wird im Sinne dieser Beschreibung eine Laserquelle und/oder ein Lasersystem verstanden. Eine Laserquelle umfasst insbesondere einen Oszillator und optional einen Verstärker.

- 15 Unter „Strahlungshintergrund eines gepulsten Lasers“ wird insbesondere der sogenannte continuous wave (cw) Hintergrund des Lasers bzw. der Laserstrahlung, d.h. eine kontinuierliche bzw. dauerhafte und im Wesentlichen konstante Strahlung des Lasers, verstanden. Der Strahlungshintergrund kann aber auch andere zeitlich nicht konstante Signale enthalten, wie z.B. Nebenpulse, welche durch Reflexionen in
20 der Strahlführung oder Instabilitäten im gepulsten Laser entstehen können.

- Ein „sättigbares Element“ ist ein Element, welches z.B. eine sättigbare Absorption oder eine sättigbare Reflektivität oder eine sättigbare Transmission aufweist. Ein sättigbares Element ist durch eine intensitätsabhängige bzw. fluenzabhängige
25 Rückwirkung des sättigbaren Elements auf einen einfallenden bzw. auftreffenden Licht- bzw. Laserstrahl gekennzeichnet. Beispielsweise ist ein sättigbares Element durch eine intensitäts- bzw. fluenzabhängige Transmission, Absorption, Reflexion, Beugung und/oder Streuung gekennzeichnet bzw. charakterisiert. Dabei ist das sättigbare Element insbesondere durch eine Modulationstiefe ΔR und durch
30 nichtsättigbare Verluste ΔR_{ns} charakterisiert, welche sich aus der fluenzabhängigen Transmission, Absorption, Reflexion, Beugung und/oder Streuung ergeben. Die Eigenschaften eines sättigbaren Elements, d.h. insbesondere die fluenzabhängige

Transmission, Absorption, Reflexion, Beugung und/oder Streuung, bzw. die Modulationstiefe ΔR und die nichtsättigbaren Verluste ΔR_{ns} , können, z.B. vom Hersteller, bekannt bzw. spezifiziert sein oder durch eine Kalibrierung bzw. Charakterisierung experimentell ermittelbar sein. Vorteilhafterweise weist das

5 sättigbare Element eine möglichst hohe Modulationstiefe, beispielsweise eine Modulationstiefe größer als 0,05, vorzugsweise größer als 0,1 und am bevorzugtesten größer als 0,3 auf. Vorteilhafterweise weist das sättigbare Element möglichst geringe nichtsättigbare Verluste, beispielsweise kleiner als 0,1, vorzugsweise kleiner als 0,05 und am bevorzugtesten kleiner als 0,03 auf. Beispielsweise können als sättigbares

10 Element ein Halbleiter-Absorber, ein Graphen-Absorber oder dotierte Kristalle verwendet werden. Halbleiter-Absorber, Graphen-Absorber oder dotierte Kristalle können als transmittives Element fungieren. Ein Halbleiter-Absorber kann aber auch zusammen mit einem Bragg-Reflektor als reflektives Element, insbesondere als sättigbarer Spiegel, ausgeführt werden.

15

Unter einem „Modulieren eines Laserstrahls“ wird im Sinne dieser Beschreibung ein Transmittieren, Absorbieren, Reflektieren, Beugen und/oder Streuen des Laserstrahls verstanden. Durch die Wechselwirkung eines Laserstrahls mit dem sättigbaren Element wird insbesondere die Leistung des Laserstrahls verändert bzw. moduliert.

20 Somit umfasst der Begriff „Modulieren“ insbesondere ein Leistungsmodulieren. Die von dem sättigbaren Element bewirkte Modulation eines Licht- bzw. Laserstrahls ist von der Fluenz des Laserstrahls abhängig, die beim Auftreffen des Laserstrahls auf das sättigbare Element auftritt bzw. vorliegt. Mit anderen Worten ist die von dem sättigbaren Element bewirkte Modulation eines Licht- bzw. Laserstrahls von der auf

25 das sättigbare Element einfallenden bzw. auftreffenden Fluenz des Laserstrahls abhängig. Das Modulieren erfolgt somit in Abhängigkeit von der auf das sättigbare Element auftreffenden Fluenz des Messstrahls.

Unter „Fluenz“ ist die pro Fläche auftretende Energie zu verstehen. Trifft ein

30 Laserstrahl oder Laserpuls auf ein sättigbares Element bzw. fällt auf ein sättigbares Element ein, so ist die Fluenz die Energie des Laserstrahls oder Laserpulses, die pro Flächeneinheit auf das sättigbare Element einwirkt.

Als „Messstrahl“ wird im Sinne dieser Beschreibung ein Laserstrahl bzw. Laserpuls verstanden, der auf das sättigbare Element auftrifft bzw. einfällt, d.h. der mit dem sättigbaren Element in Wechselwirkung tritt und somit durch das sättigbare Element moduliert wird.

Der Leistungsanteil des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers wird auf Basis der detektierten Leistung des durch das sättigbare Element modulierten Messstrahls ermittelt bzw. berechnet. Insbesondere kann der Leistungsanteil des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers mit folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\frac{P_{cw}}{P_{puls}} = \frac{(1 - \Delta R_{NS}) - \frac{P_{Sat}}{P_{Ref}}}{\frac{P_{Sat}}{P_{Ref}} - (1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)} \quad (1),$$

wobei P_{cw} die Leistung der Hintergrundstrahlung bzw. der cw-Strahlung und P_{puls} die mittlere Pulsleistung des Laserstrahls bzw. Messstrahls ist. Wie bereits oben erwähnt repräsentiert ΔR die Modulationstiefe des sättigbaren Elements und ΔR_{ns} die nichtsättigbaren Verluste des sättigbaren Elements. P_{Ref} ist die Leistung eines Referenzstrahls des Lasers und entspricht der Gesamtleistung des Lasers bzw. Laserstrahls. Die Gesamtleistung des Lasers und damit P_{Ref} ist vom Hersteller des Lasers bekannt bzw. kann experimentell ermittelt werden. P_{Ref} ist die Summe aus P_{cw} und P_{puls} . Bei bekannten Eigenschaften des sättigbaren Elements, d.h. bei bekannter Modulationstiefe und bekannten nichtsättigbaren Verlusten des sättigbaren Elements, ist somit P_{Sat} die einzige unbekannte Größe auf der rechten Seite der Gleichung (1). P_{Sat} bezeichnet die Leistung des von dem sättigbaren Element modulierten Laserstrahls bzw. Messstrahls. Durch die Detektion bzw. Messung dieser Leistung P_{Sat} kann folglich das Verhältnis von P_{cw} und P_{puls} und damit der Leistungsanteil der Hintergrundstrahlung des Lasers ermittelt bzw. berechnet werden.

Vorteilhafterweise ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren eine sehr einfache

quantitative Erfassung bzw. Messung des Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds sowohl an neu zu entwickelnden gepulsten Lasersystemen als auch an gepulsten Lasersystemen im industriellen Einsatz.

- 5 In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das erfindungsgemäße Verfahren vor dem Schritt des Modulierens des Messstrahls ein
- Aufteilen eines von dem Laser ausgesandten Laserstrahls in einen Referenzstrahl und den Messstrahl mit Hilfe eines Strahlteilers.
- Ferner umfasst das erfindungsgemäße Verfahren vor dem Schritt des Ermitteln des
- 10 Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers ein
- Detektieren bzw. Messen der Leistung des Referenzstrahls mit Hilfe eines Referenzstrahl-Leistungsdetektors.

Der Referenzstrahl kann auch als erster Teilstrahl des vom Laser ausgesandten

15 Laserstrahls bezeichnet werden. Entsprechend kann der Messstrahl als zweiter Teilstrahl des vom Laser ausgesandten Laserstrahls bezeichnet werden.

Der Strahlteiler teilt den vom Laser ausgesandten Laserstrahl mit einem bestimmten bzw. definierten Teilungsverhältnis in den Referenzstrahl und den Messstrahl auf. Das

20 Teilungsverhältnis des Strahlteilers kann bekannt sein oder experimentell ermittelbar sein bzw. ermittelt werden.

Mit Hilfe des Strahlteilers kann die in Gleichung (1) enthaltene Leistung des Referenzstrahls, d.h. die Gesamtleistung des von dem Laser ausgesandten

25 Laserstrahls, experimentell bestimmt werden. Somit muss vorteilhafterweise die Gesamtleistung des zu analysierenden Lasers bzw. Laserstrahls nicht bekannt sein. Zudem kann die Messung unabhängig von Schwankungen der Gesamtleistung des Lasers erfolgen.

30 Unter Verwendung des Strahlteilers kann der Leistungsanteil des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers mit folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\frac{P_{cw}}{P_{puls}} = \frac{(1 - S)(1 - \Delta R_{NS}) - \frac{P_{Sat}}{P_{Ref}}}{\frac{P_{Sat}}{P_{Ref}} - (1 - S)(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)} \quad (2).$$

5 Dabei bezeichnet S die Reflektivität des Strahlteilers bzw. den am Strahlteiler reflektierten Anteil der einfallenden Leistung.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das erfindungsgemäße Verfahren vor dem Schritt des Detektierens der Leistung des modulierten Messstrahls ferner folgenden Schritt:

10 - Einstellen der am sättigbaren Element auftretenden Fluenz des Messstrahls mit Hilfe eines Fluenzeinstellelementes derart, dass sich das sättigbare Element in Folge des Strahlungshintergrunds des Messstrahls in einem ungesättigten Zustand und in Folge eines Pulses des Messstrahls in einem gesättigten Zustand befindet.

15 Mit anderen Worten wird die am sättigbaren Element auftretende bzw. vorliegende Fluenz des Messstrahls mit Hilfe eines Fluenzeinstellelementes derart eingestellt, dass das sättigbare Element bei einer von dem Strahlungshintergrund des Messstrahls resultierenden Fluenz, d.h. in Folge des Auftreffens des Strahlungshintergrundes des Lasers bzw. des Messstrahls auf das sättigbare Element, ungesättigt ist, und bei einer
20 von einem Puls des Messstrahls resultierenden Fluenz, d.h. in Folge des Auftreffens eines Pulses bzw. der Pulsstrahlung des Lasers bzw. Messstrahls auf das sättigbare Element, gesättigt ist.

Ein ungesättigter Zustand kann z.B. vorliegen, wenn ein von dem sättigbaren Element
25 bewirkter Modulationsgrad, insbesondere eine Reflektivität oder eine Transmissivität, des Laserstrahls bzw. Messstrahls unterhalb bzw. oberhalb (je nach Art des sättigbaren Elements) eines vorbestimmten ersten Schwellenwerts liegt. Entsprechend kann z.B. ein gesättigter Zustand vorliegen, wenn der Modulationsgrad des sättigbaren Elements oberhalb bzw. unterhalb eines vorbestimmten zweiten
30 Schwellenwerts liegt. Der vorbestimmte erste und zweite Schwellenwert können von

dem jeweiligen sättigbaren Element bzw. von der Art des jeweiligen sättigbaren Elements abhängen. Der erste Schwellenwert kann sich vom zweiten Schwellenwert unterscheiden. Es ist aber auch möglich, dass der erste und zweite Schwellenwert gleich groß sind. Beispielsweise können der erste und der zweite Schwellenwert einem Wendepunkt der Fluenzkurve (d.h. der Kurve, die den Modulationsgrad in Abhängigkeit der Fluenz wiedergibt), entsprechen.

Vorzugsweise wird die am sättigbaren Element auftretende bzw. vorliegende Fluenz des Messstrahls mit Hilfe eines Fluenzeinstellelementes derart eingestellt, dass das sättigbare Element bei einer von dem Strahlungshintergrund des Messstrahls resultierenden Fluenz, d.h. in Folge des Auftreffens des Strahlungshintergrundes des Lasers bzw. des Messstrahls auf das sättigbare Element im Wesentlichen vollständig ungesättigt ist und bei einer von einem Puls des Messstrahls resultierenden Fluenz, d.h. in Folge des Auftreffens eines Pulses bzw. der Pulsstrahlung des Lasers bzw. Messstrahls auf das sättigbare Element im Wesentlichen vollständig gesättigt ist.

Das sättigbare Element kann vollständig gesättigt sein bzw. sich in einem vollständig gesättigten Zustand befinden, wenn die auf das sättigbare Element auftreffende oder einfallende Fluenz einen Wert aufweist, bei dem die vom sättigbaren Element bewirkte Modulation, d.h. Transmission, Absorption, Reflexion, Beugung und/oder Streuung des Laserstrahls bzw. Messstrahls einen Sättigungsextremwert, also ein Maximum oder ein Minimum, aufweist. Entsprechend kann das sättigbare Element vollständig ungesättigt sein bzw. sich in einem vollständig ungesättigten Zustand befinden, wenn die auf das sättigbare Element auftreffende oder einfallende Fluenz einen Wert aufweist, bei dem die vom sättigbaren Element bewirkte Modulation, d.h. Transmission, Absorption, Reflexion, Beugung und/oder Streuung des Laserstrahls bzw. Messstrahls ein zum Sättigungsextremwert gegenteiliges Extremum, also ein Minimum oder Maximum, aufweist. Beispielsweise kann das sättigbare Element vollständig gesättigt sein bzw. sich in einem vollständig gesättigten Zustand befinden, wenn die auf das sättigbare Element auftreffende oder einfallende Fluenz einen Wert aufweist, bei dem die vom sättigbaren Element bewirkte Modulation, d.h. Transmission, Absorption, Reflexion, Beugung und/oder Streuung des Laserstrahls

bzw. Messstrahls ein Maximum aufweist. Entsprechend ist dann das sättigbare Element vollständig ungesättigt bzw. befindet sich in einem vollständig ungesättigten Zustand, wenn die auf das sättigbare Element auftreffende oder einfallende Fluenz einen Wert aufweist, bei dem die vom sättigbaren Element bewirkte Modulation, d.h.

- 5 Transmission, Absorption, Reflexion, Beugung und/oder Streuung des Laserstrahls bzw. Messstrahls ein Minimum aufweist. Je nach Art des sättigbaren Elements ist es auch möglich, dass das Maximum ein Minimum und umgekehrt ist.

- Die zu einem gesättigten bzw. vollständig gesättigten Zustand des sättigbaren
10 Elements notwendige Fluenz wird im Sinne dieser Beschreibung auch als Sättigungsfluenz bezeichnet.

- Das Fluenzeinstellelement kann z.B. eine Linse, ein System aus einem Polarisator und Analysator oder ein Dichteelement sein. Das Fluenzeinstellelement kann zwischen
15 dem Laser bzw. dem Strahlteiler und dem sättigbaren Element angeordnet sein.

- Um sicherzustellen, dass die auf das sättigbare Element einfallende Fluenz der einzelnen Pulse des Lasers einen Wert aufweist, der zu einer im Wesentlichen vollständigen Sättigung des sättigbaren Elements führt, können verschiedene
20 Verfahren angewendet werden. Beispielsweise kann durch eine definierte Abschwächung des Messstrahls mittels eines Polarisators/Analysators oder eines Dichtefilters die Leistung des Messstrahls und somit dessen Fluenz beeinflusst werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Variation der vom Laser auf dem sättigbaren Element bestrahlten Fläche. Diese kann z.B. dadurch variiert werden, dass
25 entweder das sättigbare Element entlang der Strahlkaustik bzw. entlang des optischen Pfads des Laserstrahls verschoben wird, oder die Strahlkaustik bzw. der Strahlquerschnitt des Messstrahls am Ort des sättigbaren Elements mittels eines fokussierenden Elements wie z.B. einer Linse oder einem Spiegel derart angepasst wird, dass die gewünschte Fluenz, z.B. die Sättigungsfluenz erreicht wird. Die zur
30 vollständigen Sättigung notwendige Fluenz kann auch am Messaufbau selbst aus dem Verhältnis P_{cw}/P_{puls} ermittelt werden. Auf Grund des charakteristischen Sättigungsverhaltens des sättigbaren Elements ist z.B. zu erwarten, dass das

Verhältnis P_{cw}/P_{puls} im Fluenzbereich der vollständigen Sättigung bzw. bei der Sättigungsfluenz ein Extremum, d.h. ein Maxima oder ein Minima, aufweist, da hier eine maximale oder minimale Modulation des Laserstrahls bzw. Messstrahls durch das sättigbare Element erreicht wird. Ob ein Maximum oder Minimum vorliegt hängt von
5 der Art des verwendeten sättigbaren Elements ab.

Wird als Fluenzeinstellelement z.B. eine Linse verwendet, welche zwischen dem Laser bzw. dem Strahlteiler und dem sättigbaren Element angeordnet ist, so kann diese Linse in Richtung der optischen Achse derart verschoben werden, dass das Verhältnis
10 P_{cw}/P_{puls} ein Minimum oder Maximum ergibt. Somit kann die gewünschte Fluenz in einfacher Weise eingestellt werden.

Durch das Einstellen der Fluenz kann vorteilhafterweise ein systematischer Messfehler durch ungenügende Sättigung des sättigbaren Elements vermieden werden.

15

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden sämtliche Schritte bis einschließlich des Ermitteln des Leistungsanteils der Hintergrundstrahlung des Lasers einmal oder mehrmals mit jeweils einem anderen sättigbaren Element wiederholt. Zur Ermittlung des Gesamtergebnisses wird über die
20 einzelnen ermittelten Leistungsanteile des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers gemittelt. Mit anderen Worten wird nach dem Ermitteln des Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers das sättigbare Element durch ein anderes sättigbares Element ausgetauscht und anschließend werden die oben beschriebenen Schritte wiederholt. Vorzugsweise haben sämtliche sättigbaren
25 Elemente bekannte oder experimentell ermittelbare Eigenschaften. Weiter vorzugsweise unterscheiden sich die Eigenschaften eines sättigbaren Elements von den Eigenschaften des vorher verwendeten sättigbaren Elements oder der vorher verwendeten sättigbaren Elemente.

30 Auf diese Weise, d.h. durch die Verwendung von verschiedenen sättigbaren Elementen mit unterschiedlichen Verläufen der Sättigung als Funktion der Fluenz bzw. mit unterschiedlichen Modulationstiefen und/oder unterschiedlichen nichtsättigbaren

Verlusten sowie durch Mehrfachmessung und Mittelwertbildung, kann die Messgenauigkeit weiter erhöht werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das erfindungsgemäße

5 Verfahren ferner den folgenden Schritt zu Beginn des Verfahrens:

- Kalibrieren bzw. Charakterisieren des sättigbaren Elements bzw. der sättigbaren Elemente mit Hilfe einer kombinierten Strahlquelle, wobei die kombinierte Strahlquelle einen cw-Laser mit einstellbarer cw-Leistung und einen gepulsten Laser mit einstellbarer Pulsleistung umfasst.

10

Die einstellbare cw-Leistung und Pulsleistung können insbesondere mittlere Leistungen sein. Durch Verwendung einer bekannten cw- und einer gepulsten Quelle können die sättigbaren Elemente kalibriert werden. Ein Kalibriervorgang kann beispielsweise einen oder mehrere der folgenden Schritte umfassen:

15 - Überlagern, insbesondere koaxiales Überlagern, einer Hintergrundstrahlung bzw. cw-Strahlung des cw-Lasers mit einer gepulsten Laserstrahlung des gepulsten Lasers. Die Überlagerung kann beispielsweise mit einem Polarisationsstrahlteiler erfolgen.

20 - Festlegen des Leistungsanteils der von dem cw-Laser ausgesandten Hintergrundstrahlung bzw. cw-Strahlung und/oder des Leistungsanteils der von dem gepulsten Laser ausgesandten gepulsten Laserstrahlung durch Einstellen der Leistungen des cw-Lasers und/oder der Leistung des gepulsten Lasers.

Mit Hilfe der kombinierten Strahlquelle kann somit der Messaufbau qualifiziert werden.

25 Insbesondere kann bei nicht genauer Kenntnis der Sättigungseigenschaften des sättigbaren Elementes der Aufbau bzw. das sättigbare Element kalibriert bzw. charakterisiert werden.

Ein weiterer unabhängiger Aspekt zur Lösung der Aufgabe betrifft eine Vorrichtung zur quantitativen Erfassung bzw. Messung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers, aufweisend:

30

- ein sättigbares Element zur Modulation eines auf das sättigbare Element

auftreffenden bzw. einfallenden Messstrahls des Lasers, wobei die Modulation des Messstrahls durch das sättigbare Element von der Fluenz des Messstrahls abhängt;

- einen Modulationsstrahl-Leistungsdetektor zum Detektieren bzw. Messen der Leistung des von dem sättigbaren Element modulierten Messstrahls; und

- 5 - eine Auswerteeinrichtung zum Ermitteln bzw. Berechnen des Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers auf Basis der von dem Modulationsstrahl-Leistungsdetektor detektierten Leistung des durch das sättigbare Element modulierten Messstrahls.

- 10 Unter einer „Modulation eines Laserstrahls“ wird im Sinne dieser Beschreibung eine Transmission, Absorption, Reflexion, Beugung und/oder Streuung des Laserstrahls verstanden. Durch die Wechselwirkung eines Laserstrahls mit dem sättigbaren Element wird insbesondere die Leistung des Laserstrahls verändert bzw. moduliert. Somit umfasst der Begriff „Modulation“ insbesondere eine Leistungsmodulation.

15

Der Modulationsstrahl-Leistungsdetektor kann z.B. ein Leistungsmesskopf oder eine Photodiode, insbesondere eine kalibrierte Photodiode, sein.

- Die Auswerteeinrichtung kann z.B. ein Computer bzw. Mikroprozessor sein, mit dem
20 der Leistungsanteil des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers auf Basis der von dem Modulationsstrahl-Leistungsdetektor detektierten Leistung des durch das sättigbare Element modulierten Messstrahls ermittelt bzw. berechnet werden kann. Vorzugsweise umfasst die Auswerteeinrichtung auch ein Anzeigegerät wie z.B. ein Display oder einen Bildschirm und/oder ein Ausgabegerät wie z.B. einen Drucker, um
25 das Ergebnis, insbesondere den ermittelten Leistungsanteil der Hintergrundstrahlung des Lasers und/oder weitere Informationen wie z.B. die Gesamtleistung des Lasers und/oder das Verhältnis der Leistung der Hintergrundstrahlung und der Pulsleistung des Lasers, anzuzeigen bzw. auszugeben.

- 30 Die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. das erfindungsgemäße Messsystem ist vorteilhafterweise sehr kompakt und ermöglicht eine sehr einfache quantitative Erfassung bzw. Messung des Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds sowohl an

neu zu entwickelnden gepulsten Lasersystemen als auch an gepulsten Lasersystemen im industriellen Einsatz.

In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist das
5 sättigbare Element dergestalt ausgelegt, dass sich das sättigbare Element bei einer von dem Strahlungshintergrund des Messstrahls resultierenden Fluenz in einem ungesättigten Zustand und bei einer von einem Puls des Messstrahls resultierenden Fluenz in einem gesättigten Zustand befindet.

- 10 Mit anderen Worten ist das sättigbare Element ausgelegt, die oben beschriebenen Zustände bei der entsprechenden, am sättigbaren Element auftretenden bzw. einfallenden, Fluenz einzunehmen.

- Vorzugsweise ist das sättigbare Element derart ausgelegt, dass sich das sättigbare
15 Element in Folge des Strahlungshintergrunds des Messstrahls in einem im Wesentlichen vollständig ungesättigten Zustand und in Folge eines Pulses des Messstrahls in einem im Wesentlichen vollständig gesättigten Zustand befindet.

- Im Gegensatz zu einem Puls des Laser- bzw. Messstrahls ist ein
20 Strahlungshintergrund bzw. eine cw-Strahlung des Laser- bzw. Messstrahls zeitlich nicht begrenzt. Dennoch erzeugt der Strahlungshintergrund bzw. die cw-Strahlung keine oder eine nur teilweise Sättigung des sättigbaren Elements. Dies liegt daran, dass bei der kontinuierlichen Bestrahlung des sättigbaren Elements auch eine Relaxation aus dem teilweise gesättigten Zustand des sättigbaren Elements
25 stattfindet. Zwischen der kontinuierlichen Absorption der cw-Strahlung und dieser Relaxation stellt sich ein Gleichgewicht ein. Dieses Gleichgewicht bestimmt schließlich die Sättigung des sättigbaren Elements. Aus dem Strahlungshintergrund der Laser- bzw. Messstrahlung resultiert somit auch eine bestimmte, endliche Fluenz. Die von dem Strahlungshintergrund der Laser- bzw. Messstrahlung resultierende Fluenz wird
30 im Sinne dieser Beschreibung auch als cw-Gleichgewichtsfluenz bezeichnet. Die von einem Puls der Laserstrahlung resultierende Fluenz wird im Sinne dieser Beschreibung auch als Puls-Fluenz bezeichnet. Das sättigbare Element befindet sich

also vorzugsweise bei einer von dem Strahlungshintergrund des Messstrahls resultierenden Fluenz, d.h. der cw-Gleichgewichtsfluenz, in einem im Wesentlichen vollständig ungesättigten Zustand und bei einer von einem Puls des Messstrahls resultierenden Fluenz, d.h. der Puls-Fluenz, in einem im Wesentlichen vollständig gesättigten Zustand. Vorzugsweise entspricht die Puls-Fluenz der Sättigungsfluenz.
5 Weiter vorzugsweise ist die cw-Gleichgewichtsfluenz kleiner als die Sättigungsfluenz.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die erfindungsgemäße Vorrichtung ferner auf:

- 10 - einen Strahlteiler zum Aufteilen des von dem Laser ausgesandten Laserstrahls in einen Referenzstrahl und den Messstrahl;
- einen Referenzstrahl-Leistungsdetektor zum Detektieren bzw. Messen der Leistung des Referenzstrahls;
- wobei der Strahlteiler derart angeordnet und/oder ausgerichtet ist, dass der
15 Referenzstrahl auf den Referenzstrahl-Leistungsdetektor trifft und der Messstrahl auf das sättigbare Element trifft.

Der Referenzstrahl-Leistungsdetektor kann z.B. einen Leistungsmesskopf oder eine Photodiode, insbesondere eine kalibrierte Photodiode, umfassen. Der Strahlteiler kann
20 ein bekanntes Teilungsverhältnis oder ein experimentell ermittelbares Teilungsverhältnis aufweisen. Beispielsweise beträgt das Teilungsverhältnis des Strahlteilers 50%. Es versteht sich, dass aber auch andere Werte des Teilungsverhältnisses des Strahlteilers möglich sind.

25 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist das sättigbare Element ein sättigbarer Absorber und insbesondere ein sättigbarer Absorberspiegel.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die erfindungsgemäße
30 Vorrichtung ferner ein Fluenzeinstellelement zum Einstellen der auf das sättigbare Element auftreffenden Fluenz des Messstrahls auf.

Wie bereits oben beschrieben kann das Fluenzeinstellelement z.B. eine Linse, einen Polarisator/Analysator und/oder ein Dichteelement umfassen.

5 Ein weiterer unabhängiger Aspekt zur Lösung der Aufgabe betrifft eine Verwendung eines sättigbaren Elements, insbesondere eines sättigbaren Absorbers bzw. eines sättigbaren Absorberspiegels, zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers.

10 Für die oben genannten weiteren unabhängigen Aspekte und insbesondere für diesbezügliche bevorzugte Ausführungsformen gelten auch die vor- oder nachstehend gemachten Ausführungen zu den Ausführungsformen des ersten Aspekts.

Im Folgenden werden einzelne Ausführungsformen zur Lösung der Aufgabe anhand der Figuren beispielhaft beschrieben. Dabei weisen die einzelnen beschriebenen
15 Ausführungsformen zum Teil Merkmale auf, die nicht zwingend erforderlich sind, um den beanspruchten Gegenstand auszuführen, die aber in bestimmten Anwendungsfällen gewünschte Eigenschaften bereit stellen. So sollen auch Ausführungsformen als unter die beschriebene technische Lehre fallend offenbart angesehen werden, die nicht alle Merkmale der im Folgenden beschriebenen
20 Ausführungsformen aufweisen. Ferner werden, um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, bestimmte Merkmale nur in Bezug auf einzelne der im Folgenden beschriebenen Ausführungsformen erwähnt. Es wird darauf hingewiesen, dass die einzelnen Ausführungsformen daher nicht nur für sich genommen sondern auch in einer Zusammenschau betrachtet werden sollen. Anhand dieser Zusammenschau
25 wird der Fachmann erkennen, dass einzelne Ausführungsformen auch durch Einbeziehung von einzelnen oder mehreren Merkmalen anderer Ausführungsformen modifiziert werden können. Es wird darauf hingewiesen, dass eine systematische Kombination der einzelnen Ausführungsformen mit einzelnen oder mehreren Merkmalen, die in Bezug auf andere Ausführungsformen beschrieben werden,
30 wünschenswert und sinnvoll sein kann, und daher in Erwägung gezogen und auch als von der Beschreibung umfasst angesehen werden soll.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figur 1 zeigt eine schematische Zeichnung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel;

5

Figur 2 zeigt eine schematische Zeichnung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel;

Figur 3 zeigt einen typischen Verlauf der Reflektivität eines sättigbaren Absorberspiegels in Abhängigkeit der einfallenden Fluenz;

10

Figur 4 zeigt eine schematische Zeichnung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel.

15

Detaillierte Beschreibung der Zeichnungen

Die **Figur 1** zeigt eine schematische Zeichnung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers gemäß einem Ausführungsbeispiel. Die Vorrichtung umfasst ein sättigbares Element 13, einen Modulationsstrahl-Leistungsdetektor 15 und eine Auswerteeinrichtung (in der Figur 1 nicht gezeigt). Im Ausführungsbeispiel der **Figur 1** ist das sättigbare Element transmittiv, d.h. es transmittiert einen auftreffenden bzw. einfallenden Laserstrahl 3, wobei die Leistung des transmittierten Strahls 5 im Vergleich zum einfallenden Strahl 3 in Abhängigkeit der auf das sättigbare Element auftreffenden bzw. einfallenden Fluenz des Laserstrahls 3 moduliert wird. Abhängig von der Fluenz des auftreffenden bzw. einfallenden Laserstrahls 3 unterscheidet sich somit die Leistung des transmittierten Strahls 5 von der Leistung des einfallenden Strahls 3, der auch als Messstrahl bezeichnet wird.

30

Der zu analysierende Laserstrahl bzw. der Messstrahl 3 wird durch das transmittive sättigbare Element 13 propagiert und die im modulierten bzw. transmittierten Strahl 5

verbleibende Leistung mittels des Modulationsstrahl-Leistungsdetektors 15, der insbesondere eine Photodiode oder einen Leistungsmesskopf umfasst, gemessen.

- Die **Figur 2** zeigt eine schematische Zeichnung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 5 100 zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel. Im Ausführungsbeispiel der **Figur 2** ist das sättigbare Element reflektiv, d.h. es reflektiert einen auftreffenden bzw. einfallenden Laserstrahl 3, wobei die Leistung des reflektierten Strahls 5 im Vergleich zum einfallenden Strahl 3 in Abhängigkeit der auf 10 das sättigbare Element auftreffenden bzw. einfallenden Fluenz des Laserstrahls 3 moduliert wird. Abhängig von der Fluenz des auftreffenden bzw. einfallenden Laserstrahls 3 unterscheidet sich somit die Leistung des reflektierten Strahls 5 von der Leistung des einfallenden Strahls bzw. Messstrahls 3.
- 15 Der zu analysierende Laserstrahl bzw. der Messstrahl 3 wird durch das reflektive sättigbare Element 13 reflektiert und die im modulierten bzw. reflektierten Strahl 5 verbleibende Leistung mittels des Modulationsstrahl-Leistungsdetektors 15 gemessen.
- 20 Das reflektive sättigbare Element kann z.B. ein sättigbarer Absorberspiegel sein. Der Modulationsstrahl-Leistungsdetektor 15 kann z.B. eine Photodiode oder einen Leistungsmesskopf umfassen.

- Die **Figur 3** zeigt einen typischen Verlauf der Reflektivität eines sättigbaren 25 Absorberspiegels in Abhängigkeit der einfallenden Fluenz. Dabei stellt die in dem Diagramm gezeigte Kurve 40 einen idealen Verlauf dar, während die Kurve 50 einen realen Verlauf repräsentiert. Bei der in der **Figur 3** gezeigten Fluenzkurve des beispielhaften sättigbaren Elements nimmt der Modulationsgrad bzw. die Reflektivität mit zunehmender Fluenz im Bereich von etwa 0,01 bis 25 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ kontinuierlich zu.
- 30 Während die Reflektivität bei der idealen Kurve 40 auch noch bei einer Fluenzerhöhung im Bereich $> 25 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ ansteigt, nimmt die Reflektivität gemäß der realen Kurve 50 ab etwa 25 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ wieder ab. Diese Abnahme kann insbesondere

durch eine zwei-Photonen Absorption resultieren. Der Fluenzbereich, in dem der Modulationsgrad bzw. die Reflektivität bei der realen Kurve 50 wieder abnimmt, wird als „Roll-over“-Bereich bezeichnet.

- 5 Das sättigbare Element bzw. dessen Fluenzkurve ist, wie in dem Diagramm der **Figur 3** dargestellt, durch die Modulationstiefe ΔR und durch nichtsättigbare Verluste ΔR_{ns} charakterisiert. Um eine hohe Messgenauigkeit zu erzielen ist es vorteilhaft, wenn die Modulationstiefe möglichst groß und die nichtsättigbaren Verluste möglichst klein sind. Mit F_{sat} ist in der **Figur 3** eine Sättigungsfluenz des sättigbaren Elements bezeichnet.
- 10 Wie in der Figur 3 dargestellt, kann z.B. diese Sättigungsfluenz durch den Wendepunkt der Fluenzkurve bestimmt bzw. festgelegt sein. Es ist aber auch möglich, die Sättigungsfluenz anders zu definieren, beispielsweise als einen Fluenzwert zwischen dem Wendepunkt und dem Maximum der in der **Figur 3** gezeigten Fluenzkurve oder als Fluenzwert, der dem Maximum der Fluenzkurve entspricht. Bei einer Fluenz, die
- 15 größer als F_{sat} ist, ist das sättigbare Element im Wesentlichen oder vollständig gesättigt, d.h. in einem im Wesentlichen oder vollständig gesättigten Zustand. Eine vollständige Sättigung des sättigbaren Elements liegt insbesondere bei dem Maximum der realen Kurve 50, d.h. in dem Beispiel der **Figur 3** bei etwa $50 \mu J/cm^2$ vor.
- 20 Die Transmissivität bzw. Reflektivität des sättigbaren Elements 13 der **Figuren 1 und 2** hängt von der Fluenz, d.h. von der Energie pro Fläche, des Laserpulses bzw. des Laserstrahls 3 ab. Da die Fluenzabhängigkeit der Transmissivität bzw. Reflektivität des sättigbaren Elements 13 bekannt ist oder experimentell bestimmt werden kann, kann durch Messung der mittleren Leistung P_{sat} des transmittierten bzw. reflektierten
- 25 Laserstrahls 5 auf den Leistungsanteil der Laserpulse im Verhältnis zum cw-Hintergrund und/oder zu sonstigem Rauschen zurückgerechnet werden. Der einfallende Messstrahl 3 weist eine Leistung P_{ref} auf, welche sich aus der Leistung des Strahlungs- bzw. cw-Hintergrundes P_{cw} und der mittleren Leistung der Laserpulse P_{puls} zusammensetzt:

30

$$P_{Ref} = P_{cw} + P_{puls} \quad (3) \rightarrow P_{cw} = P_{Ref} - P_{puls} \quad (3A).$$

Der Strahl wird durch das sättigbare Element 13 transmittiert oder daran reflektiert, wobei ein Anteil ΔR_{NS} des Strahls durch nichtsättigbare Verluste absorbiert wird. Im komplett gesättigten Zustand hat das sättigbare Element eine um die Modulationstiefe ΔR erhöhte Reflektivität bzw. Transmissivität. Wird das sättigbare Element im Wesentlichen bzw. vollständig gesättigt (siehe **Figur 3**), ergibt sich dadurch die Leistung im modulierten Strahl 5 entsprechend zu:

$$P_{Sat} = P_{cw}(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R) + P_{puls}(1 - \Delta R_{NS}) \quad (4).$$

10

Ein Einsetzen der Gleichung (3A) in die Gleichung (4) ergibt P_{puls} :

$$\begin{aligned} P_{Sat} &= (P_{Ref} - P_{puls})(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R) + P_{puls}(1 - \Delta R_{NS}) \\ &= P_{Ref}(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R) + P_{puls} \Delta R \end{aligned}$$

15

$$\rightarrow P_{puls} = \frac{P_{Sat} - P_{Ref}(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)}{\Delta R} \quad (5).$$

20

Ein Einsetzen der Gleichung (5) in die Gleichung (3A) ergibt P_{cw} :

$$\rightarrow P_{cw} = P_{Ref} - \frac{P_{Sat} - P_{Ref}(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)}{\Delta R} = \frac{P_{Ref}(1 - \Delta R_{NS}) - P_{Sat}}{\Delta R} \quad (6).$$

25

Somit ergibt sich das Verhältnis aus der Leistung des Strahlungshintergrunds und der Pulsleistung zu:

$$\frac{P_{cw}}{P_{puls}} = \frac{P_{Ref}(1 - \Delta R_{NS}) - P_{Sat}}{P_{Sat} - P_{Ref}(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)} = \frac{(1 - \Delta R_{NS}) - \frac{P_{Sat}}{P_{Ref}}}{\frac{P_{Sat}}{P_{Ref}} - (1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)} \quad (7).$$

30

Bei einer bekannten Gesamtleistung des zu analysierenden Lasers P_{Ref} und bei bekannten Werten ΔR und ΔR_{NS} des verwendeten sättigbaren Elements 13 kann somit gemäß Gleichung (7) durch Messung der Leistung P_{Sat} des modulierten Messstrahls 5 das Verhältnis aus der Leistung des Strahlungshintergrunds und der Pulsleistung ermittelt werden.

Die **Figur 4** zeigt eine schematische Zeichnung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel. Im Vergleich zu den Ausführungsbeispielen der **Figuren 1 und 2** weist die Vorrichtung gemäß der Ausführungsform der **Figur 4** zusätzlich einen Strahlteiler 20 und ein Fluenzeinstellelement bzw. eine Linse 30 auf. Der Strahlteiler 20 teilt den von einem Laser ausgesandten Laserstrahl 1 in einen Messstrahl 3 und einen Referenzstrahl 7 auf. Der Messstrahl trifft auf das sättigbare Element bzw. den sättigbaren Absorberspiegel 13 und wird von diesem moduliert bzw. reflektiert. Der modulierte bzw. reflektierte Strahl 5 wird schließlich wieder mittels des Strahlteilers 20 auf einen Modulationsstrahl-Leistungsdetektor gelenkt, mit dem die Leistung des modulierten Strahls 5 gemessen wird. Mit Hilfe eines Referenzstrahl-Leistungsdetektors 17 wird die Leistung P_{Ref} des Referenzstrahls 7 gemessen. Der Strahlteiler 20 kann, wie in der **Figur 4** gezeigt, ein konventioneller Strahlteiler, der eine Aufteilung des Laserstrahls in Leistungsanteile vornimmt, sein.

Gemäß der **Figur 4** wird der zu analysierende Laserstrahl 1 mittels des Strahlteilers 20 mit bekanntem Teilungsverhältnis in den Messstrahl 3 und den Referenzstrahl 7 aufgeteilt, z.B. mit 50% Leistung in jedem der Teilstrahlen. Alternativ oder zusätzlich kann der Strahlteiler 20 vor der Messung z.B. mittels eines hochreflektierenden Spiegels, welcher an der Stelle des sättigbaren Elements 13 angeordnet ist, kalibriert werden.

Die Reflektivität des sättigbaren Absorberspiegels hängt von der Fluenz des Messstrahls 3 ab. Da diese Fluenzabhängigkeit der Reflektivität des sättigbaren Absorberspiegels bekannt ist, kann durch Messung der mittleren Leistung P_{Sat} des modulierten bzw. reflektierten Laserstrahls auf den Leistungsanteil der Laserpulse im Verhältnis zum cw-Hintergrund und/oder zu anderem Rauschen zurückgerechnet werden.

Wird die Reflektivität des Strahlteilers 20 mit S bezeichnet, so ist die Leistung P_{Ref} des Referenzstrahls 7:

$$P_{Ref} = S(P_{cw} + P_{puls}) \quad (8).$$

Daraus folgt für die Leistung P_{cw} der Hintergrundstrahlung:

5

$$P_{cw} = \frac{P_{Ref}}{S} - P_{puls} \quad (8A).$$

Die Leistung P_{Sat} des modulierten Messstrahls 5 ist:

10

$$P_{Sat} = S(1 - S)[P_{cw}(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R) + P_{puls}(1 - \Delta R_{NS})] \quad (9).$$

Ein Einsetzen der Gleichung (8A) in die Gleichung (9) ergibt für die mittlere Leistung P_{puls} der Pulsstrahlung:

15

$$\begin{aligned} P_{Sat} &= S(1 - S)\left[\left(\frac{P_{Ref}}{S} - P_{puls}\right)(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R) + P_{puls}(1 - \Delta R_{NS})\right] \\ &= S(1 - S)\left[\frac{P_{Ref}}{S}(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R) + P_{puls}\Delta R\right] \\ \rightarrow P_{puls} &= \frac{\frac{P_{Sat}}{S(1 - S)} - \frac{P_{Ref}}{S}(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)}{\Delta R} \quad (10). \end{aligned}$$

Ein Einsetzen der Gleichung (10) in die Gleichung (8A) ergibt für P_{cw} :

20

$$P_{cw} = \frac{P_{Ref}}{S} - \frac{\frac{P_{Sat}}{S(1 - S)} - \frac{P_{Ref}}{S}(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)}{\Delta R} = \frac{\frac{P_{Ref}}{S}(1 - \Delta R_{NS}) - \frac{P_{Sat}}{S(1 - S)}}{\Delta R} \quad (11).$$

Somit ergibt sich das Verhältnis aus der Leistung des Strahlungshintergrunds und der Pulsleistung zu:

$$\begin{aligned}
\frac{P_{cw}}{P_{puls}} &= \frac{\frac{P_{Ref}}{S}(1 - \Delta R_{NS}) - \frac{P_{Sat}}{S(1 - S)}}{\frac{P_{Sat}}{S(1 - S)} - \frac{P_{Ref}}{S}(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)} = \frac{(1 - \Delta R_{NS}) - \frac{P_{Sat}}{(1 - S)P_{Ref}}}{\frac{P_{Sat}}{(1 - S)P_{Ref}} - (1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)} \\
&= \frac{(1 - S)(1 - \Delta R_{NS}) - \frac{P_{Sat}}{P_{Ref}}}{\frac{P_{Sat}}{P_{Ref}} - (1 - S)(1 - \Delta R_{NS} - \Delta R)} \quad (12).
\end{aligned}$$

Bei bekannter Reflektivität S des verwendeten Strahlungsteilers 20 und bei bekannten
 5 Werten ΔR und ΔR_{NS} des verwendeten sättigbaren Elements 13 kann somit gemäß
 Gleichung (12) durch Messung der Leistung P_{Sat} des modulierten Messstrahls 5 und
 durch Messung der Leistung P_{Ref} des Referenzstrahls 7 das Verhältnis aus der
 Leistung des Strahlungshintergrunds und der Pulsleistung ermittelt werden.

- 10 Das sättigbare Element 13 hat einen von der Fluenz abhängigen Verlauf der
 Transmission/Reflektion (siehe **Figur 3**). Um einen systematischen Messfehler durch
 ungenügende Sättigung des sättigbaren Elements 13 zu vermeiden, kann die Fluenz
 der zu messenden Pulse und des cw-Hintergrunds an die Fluenzkurve des sättigbaren
 Elements 13 angepasst werden. Dazu kann beispielsweise, wie in der **Figur 4** gezeigt,
 15 eine axial verschiebbare bzw. eine entlang des optischen Pfads verschiebbare Linse
 30 dienen. Diese Linse 30 ist zwischen dem Strahlteiler 20 und dem sättigbaren
 Element 13 angeordnet. Ist das sättigbare Element 13 z.B. ein sättigbarer
 Absorberspiegel, so kann dadurch gewährleistet werden, dass die Pulse den
 sättigbaren Absorberspiegel maximal sättigen. Eine Sättigung ist in diesem Fall bei
 20 einem Minimum des Verhältnisses P_{cw}/P_{puls} erreicht.

Für die oben beschriebenen Messungen muss vorausgesetzt werden können, dass
 die Leistung des Strahlungshintergrunds, d.h. insbesondere die mittlere cw-Leistung,
 des zu analysierenden Lasers nicht ausreicht, um das sättigbare Element zu sättigen.

- 25 Dagegen muss das sättigbare Element für eine Pulsspitzenleistung gesättigt,
 vorzugsweise vollständig gesättigt, werden. Diese Bedingung ist für gängige gepulste
 Laser in der Regel leicht zu erfüllen. Denn die Spitzenleistung eines einzelnen
 Laserpulses ist im Allgemeinen deutlich höher als die mittlere Leistung der

Hintergrundstrahlung bzw. des cw-Hintergrundes des Lasers. So hat z.B. ein Laser mit einer Pulsdauer von 5 ps, einer Repetitionsrate von 1 MHz und einer mittleren gepulsten Leistung von 50 W (mittlere Gesamtleistung von 100 W) eine Pulsspitzenleistung von 10 MW. Der cw-Hintergrundanteil beträgt also 50% der
5 mittleren Gesamtleistung des Lasers. Somit ist die Spitzenleistung eines Pulses um einen Faktor $2 \cdot 10^5$ größer als die Leistung des cw-Hintergrunds. Auf Basis dieses hohen Leistungsunterschieds kann die oben erwähnte Voraussetzung leicht erfüllt werden. Für viele zu vermessende gepulste Lasersysteme kann zudem ein noch höherer Unterschied zwischen Pulsspitzenleistung und mittlerer Leistung des cw-
10 Hintergrundes erwartet werden, da der Anteil des cw-Hintergrunds an der Gesamtleistung typischerweise deutlich geringer ist.

Bei sättigbaren Elementen, welche in der Fluenzkurve einen „Roll-over“-Bereich aufweisen (siehe **Figur 3**) ist es für die Messgenauigkeit ferner entscheidend, dass
15 das sättigbare Element beim Auftreffen eines Laserpulses nicht in den Roll-over-Bereich gelangt. Um dies zu vermeiden, kann mit Hilfe des in der **Figur 4** gezeigten Fluenzeinstellelementes bzw. der Linse 30 die auf das sättigbare Element 13 auftreffende Fluenz angepasst bzw. eingestellt werden. Durch ein geeignetes Einstellen der Fluenz, d.h. durch ein geeignetes Verschieben der Linse entlang des
20 optischen Pfads zwischen dem Strahlteiler 20 und dem sättigbaren Element 13, kann zum einen erreicht werden, dass das sättigbare Element 13 bei einem Auftreffen des Strahlungshintergrunds einen ungesättigten Zustand einnimmt. Zum anderen kann erreicht werden, dass das sättigbare Element 13 bei einem Auftreffen eines Laserpulses einen gesättigten Zustand einnimmt, ohne dabei in den Roll-over-Bereich
25 zu gelangen.

Die zu einer vollständigen Sättigung notwendige Fluenz kann mit dem erfindungsgemäßen Messaufbau bzw. der Vorrichtung 100 selbst aus dem Verhältnis P_{cw}/P_{puls} ermittelt werden. Auf Grund des charakteristischen Sättigungsverhaltens des
30 sättigbaren Elements bzw. sättigbaren Absorberspiegels 13 ist z.B. gemäß dem beispielhaften Kurvenverlauf der **Figur 3** zu erwarten, dass das Verhältnis P_{cw}/P_{puls} im Fluenzbereich der vollständigen Sättigung (für die Laserpulse) ein Minimum aufweist,

da hier die maximale Reflektivität des sättigbaren Elements bzw. sättigbaren Absorberspiegels 13 erreicht wird.

Bezugszeichenliste

5		
	1	Laserstrahl
	3	Messstrahl
	5	Modulierter Laserstrahl / Modulationsstrahl
	7	Referenzstrahl
10	13	Sättigbares Element / sättigbarer Absorber
	15	Modulationsstrahl-Leistungsdetektor
	17	Referenzstrahl-Leistungsdetektor
	20	Strahlteiler
	30	Fluenzeinstellelement
15	40	Ideale Fluenzkurve
	50	Reale Fluenzkurve

Patentansprüche

1. Verfahren zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers, umfassend die Schritte:

- Modulieren eines von dem Laser ausgesandten Messstrahls (3) mit Hilfe eines sättigbaren Elements (13) in Abhängigkeit von der Fluenz des Messstrahls (3);

- Detektieren der Leistung des von dem sättigbaren Element (13) modulierten Messstrahls (5) mit Hilfe eines Modulationsstrahl-Leistungsdetektors (15); und

- Ermitteln des Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers auf Basis der detektierten Leistung des durch das sättigbare Element (13) modulierten Messstrahls (5).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verfahren vor dem Schritt des Modulierens des Messstrahls (3) ein

- Aufteilen eines von dem Laser ausgesandten Laserstrahls (1) in einen Referenzstrahl (7) und den Messstrahl (3) mit Hilfe eines Strahlteilers (20) umfasst, und wobei das Verfahren vor dem Schritt des Ermitteln des Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers ferner ein

- Detektieren der Leistung des Referenzstrahls (7) mit Hilfe eines Referenzstrahl-Leistungsdetektors (17) umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Verfahren vor dem Schritt des Detektierens der Leistung des modulierten Messstrahls (5) ferner den folgenden Schritt umfasst:

- Einstellen der am sättigbaren Element (13) auftretenden Fluenz des Messstrahls (3) mit Hilfe eines Fluenzeinstellelementes (30) derart, dass sich das sättigbare Element (13) in Folge des Strahlungshintergrunds des

Messstrahls (3) in einem ungesättigten Zustand und in Folge eines Pulses des Messstrahls (3) in einem gesättigten Zustand befindet.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei sämtliche Schritte zumindest einmal mit jeweils einem anderen sättigbaren Element (13) wiederholt werden und wobei über die ermittelten Leistungsanteile des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers gemittelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, ferner umfassend den folgenden Schritt zu Beginn des Verfahrens:

- Kalibrieren des sättigbaren Elements bzw. der sättigbaren Elemente (13) mit Hilfe einer kombinierten Strahlquelle, wobei die kombinierte Strahlquelle einen cw-Laser mit einstellbarer cw-Leistung und einen gepulsten Laser mit einstellbarer Pulsleistung umfasst.

15

6. Vorrichtung (100) zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers, aufweisend:

- ein sättigbares Element (13) zur Modulation eines auf das sättigbare Element einfallenden Messstrahls (3) des Lasers, wobei die Modulation des Messstrahls (3) durch das sättigbare Element (13) von der Fluenz des Messstrahls (3) abhängt;

- einen Modulationsstrahl-Leistungsdetektor (15) zum Detektieren der Leistung des von dem sättigbaren Element (13) modulierten Messstrahls (5); und

- eine Auswerteeinrichtung zum Ermitteln des Leistungsanteils des Strahlungshintergrunds des gepulsten Lasers auf Basis der von dem Modulationsstrahl-Leistungsdetektor (15) detektierten Leistung des durch das sättigbare Element (13) modulierten Messstrahls (5).

7. Vorrichtung (100) nach Anspruch 6, wobei das sättigbare Element (13) derart ausgelegt ist, dass sich das sättigbare Element (13) in Folge des Strahlungshintergrunds des Messstrahls (3) in einem ungesättigten Zustand und in Folge eines Pulses des Messstrahls (3) in einem gesättigten Zustand befindet.

8. Vorrichtung (100) nach Anspruch 6 oder 7, ferner aufweisend:

- einen Strahlteiler (20) zum Aufteilen eines von dem Laser ausgesandten Laserstrahls (1) in einen Referenzstrahl (7) und den Messstrahl (3);
- einen Referenzstrahl-Leistungsdetektor (17) zum Detektieren der Leistung des Referenzstrahls (7);

5 wobei der Strahlteiler (20) derart angeordnet und/oder ausgerichtet ist, dass der Referenzstrahl (7) auf den Referenzstrahl-Leistungsdetektor (17) trifft und der Messstrahl (3) auf das sättigbare Element (13) trifft.

9. Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei das sättigbare
10 Element (13) ein sättigbarer Absorber ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, ferner aufweisend:

- ein Fluenzeinstellelement (30) zum Einstellen der auf das sättigbare Element (13) auftreffenden Fluenz des Messstrahls (3).

15

11. Verwendung eines sättigbaren Elements (13) zur quantitativen Erfassung des Leistungsanteils eines Strahlungshintergrunds eines gepulsten Lasers.

Fig. 1

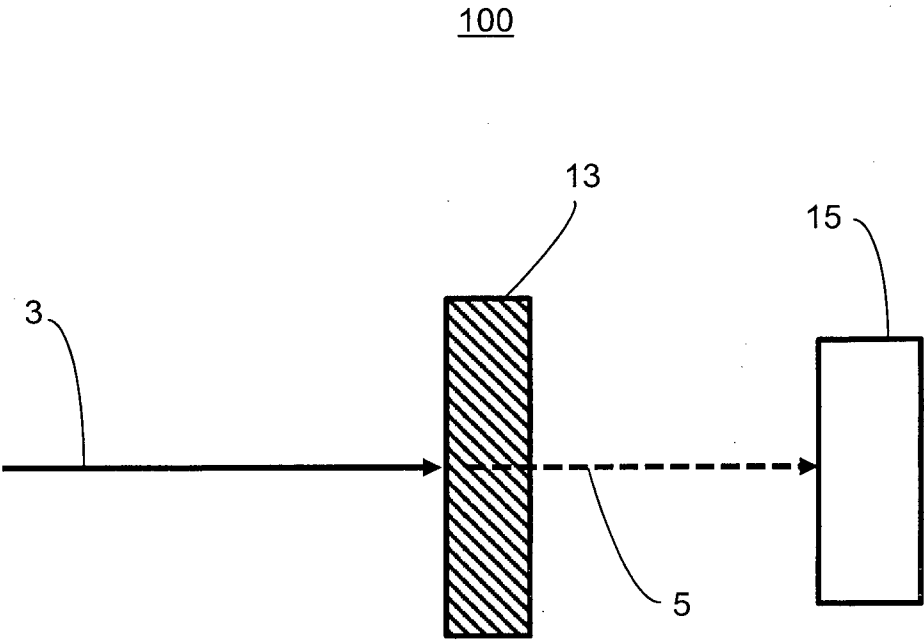


Fig. 2

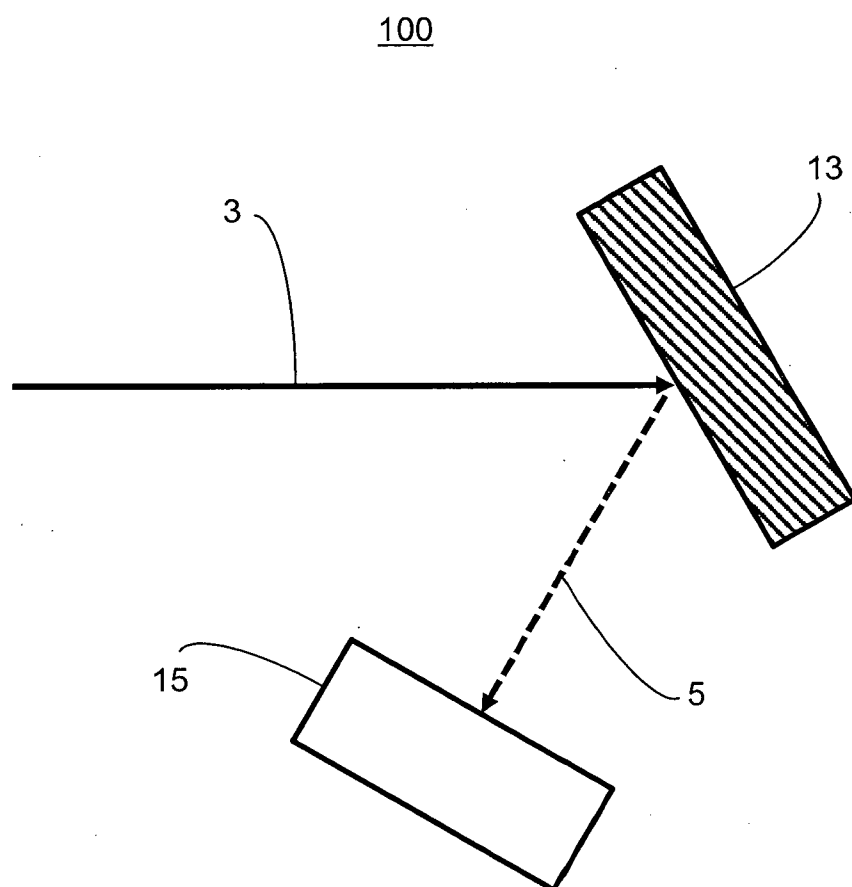


Fig. 3

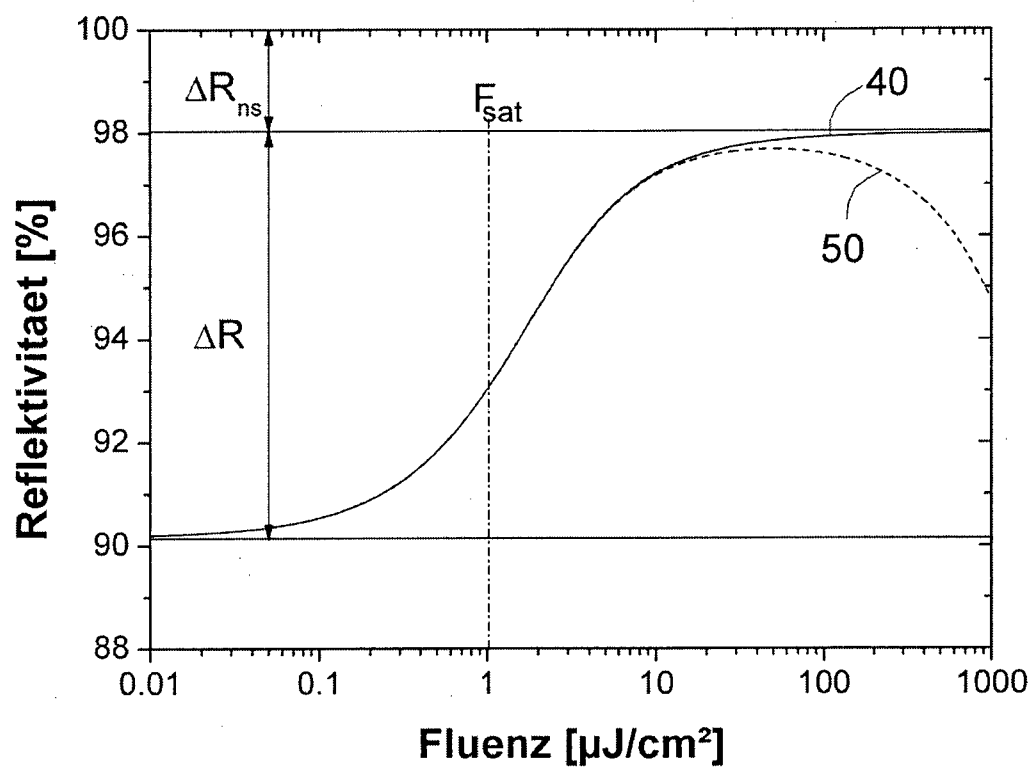
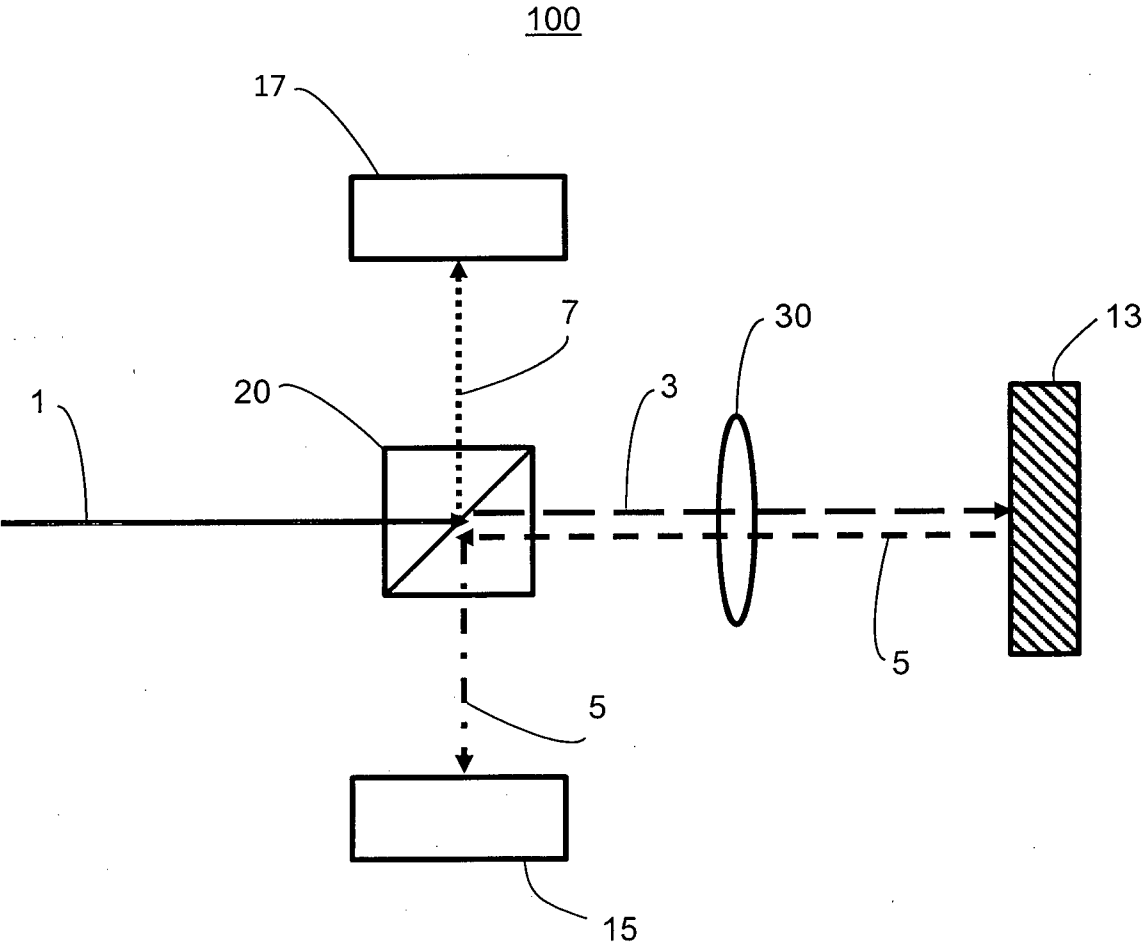


Fig. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/000474

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01J1/42 G01J1/04
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01J H01S G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2006/029110 A1 (CHO GYU C [US] ET AL) 9 February 2006 (2006-02-09) abstract; figure 2 -----	1-11
X	EP 2 019 461 A1 (HIGH Q LASER PRODUCTION GMBH [AT]) 28 January 2009 (2009-01-28) paragraph [0041]; figure 7 -----	1-11
X	DE 10 2012 217655 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 27 March 2014 (2014-03-27) paragraphs [0008], [0009], [0015], [0016], [0017], [0060]; figure 3 -----	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 July 2016

Date of mailing of the international search report

18/07/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schmidt, Charlotte

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/000474

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2006029110	A1	09-02-2006	NONE

EP 2019461	A1	28-01-2009	EP 2019461 A1 28-01-2009
			EP 2019462 A1 28-01-2009
			JP 5289848 B2 11-09-2013
			JP 2009031285 A 12-02-2009
			US 2009034564 A1 05-02-2009

DE 102012217655	A1	27-03-2014	DE 102012217655 A1 27-03-2014
			EP 2901529 A1 05-08-2015
			US 2015253199 A1 10-09-2015
			WO 2014048912 A1 03-04-2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01J1/42 G01J1/04
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01J H01S G02B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2006/029110 A1 (CHO GYU C [US] ET AL) 9. Februar 2006 (2006-02-09) Zusammenfassung; Abbildung 2 -----	1-11
X	EP 2 019 461 A1 (HIGH Q LASER PRODUCTION GMBH [AT]) 28. Januar 2009 (2009-01-28) Absatz [0041]; Abbildung 7 -----	1-11
X	DE 10 2012 217655 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 27. März 2014 (2014-03-27) Absätze [0008], [0009], [0015], [0016], [0017], [0060]; Abbildung 3 -----	1-11



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Juli 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/07/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Schmidt, Charlotte

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/000474

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2006029110 A1	09-02-2006	KEINE	

EP 2019461 A1	28-01-2009	EP 2019461 A1	28-01-2009
		EP 2019462 A1	28-01-2009
		JP 5289848 B2	11-09-2013
		JP 2009031285 A	12-02-2009
		US 2009034564 A1	05-02-2009

DE 102012217655 A1	27-03-2014	DE 102012217655 A1	27-03-2014
		EP 2901529 A1	05-08-2015
		US 2015253199 A1	10-09-2015
		WO 2014048912 A1	03-04-2014
