

(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
25. Juli 2013 (25.07.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/106876 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 21/41 (2006.01) G01J 3/453 (2006.01)
G01N 21/45 (2006.01) G02B 1/11 (2006.01)
G01M 11/00 (2006.01) G02B 5/08 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2013/050009

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Januar 2013 (15.01.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 47/2012 17. Januar 2012 (17.01.2012) AT

(71) Anmelder: FEMTOLASERS PRODUKTIONS GMBH
[AT/AT]; Kl. Engersdorferstr. 24, A-2100 Korneuburg
(AT).

(72) Erfinder: TEMPEA, Gabriel-Florin; Wimbergg. 8/19,
A-1070 Wien (AT).

(74) Anwalt: SONN & PARTNER PATENTANWÄLTE;
Riemergasse 14, A-1010 Wien (AT).

(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, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR OPTICAL INSPECTION OF A SAMPLE

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR OPTISCHEN ÜBERPRÜFUNG EINER PROBE

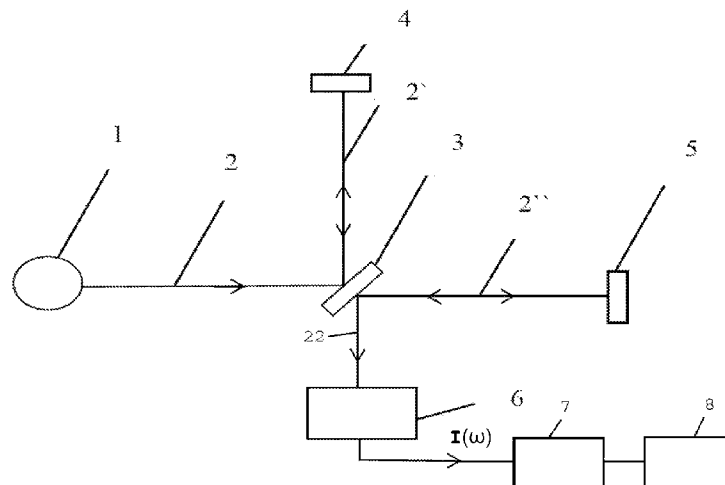


Fig. 6

(57) Abstract: Method and device for optical inspection of a sample using spectral interferometry, wherein a beam (2'') emitted by a radiation source (1) is directed onto the sample (5) and a reference beam (2') is directed onto a reference sample (4), and the spectral interference of both beams after being reflected on the samples or after passing the samples is recorded by means of a spectrograph (6); the interferogram $I(\omega)$ thus obtained is numerically derived with respect to the angular frequency ω . For the function $I'(\omega)$ thus obtained the zeros ω_i are calculated numerically as solutions to the equation $I'(\omega) = 0$ and the frequency-dependent group delay $\tau(\omega)$ is then calculated from the zeros ω_i according to the equation $\tau(\omega_n) = \pi / (\omega_{i+1} - \omega_i)$, wherein $i = 1, 2, \dots$ and $\omega_n = (\omega_{i+1} + \omega_i) / 2$.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/106876 A1



Verfahren und Vorrichtung zur optischen Überprüfung einer Probe mittels spektraler Interferometrie, wobei ein von einer Strahlungsquelle (1) abgegebener Strahl (2'') auf die Probe (5) sowie ein Referenzstrahl (2') auf eine Referenzprobe (4) gerichtet werden und die spektrale Interferenz der beiden Strahlen nach Reflexion an den Proben oder Passieren der Proben mittels eines Spektrographen (6) aufgenommen wird; das so erhaltene Interferogramm $I(\omega)$ wird numerisch nach der Kreisfrequenz ω abgeleitet, wonach für die so erhaltene Funktion $I'(\omega)$ die Nullstellen ω_i numerisch als Lösungen der Gleichung $I'(\omega) = 0$ berechnet werden und danach aus den Nullstellen ω_i die frequenzabhängige Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ entsprechend der Gleichung $\tau(\omega_n) = \pi / (\omega_{i+1} - \omega_i)$, mit $i = 1, 2, \dots$ und $\omega_n = (\omega_{i+1} + \omega_i) / 2$, berechnet wird.

Vorrichtung und Verfahren zur optischen Überprüfung einer Probe

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur optischen Überprüfung einer Probe mittels spektraler Interferometrie, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

Spektrale Interferometrie ist eine für die Optik- und Lasertechnik sehr bedeutende Messmethode. Sie wird u.a. zur Bestimmung der Oberflächenqualität von Optiken, in der Spektroskopie, für Dispersionsmessungen (V. N. Kumar and D. N. Rao, "Using interference in the frequency domain for precise determination of thickness and refractive indices of normal dispersive materials," J. Opt. Soc. Am. B 12, 1559-1563 <1995>), aber auch - im Zusammenhang mit einem nichtlinearen Effekt - zwecks Charakterisierung der Pulsdauer eingesetzt (C. Iaconis and I. A. Walmsley, "Spectral Phase Interferometry for Direct Electric-field Reconstruction of Ultrashort Optical Pulses," Optics Letters 23, 792-794 <1998>).

Zwei zeitlich relativ zueinander verzögerte Lichtstrahlen werden räumlich überlagert, und die Intensität der überlagerten Strahlen wird spektral aufgelöst gemessen. Das gemessene Spektrum weist eine Modulation (spektrales Interferenzmuster) auf; aus diesem spektralen Interferenzmuster können die Verzögerung zwischen den zwei Lichtsignalen und die Differenz zwischen den spektralen Phasen der zwei Lichtsignalen ermittelt werden. Diese Informationen werden aus dem spektralen Interferogramm mittels einer an sich bekannten, auf der Fast Fourier Transform (FFT; rasche Fouriertransformation) basierenden numerischen Methode ermittelt („Interferogram Analysis“, D. W. Robinson and G. T. Reid, Eds., Institute of Physics Publishing, Bristol <1993>, Seiten 141-193).

Für manche Anwendungen (z.B. Dispersionsmessungen) ist es jedoch notwendig, nicht nur die spektrale Phase, sondern auch die Gruppenverzögerungsdispersion (Group Delay Dispersion, GDD, die zweite Ableitung der Phase nach der Kreisfrequenz) zu bestimmen. Diese GDD kann offensichtlich mittels einer zweifachen numerischen Ableitung der gemessenen spektralen Phase bestimmt werden. Die numerische Ableitung ist jedoch bekanntlich ein instabiles numerisches Verfahren, und die Fehlerpropagationsanalyse zeigt, dass kleine Messfehler in der spektralen Phase zu unzulässig ho-

hen Fehlern in der GDD führen können (A. N. Tikhonov and V. Y. Arsenin, „Solutions of Ill-Posed Problems“, Wiley <1977>).

Es wäre daher vorteilhaft, die GDD oder zumindest die GD (die einfache Ableitung der spektralen Phase nach der Kreisfrequenz) direkt aus der Messung zu ermitteln, und es ist Aufgabe der Erfindung, dies auf einfache Weise zu ermöglichen.

Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung ein Verfahren wie eingangs angegeben vor, das dadurch gekennzeichnet ist, dass ein von einer Strahlungsquelle abgegebener Strahl auf die Probe sowie ein Referenzstrahl auf eine Referenzprobe gerichtet werden und die spektrale Interferenz der beiden Strahlen nach Reflexion an den Proben oder Passieren der Proben mittels eines Spektrographen aufgenommen wird, und dass das so erhaltene Interferogramm $I(\omega)$ numerisch nach der Kreisfrequenz ω abgeleitet wird, wonach für die so erhaltene Funktion $I'(\omega)$ die Nullstellen ω_i numerisch als Lösungen der Gleichung $I'(\omega) = 0$ berechnet werden und danach aus den Nullstellen ω_i die frequenzabhängige Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ entsprechend der Gleichung $\tau(\omega_n) = \pi / (\omega_{i+1} - \omega_i)$, mit $i = 1, 2, \dots$ und $\omega_n = (\omega_{i+1} + \omega_i) / 2$, berechnet wird.

Dabei ist es weiter einfach möglich, wenn die frequenzabhängige Gruppenverzögerungsdispersion GDD durch numerische Ableitung der Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ nach der Kreisfrequenz ω berechnet wird.

Auch ist es günstig, wenn durch numerische Integration der Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ über die Kreisfrequenz die spektrale Phase ermittelt wird. Dabei ist es ferner vorteilhaft, wenn durch Fouriertransformation eines vorgegebenen Spektrums unter Berücksichtigung der ermittelten spektralen Phase die zeitabhängige Phase ermittelt wird; oder wenn durch Fouriertransformation eines vorgegebenen Spektrums unter Berücksichtigung der ermittelten spektralen Phase die zeitabhängige Intensität eines Strahl-Impulses ermittelt wird.

Als Strahlungsquelle bzw. Lichtquelle wird beispielsweise eine Laser(puls)quelle oder eine Glühlampe oder auch eine Leuchtdiode eingesetzt.

Eine vorteilhafte Anwendung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass als Probe eine Dünnschicht-Beschichtung auf einem Substrat untersucht wird, wobei die spektrale Interferenz eines von einer Dünnschicht auf einem Substrat reflektierten Strahls mit einem von einem Referenzreflektor reflektierten Strahl aufgenommen wird.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des vorliegenden Verfahrens ist in entsprechender Weise gekennzeichnet durch eine Interferometereinrichtung mit einer Strahlungsquelle, mit einer Einrichtung, z.B. einem Strahlungsteiler, zur Erzeugung eines Referenzstrahls und eines Messstrahls, und mit einem Spektrographen, mit dem eine Recheneinheit verbunden ist, welche konfiguriert ist, um ein mit Hilfe des Spektrographen erhaltenes Interferogramm numerisch nach der Kreisfrequenz abzuleiten, wonach für die so erhaltene Funktion $I'(\omega)$ die Nullstellen ω_i numerisch als Lösungen der Gleichung $I'(\omega) = 0$ berechnet werden und danach aus den Nullstellen ω_i die frequenzabhängige Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ entsprechend der Gleichung $\tau(\omega_n) = \pi/(\omega_{i+1} - \omega_i)$, mit $i = 1, 2, \dots$ und $\omega_n = (\omega_{i+1} + \omega_i)/2$ (d.h. ω_n ist der Mittelwert von ω_{i+1} und ω_i) berechnet wird.

Dabei ist es von Vorteil, wenn die Recheneinheit überdies eingerichtet ist, um die frequenzabhängige Gruppenverzögerungsdispersion GDD durch numerische Ableitung der Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ nach der Kreisfrequenz ω zu berechnen.

Weiters ist es günstig, wenn die Recheneinheit eingerichtet ist, um durch numerische Integration der Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ über die Kreisfrequenz die spektrale Phase zu ermitteln.

Auch ist es vorteilhaft, wenn die Recheneinheit ferner ein Fouriertransformationsmodul aufweist, um durch Fouriertransformation eines vorgegebenen Spektrums unter Berücksichtigung der ermittelten spektralen Phase, die zeitabhängige Phase zu ermitteln; auch kann die Recheneinheit ein Fouriertransformationsmodul aufweisen, um durch Fouriertransformation eines vorgegebenen Spektrums unter Berücksichtigung der ermittelten spektralen Phase, die zeitabhängige Intensität eines Strahl-Impulses zu ermitteln.

Im Fall einer reflektiven Untersuchung einer Probe kann ein Referenzspiegel zur Reflexion des Referenzstrahls vorgesehen sein.

Die Erfindung basiert somit auf einer Technik einer direkten spektralen Auswertung (Direct Spectral Evaluation, DSE), die gegenüber der herkömmlichen, auf der FFT basierenden Methode (s. o. „Interferogram Analysis“, D. W. Robinson and G. T. Reid) auch folgende Vorteile hat:

(1) Die Verwendung der FFT ist nicht nötig und die Anzahl der mathematischen Operationen ist viel kleiner; somit ist die DSE-Methode viel schneller. Dadurch, dass die FFT nicht eingesetzt werden muss, ist es auch nicht notwendig, das gemessene Interferogramm zu interpolieren und zu extrapolieren, um die für die FFT notwendigen Bedingungen zu erfüllen. Dadurch ist die Anzahl der Werte, die verarbeitet werden muss, um ungefähr einen Faktor 4 kleiner. Weiters wird die zweifache FFT durch eine numerische Ableitung und eine Interpolation ersetzt. Dadurch ist die DSE-Methode um mindestens einen Faktor 100 schneller als die herkömmliche Methode. Dank dieser Rechengeschwindigkeit kann die Methode in Quasi-Echtzeit zur Charakterisierung der Dispersion in dynamischen Prozessen eingesetzt werden, z.B. zwecks Überwachung des Wachstums der Schichtdicken von dispersiven Spiegeln während des Beschichtungsprozesses.

(2) Das vorgeschlagene Verfahren erlaubt die direkte Auswertung der Gruppenverzögerung (Group Delay, GD, die erste Ableitung der spektralen Phase nach der Kreisfrequenz); somit muss die numerische Ableitung nur ein Mal angewendet werden, um die GDD zu erhalten. Dadurch wird die ungünstige Propagation der Messfehler durch die numerische Ableitung der Phase deutlich verringert.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert. Es zeigen:

Fig.1 ein Beispiel eines spektralen Interferogramms, nämlich der Intensität $I(\omega)$, in beliebigen Einheiten, über der Wellenlänge λ (in nm);

Fig. 2 die Ableitung $I'(\omega)$ dieses Interfrerenzsignals $I(\omega)$ nach

der Kreisfrequenz, also $I'(\omega) = dI/d\omega$, über der Kreisfrequenz ω (in rad/fs);

Fig. 3 in einem Diagramm die aus dem Interferenzsignal $I(\omega)$ von Fig. 1 berechnete Gruppenverzögerung τ (in fs) über der Kreisfrequenz ω ;

Fig. 4 in einem Diagramm die aus dem Interferenzsignal $I(\omega)$ berechnete Gesamt- Gruppenverzögerungsdispersion GDD_t (in fs²) über der Wellenlänge λ (in nm);

Fig. 5 in einem Diagramm die aus $I(\omega)$ berechnete Gruppenverzögerung GDD_s , die von einem Musterspiegel pro Reflexion herbeigeführt wird; und

Fig. 6 schematisch eine Vorrichtung mit einem Interferometer.

Fig. 1 zeigt ein typisches spektrales Interferogramm, d.h. Interferenzsignal $I(\omega)$, und zwar in beliebigen Einheiten („arb. u.“ – arbitrary units). Dieses spektrale Interferenzsignal $I(\omega)$ wird nach der Kreisfrequenz ω abgeleitet. Die dadurch entstehende Funktion $I'(\omega)$ ist in Fig. 2 anhand des Beispielspektrums aus Fig. 1 dargestellt. Die Nulldurchgänge ω_i der Funktion $I'(\omega)$ (d.h. ω_i = alle Lösungen der Gleichung $I'(\omega) = 0$ in dem für die Messung relevanten Frequenzbereich) werden mittels eines an sich bekannten numerischen Algorithmus (z.B. durch lineare oder nichtlineare Interpolation) ermittelt.

Aus den Kreisfrequenzwerten ω_i wird die Gruppenverzögerung τ als Funktion der Kreisfrequenz ω wie folgt berechnet: $\tau(\omega_n) = \pi / (\omega_{i+1} - \omega_i)$, mit $\omega_n = (\omega_{i+1} + \omega_i) / 2$.

Die auf diese Weise aus dem in Fig. 1 abgebildeten Interferogramm berechneten Gruppenverzögerungswerte τ sind in Fig. 3 dargestellt.

Falls für die Anwendung nötig, kann aus der Gruppenverzögerung τ mittels numerischer Ableitung die Gruppenverzögerungsdispersion GDD berechnet werden. Diese GDD ist für das in Fig. 1 abgebildete Interferogramm in Fig. 4 dargestellt.

Aufgrund des Aufbaus des Weisslichtinterferometers, das für die hier gezeigte Messung eingesetzt wurde, setzt sich die Gesamtdispersion GDD_t wie folgt zusammen: $GDD_t = 16 \cdot GDD_s + 2 \cdot GDD_{FS}$, wobei GDD_s die Dispersion ist, die bei der Reflexion auf einem Musterspiegel herbeigeführt wird, ist und GDD_{FS} die Dispersion einer Glasplatte aus Quarzglas (Fused Silica) mit einer Dicke von 6,35 mm ist. Somit kann die Dispersion des Musterspiegels GDD_s (die für eine Reflexion herbeigeführt wird) wie folgt berechnet werden: $GDD_s = (GDD_t - 2 \cdot GDD_{FS}) / 16$. Die dadurch erhaltene Dispersion GDD_s des zu charakterisierenden Musterspiegels ist in Fig. 5 dargestellt.

Fig. 6 zeigt eine mögliche Ausführung eines Michelson-Interferometers zur Erzeugung des Interferogramms $I(\omega)$. Sowohl diese Ausbildung als auch andere Ausführungen eines Michelson-Interferometers (z.B. mit mehrfachen Reflexionen auf dem Musterspiegel) als auch andere, an sich bekannte Arten von Interferometern (wie z.B. Mach-Zender-Interferometer) können eingesetzt werden, beispielsweise um – gemäß Fig. 6 – einen Spiegel 5 zu messen.

Im einzelnen zeigt Fig. 6 beispielhaft eine schematische Darstellung eines Michelson-Interferometers für spektrale Interferometrie, wobei ein mit einer Lichtquelle 1 erzeugter Strahl 2 mittels eines Strahlteilers 3 geteilt wird. Ein Referenzstrahl 2' wird mittels eines als Rückreflektor eingesetzten Referenzspiegels 4 (dessen Dispersionseigenschaften gut bekannt sind) reflektiert. Ein Messstrahl 2'' wird von dem zu messenden Spiegel 5 reflektiert. Der Spiegel 5 kann auch als mehrfacher Faltspiegel eingebaut werden, um die dadurch herbeigeführte GDD und somit die Messgenauigkeit zu erhöhen. Der Referenzstrahl 2' und der Messstrahl 2'' werden mittels des Strahlteilers 3 wieder in räumliche Überlagerung gebracht, s. Strahl 22. Von diesem Strahl 22 wird das spektrale Interferogramm mittels eines Spektrographen 6 aufgenommen.

Aus dem so erhaltenen Interferenzsignal $I(\omega)$ kann die Differenz zwischen der Gruppenverzögerung des Referenzstrahles 2' und der

Gruppenverzögerung des Messstrahles 2'' wie oben erläutert berechnet werden. Hierzu ist eine entsprechend konfigurierte Recheneinheit 7 an den Spektrographen 6 angeschlossen; die Ergebnisse, z. B. GD, GDD usw., werden mittels einer Ausgabeeinheit 8 ausgegeben, z.B. angezeigt und/oder ausgedruckt.

Dank der hohen Mess- und Auswertungsgeschwindigkeit kann die beschriebene Technik z.B. zur Überprüfung eines Beschichtungsvorgangs bei einer Dünnschichtbeschichtung eines Substrats, etwa bei der Herstellung eines dispersiven Spiegels, in Echtzeit während des Beschichtungsvorgangs verwendet werden.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur optischen Überprüfung einer Probe mittels spektraler Interferometrie, dadurch gekennzeichnet, dass ein von einer Strahlungsquelle (1) abgegebener Strahl (2'') auf die Probe (5) sowie ein Referenzstrahl (2') auf eine Referenzprobe (4) gerichtet werden und die spektrale Interferenz der beiden Strahlen nach Reflexion an den Proben oder Passieren der Proben mittels eines Spektrographen (6) aufgenommen wird, und dass das so erhaltene Interferogramm $I(\omega)$ numerisch nach der Kreisfrequenz ω abgeleitet wird, wonach für die so erhaltene Funktion $I'(\omega)$ die Nullstellen ω_i numerisch als Lösungen der Gleichung $I'(\omega) = 0$ berechnet werden und danach aus den Nullstellen ω_i die frequenzabhängige Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ entsprechend der Gleichung $\tau(\omega_n) = \pi/(\omega_{i+1} - \omega_i)$, mit $i = 1, 2, \dots$ und $\omega_n = (\omega_{i+1} + \omega_i)/2$, berechnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weiter die frequenzabhängige Gruppenverzögerungsdispersion (GDD) durch numerische Ableitung der Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ nach der Kreisfrequenz ω berechnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch numerische Integration der Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ über die Kreisfrequenz die spektrale Phase ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass durch Fouriertransformation eines vorgegebenen Spektrums unter Berücksichtigung der ermittelten spektralen Phase die zeitabhängige Phase ermittelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass durch Fouriertransformation eines vorgegebenen Spektrums unter Berücksichtigung der ermittelten spektralen Phase die zeitabhängige Intensität eines Strahl-Impulses ermittelt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlungsquelle (1) eine Laserpulsquelle oder eine Glühlampe oder auch eine Leuchtdiode verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekenn-

zeichnet, dass als Probe (5) eine Dünnschicht-Beschichtung auf einem Substrat untersucht wird, wobei die spektrale Interferenz eines von einer Dünnschicht auf einem Substrat reflektierten Strahls (2'') mit einem von einem Referenzreflektor (4) reflektierten Strahl (2') aufgenommen wird.

8. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch eine Interferometereinrichtung mit einer Strahlungsquelle (1), mit einer Einrichtung (3) zur Erzeugung eines Referenzstrahls (2') und eines Messstrahls (2''), und mit einem Spektrographen (6), mit dem eine Recheneinheit (7) verbunden ist, welche konfiguriert ist, um ein mit Hilfe des Spektrographen (6) erhaltenes Interferogramm $I(\omega)$ numerisch nach der Kreisfrequenz ω abzuleiten, wonach für die so erhaltene Funktion $I'(\omega)$ die Nullstellen ω_i numerisch als Lösungen der Gleichung $I'(\omega) = 0$ berechnet werden und danach aus den Nullstellen ω_i die frequenzabhängige Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ entsprechend der Gleichung $\tau(\omega_n) = \pi/(\omega_{i+1} - \omega_i)$, mit $i = 1, 2, \dots$ und $\omega_n = (\omega_{i+1} + \omega_i)/2$, berechnet wird.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Recheneinheit (7) überdies eingerichtet ist, um die frequenzabhängige Gruppenverzögerungsdispersion GDD durch numerische Ableitung der Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ nach der Kreisfrequenz ω zu berechnen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Recheneinheit (7) eingerichtet ist, um durch numerische Integration der Gruppenverzögerung $\tau(\omega)$ über die Kreisfrequenz die spektrale Phase zu ermitteln.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Recheneinheit (7) ferner ein Fouriertransformationsmodul aufweist, um durch Fouriertransformation eines vorgegebenen Spektrums unter Berücksichtigung der ermittelten spektralen Phase die zeitabhängige Phase zu ermitteln.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Recheneinheit (7) ein Fouriertransformationsmodul aufweist, um durch Fouriertransformation eines vorgegebenen Spektrums un-

ter Berücksichtigung der ermittelten spektralen Phase die zeitabhängige Intensität eines Strahl-Impulses zu ermitteln.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlungsquelle (1) eine Laserpulsquelle oder eine Glühbirne oder auch eine Leuchtdiode vorgesehen ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, gekennzeichnet durch einen Referenzspiegel (4) zur Reflexion des Referenzstrahls (2').

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Erzeugung eines Referenzstrahls (2') und eines Messstrahls (2'') durch einen Strahlungsteiler gebildet ist.

1/3

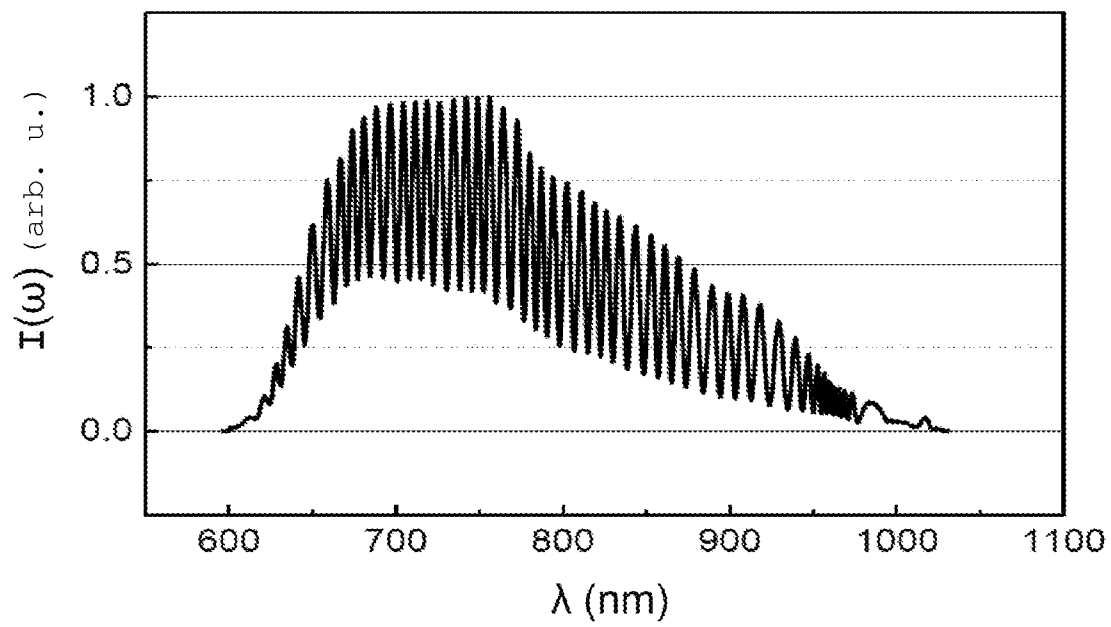


Fig. 1

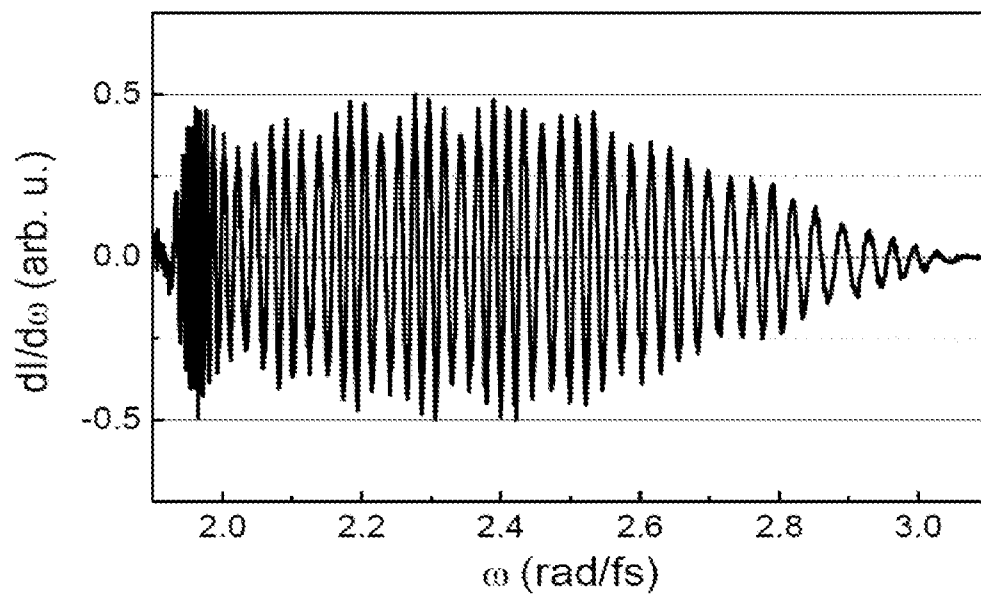


Fig. 2

2/3

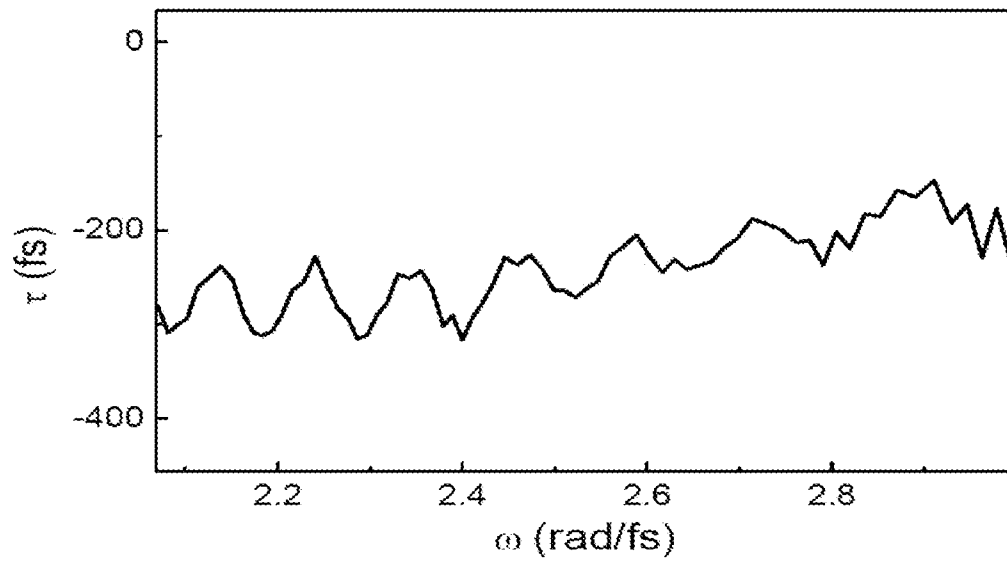


Fig. 3

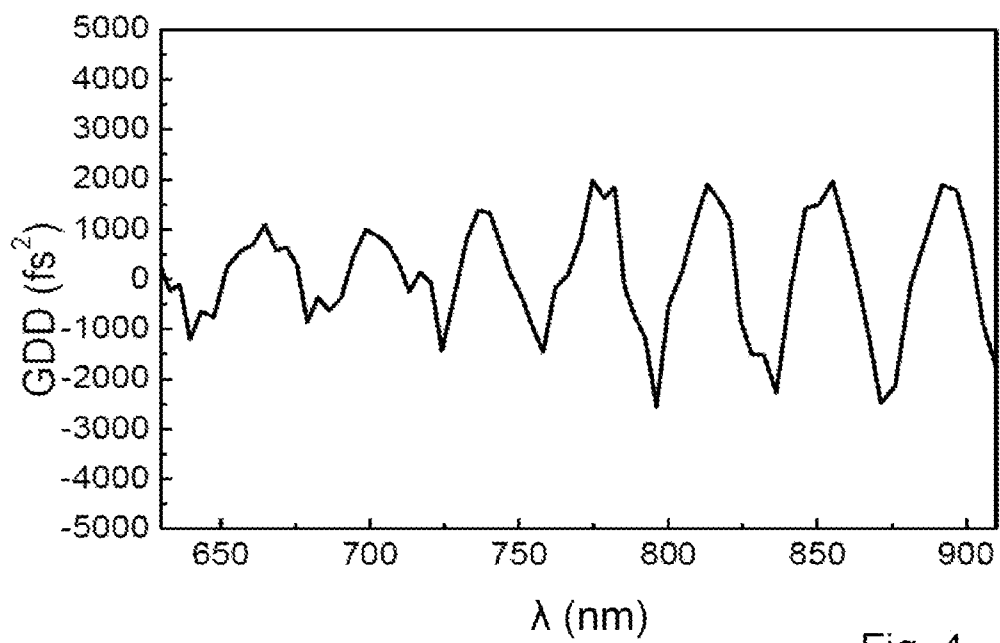


Fig. 4

3/3

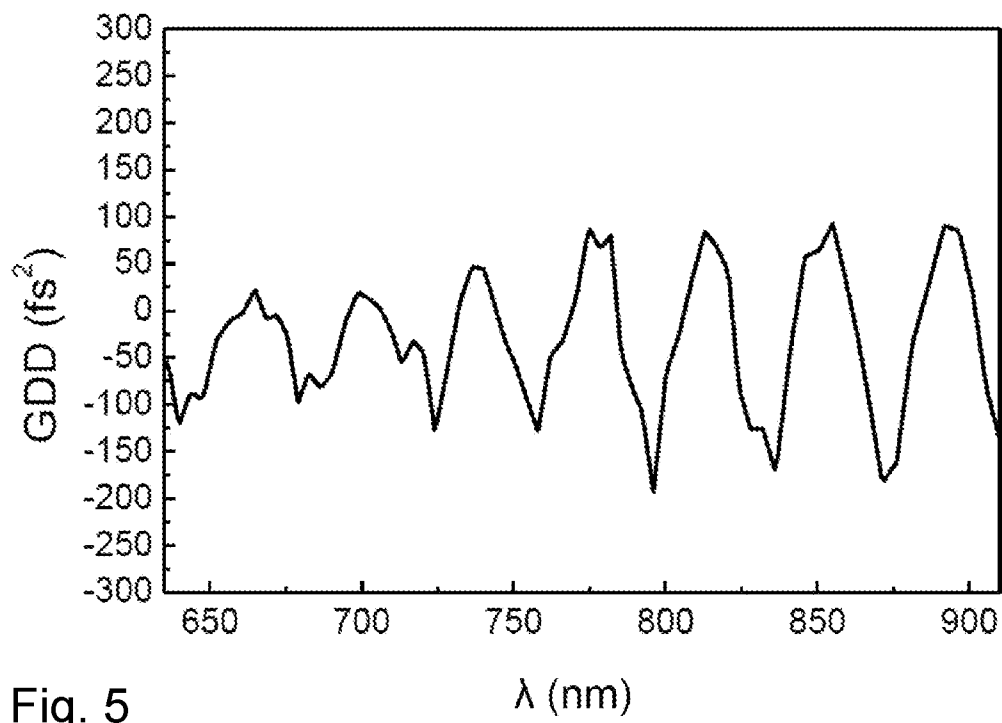


Fig. 5

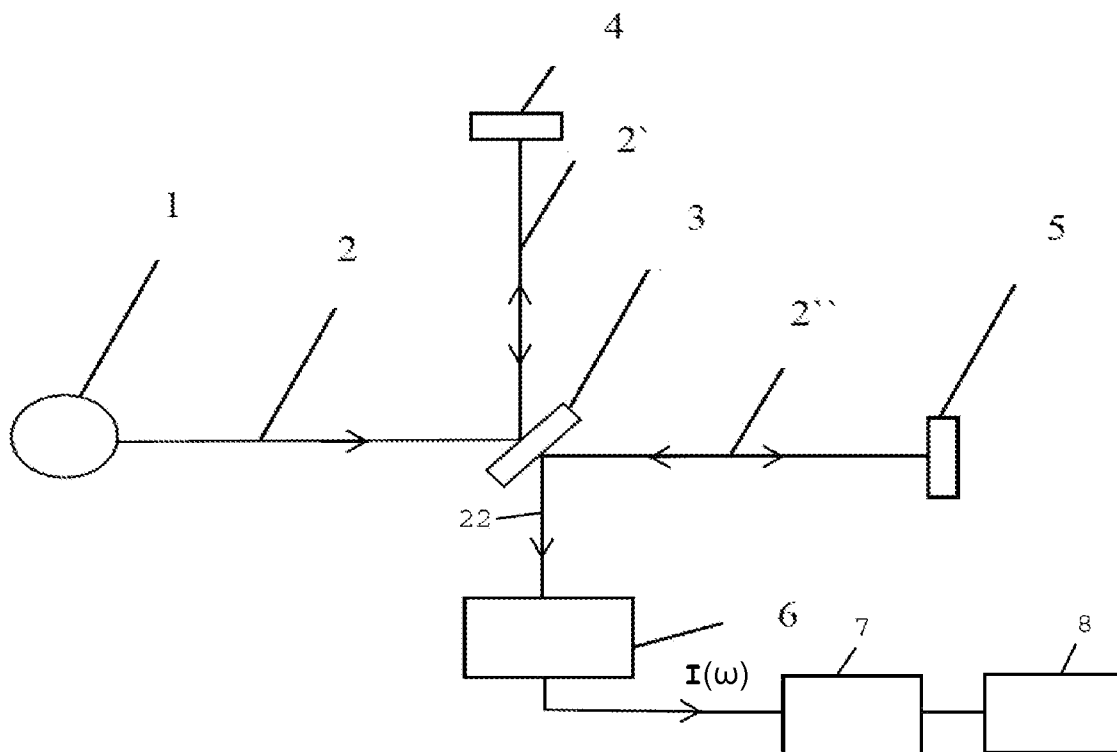


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/AT2013/050009

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01N21/41 G01N21/45 G01M11/00 G01J3/453 G02B1/11 G02B5/08 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) G01N G02B G01M G01J 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, INSPEC											
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Category*</th> <th style="width: 70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width: 20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">Y</td> <td style="vertical-align: top;"> Hlubina P et al: "Spectral interferometry and reflectometry used for characterization of a multilayer mirror", OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, vol. 34, no. 10, 15 May 2009 (2009-05-15), pages 1564-1566, XP001523933, ISSN: 0146-9592 page 1566, column 1, line 4 - column 2, line 2; figure 4 ----- </td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1-15</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">Y</td> <td style="vertical-align: top;"> US 6 486 961 B1 (SZFRANIEC BOGDAN [US] ET AL) 26 November 2002 (2002-11-26) column 4, line 53 - column 12, last line figures 1-6 figures 14-20 ----- -/- </td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1-15</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	Y	Hlubina P et al: "Spectral interferometry and reflectometry used for characterization of a multilayer mirror", OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, vol. 34, no. 10, 15 May 2009 (2009-05-15), pages 1564-1566, XP001523933, ISSN: 0146-9592 page 1566, column 1, line 4 - column 2, line 2; figure 4 -----	1-15	Y	US 6 486 961 B1 (SZFRANIEC BOGDAN [US] ET AL) 26 November 2002 (2002-11-26) column 4, line 53 - column 12, last line figures 1-6 figures 14-20 ----- -/-	1-15
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.									
Y	Hlubina P et al: "Spectral interferometry and reflectometry used for characterization of a multilayer mirror", OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, vol. 34, no. 10, 15 May 2009 (2009-05-15), pages 1564-1566, XP001523933, ISSN: 0146-9592 page 1566, column 1, line 4 - column 2, line 2; figure 4 -----	1-15									
Y	US 6 486 961 B1 (SZFRANIEC BOGDAN [US] ET AL) 26 November 2002 (2002-11-26) column 4, line 53 - column 12, last line figures 1-6 figures 14-20 ----- -/-	1-15									
☒ 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 25 March 2013		Date of mailing of the international search report 02/04/2013									
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 Consalvo, Daniela									

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/AT2013/050009

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	THORPE M ET AL: "Precise measurements of optical cavity dispersion and mirror coating properties via femtosecond combs", OPTICS EXPRESS, OSA (OPTICAL SOCIETY OF AMERICA), WASHINGTON DC, (US), vol. 13, no. 3, 7 February 2005 (2005-02-07), pages 1-7, XP007915237, ISSN: 1094-4087 abstract -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/AT2013/050009

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 6486961	B1	26-11-2002	DE 60123928 T2	06-06-2007
			EP 1256791 A2	13-11-2002
			JP 2003028753 A	29-01-2003
			US 2002176089 A1	28-11-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2013/050009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01N21/41 G01N21/45 G01M11/00 G01J3/453 G02B1/11 G02B5/08 ADD. Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01N G02B G01M G01J 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, INSPEC		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	HLUBINA P ET AL: "Spectral interferometry and reflectometry used for characterization of a multilayer mirror", OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, Bd. 34, Nr. 10, 15. Mai 2009 (2009-05-15), Seiten 1564-1566, XP001523933, ISSN: 0146-9592 Seite 1566, Spalte 1, Zeile 4 - Spalte 2, Zeile 2; Abbildung 4 -----	1-15
Y	US 6 486 961 B1 (SZFRANIEC BOGDAN [US] ET AL) 26. November 2002 (2002-11-26) Spalte 4, Zeile 53 - Spalte 12, letzte Zeile Abbildungen 1-6 Abbildungen 14-20 ----- -/-	1-15
☒ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
25. März 2013		02/04/2013
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 Consalvo, Daniela

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	THORPE M ET AL: "Precise measurements of optical cavity dispersion and mirror coating properties via femtosecond combs", OPTICS EXPRESS, OSA (OPTICAL SOCIETY OF AMERICA), WASHINGTON DC, (US), Bd. 13, Nr. 3, 7. Februar 2005 (2005-02-07), Seiten 1-7, XP007915237, ISSN: 1094-4087 Zusammenfassung -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2013/050009

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6486961	B1	26-11-2002	DE 60123928 T2 06-06-2007
			EP 1256791 A2 13-11-2002
			JP 2003028753 A 29-01-2003
			US 2002176089 A1 28-11-2002
