



REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer: **AT 408 589 B**

(12)

# PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1159/99  
(22) Anmeldetag: 07.07.1999  
(42) Beginn der Patentedauer: 15.05.2001  
(45) Ausgabetag: 25.01.2002

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **H01S 3/098**

(56) Entgegenhaltungen:  
WO 98/10494A A.  
STINGL ET AL.: GENERATION OF 11-FS PULSES  
FROM A TI:SAPPHIRE LASER WITHOUT THE  
USE OF PRISMS; OPTICS LETTERS VOL. 19,  
NR. 3, 1. FEBRUAR 1994, S. 204-206  
US 5029179A US 5040182A JP 7-142799A  
JP 61-036985A  
L TURI, T. JUHASZ: DIODE-PUMPED ND:YLF ALL-  
IN-ONE LASER; OPTICS LETTERS VOL. 20,  
NR. 14, 15. JULI 1995, S. 1541-1543

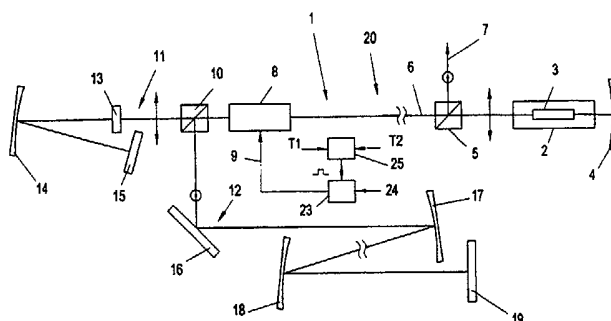
(73) Patentinhaber:  
FEMTOLASERS PRODUKTIONS GMBH  
A-2100 KORNEUBURG, NIEDERÖSTERREICH  
(AT).

## (54) LASERVORRICHTUNG

**AT 408 589 B**

(57) Laservorrichtung (1) mit einer Pumpeinheit (2), die einen gepumpten Laserkristall (3) enthält, und mit einem sättigbaren Absorber (15) zur passiven Modenverkopplung, wobei zwei gesonderte, alternativ schaltbare Resonatorarme (11, 12) vorgesehen sind, von denen der eine Resonatorarm (11), der in einer Pulsformphase (21) aktiv ist, den sättigbaren Absorber (15) enthält, wogegen der andere Resonatorarm (12), der in einer Verstärkungsphase (22) aktiv ist, frei von Verluste einführenden Komponenten ist.

FIG. 1



Die Erfindung betrifft eine Laservorrichtung mit einer Pumpeinheit, die einen gepumpten Laserkristall enthält, und mit einem sättigbaren Absorber zur passiven Modenverkopplung.

Derartige Laservorrichtungen werden insbesondere als Kurzpuls-Laservorrichtungen vorgesehen, wobei im modenverkoppelten Zustand kurze Laserpulse mit hoher Energie erzeugt werden. Diese Kurzpuls-Laservorrichtungen werden mit Vorteil für Präzisions-Materialbearbeitungen oder aber für wissenschaftliche Arbeiten eingesetzt. Hinsichtlich der Erzeugung von kurzen Laserimpulsen kann beispielsweise auf die allgemeinen Ausführungen in der WO 98/10494 A sowie in A. Stingl et al.: Generation of 11-fs pulses from a Ti:sapphire laser without the use of prisms; Optics Letters Vol. 19, Nr. 3, 1. Februar 1994, S. 204-206 verwiesen werden.

Die Standardtechnik zur Erzeugung von kurzen Laserimpulsen mit hoher Energie beruht auf der Technik eines Laseroszillators und eines Laserverstärkers. Der Laseroszillator erzeugt eine Folge von kurzen Laserimpulsen mit niedriger Energie, beispielsweise mit einer Wiederholungsfrequenz im Bereich von einigen zehn MHz. Aus diesen Oszillatorimpulsen werden Impulse mit einer niedrigeren Wiederholungsfrequenz selektiert und in einem regenerativen oder sog. Multipass-Verstärker zu Impulsen mit hoher Energie verstärkt.

Bevorzugt wird ein "all-in-one"-Konzept angewandt, bei dem nur ein Laser vorgesehen ist, welcher sowohl als Oszillator als auch als regenerativer Verstärker eingesetzt wird, indem einfach die Pulsformung (bei niedrigen Energien) einerseits und die Verstärkung (auf hohe Energien) andererseits zu verschiedenen Zeiten vorgenommen werden. Bekannte Laservorrichtungen dieser Art (vgl. z.B. L. Turi, T. Juhasz: Diode-pumped Nd:YLF all-in-one laser; Optics Letters Vol. 20, Nr. 14, 15. Juli 1995, S. 1541-1543), mit einem Laser sowohl für die Oszillatorfunktion als auch für die Verstärkerfunktion, setzen aktive Modenverkopplung mit einem akusto-optischen Modulator ein. Da die aktive Modenverkopplung nicht sehr effizient ist, ist die erreichbare Mindestimpulsdauer relativ groß, und überdies ist für einen zuverlässigen Langzeitbetrieb eine aufwendige Elektronik zur Zeitsteuerung bzw. Stabilisierung erforderlich.

Andererseits ist es an sich, wie sich aus dem vorstehend genannten Dokument WO 98/10494 A ergibt, bei Laservorrichtungen allgemein bekannt, eine passive Modenverkopplung, insbesondere auch mit einem sättigbaren Absorber, auszubilden.

Es ist nun Aufgabe der Erfindung, eine Laservorrichtung der eingangs angeführten Art vorzusehen, die bei Verwendung eines sättigbaren Absorbers als Element zur passiven Modenverkopplung eine all-in-one-Bauweise des Lasers ermöglicht, wobei dann der Vorteil ausgenutzt wird, dass eine passive Modenverkopplung eine viel stärkere Amplitudenmodulation bewirkt als eine aktive Modenverkopplung und stabile Kurzpulse im Piko- oder Femtosekundenbereich, also mit Impulsdauern nahe dem möglichen unteren Grenzwert, der durch die endliche Verstärkungsbandbreite des verwendeten Lasermaterials gegeben ist, erzeugt werden können. Dabei ist auch das Problem zu lösen, dass sättigbare Absorber andererseits eine obere Grenze bei der Erhöhung der Energie, zufolge ihres niedrigen Zerstörungs-Schwellenwerts, ergeben und überdies bei einer übermäßigen Sättigung des Absorbers auch Instabilitäten bewirkt werden. Die Erfindung basiert nun auf dem Gedanken, den Resonator auf zwei zu verschiedenen Zeiten wirksame, unterschiedliche Unterresonatoren aufzuteilen, wobei die Unterresonatoren die verschiedenen Aufgaben, nämlich einerseits die Impulsformung unter Verwendung des sättigbaren Absorbers, mit hohen Resonatorverlusten entsprechend den niedrigen Leistungspegeln, und andererseits die Verstärkung auf hohe Impulsenergien vorsehen.

Die erfindungsgemäße Laservorrichtung der eingangs angeführten Art ist demgemäß dadurch gekennzeichnet, dass zwei gesonderte, alternativ schaltbare Resonatorarme vorgesehen sind, von denen der eine, der in einer Pulsformphase aktiv ist, den sättigbaren Absorber enthält, wogegen der andere Resonatorarm, der in einer Verstärkungsphase aktiv ist, frei von Verluste einführenden Komponenten ist. Bei der vorliegenden Laservorrichtung werden somit zu verschiedenen Zeiten unterschiedliche Resonatorteile eingesetzt, wobei in der einen Phase, wenn die kurzen Laserimpulse mit niedriger Energie erzeugt werden, der eine Resonatorarm mit dem sättigbaren Absorber in Funktion ist, wobei hohe Resonatorverluste entsprechend den niedrigen Leistungswerten gegeben sind; nach der Impulsformung wird der Resonator umgeschaltet, so dass der andere Resonatorarm in Funktion tritt, wobei der sättigbare Absorber nicht mehr im Resonator vorliegt, und es wird eine Verstärkung auf hohe Impulsenergien im Hinblick auf die hohe Resonatorgüte des nunmehrigen Resonators ermöglicht.

Zweckmäßigerweise wird zur Umschaltung die Polarisierung des Laserstrahls ausgenutzt, und demgemäß kann für eine einfache Ausbildung der Laservorrichtung vorgesehen sein, dass zur Umschaltung zwischen den beiden Resonatorarmen zumindest ein polarisationsempfindlicher Strahlteiler sowie ein Polarisationsdreher vorgesehen sind. Dabei dient als Polarisationsdreher vorzugsweise eine Pockelszelle; eine derartige Pockelszelle kann elektrisch angesteuert werden, um einen hindurchgehenden Laserstrahl in seiner Polarisationsrichtung - um  $90^\circ$  - zu verdrehen. Zusammen mit einem entsprechenden polarisationsempfindlichen Strahlteiler kann daher der Laserstrahl nach dieser Umschaltung in den anderen Resonatorarm geleitet werden.

Von besonderem Vorteil ist es auch, wenn im Pfad des Laserstrahls auf beiden Seiten des Polarisationsdrehers je ein polarisationsempfindlicher Strahlteiler angeordnet ist. Dabei kann der auf der vom sättigbaren Absorber abgewandten Seite des Polarisationsdrehers vorgesehene polarisationsempfindliche Strahlteiler ein Laserstrahl-Auskoppelement bilden, um die verstärkten Laserimpulse auszukoppeln.

Der sättigbare Absorber kann vorteilhafterweise ein an sich bekannter sättigbarer Halbleiterabsorber sein.

Ferner ist es für eine kompakte, effiziente Resonatorausbildung auch günstig, wenn der sättigbare Absorber ein den einen Resonatorarm abschließender Absorber-Spiegel, insbesondere auf Halbleiterbasis, ist.

Um während der Pulsformphase im Laserstrahl die gewünschten Verluste einzuführen, ist es auch zweckmäßig, im einen, in der Pulsformphase aktiven Resonatorarm ein lineares Verlustelement, z.B. ein  $\lambda/4$ -Plättchen, anzuordnen, das eine hohe Energieakkumulation im Laserkristall vorsieht.

Für die Ausbildung der Laservorrichtung als all-in-one-Lasersystem ist es schließlich auch günstig, wenn die Pumpeinheit eine Dauerstrich-Dioden-Pumpeinheit ist und zusammen mit dem Polarisationsdreher einen Resonatorteil bildet, der beiden Resonatorarmen gemeinsam ist. Weiters ist es vorteilhaft, wenn die Pumpeinheit lampen- bzw. lasergepumpt ist und zusammen mit dem Polarisationsdreher einen beiden Resonatorarmen gemeinsamen Resonatorteil bildet.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung veranschaulichten bevorzugten Ausführungsbeispiels, auf das sie jedoch nicht beschränkt sein soll, noch weiter erläutert. Es zeigen: Fig.1 schematisch eine Kurzpuls-Laservorrichtung nach der all-in-one-Bauweise; und Fig.2 ein zugehöriges Diagramm.

In der Zeichnung ist in Fig.1 eine allgemein mit 1 bezeichnete all-in-one-Kurzpuls-Laservorrichtung dargestellt, die eine Pumpeinheit 2 enthält, die einen nur schematisch angedeuteten diodengepumpten Laserkristall 3 enthält. Auf der einen Seite dieser Pumpeinheit 2 ist ein Resonator-Endspiegel 4 vorgesehen.

Auf der anderen Seite der Pumpeinheit 2 ist ein polarisationsempfindlicher Strahlteiler 5 vorgesehen, der zugleich ein Auskoppelement für den verstärkten Laserstrahl 6 bildet, wie mit einem Pfeil 7 schematisch angedeutet ist. Der Laserstrahl 6 gelangt während seines Umlaufs im gezeigten Resonator zu einem Polarisationsdreher in Form einer Pockelszelle 8, die bei 9 in an sich bekannter und daher nachstehend nur kurz näher erläuteter Weise elektrisch angesteuert werden kann, um die Polarisation des Laserstrahls 6 um  $90^\circ$  zu verdrehen.

Im Weg des Laserstrahls 6 folgt sodann ein weiterer polarisationsempfindlicher Strahlteiler 10, welcher je nach Polarisation des Laserstrahls 6 den Laserstrahl 6 durchlässt (und zwar in einen Laser-Resonatorarm 11) oder aber reflektiert (und zwar in einen anderen Laser-Resonatorarm 12). In Fig.1 ist schematisch die Polarisation des Laserstrahls 6 in dem einen Resonatorarm 11 mit einem Doppelpfeil und in dem anderen Resonatorarm 12 durch einen Punkt im Kreis angedeutet, wobei der Doppelpfeil anzeigt, dass die Polarisationsrichtung in der Zeichenebene liegt, wogegen der Punkt im Kreis, für den anderen Resonatorarm 12, angibt, dass die Polarisationsrichtung des Laserstrahls 6 senkrecht zur Zeichenebene verläuft.

In dem einen Resonatorarm 11 folgt im Weg des Laserstrahls 6 so dann ein  $\lambda/4$ -Plättchen 13, das die erforderlichen Verluste im Laserstrahl 6 einführt, wonach der Laserstrahl 6 von einem Spiegel 14 zu einem sättigbaren Halbleiter-Absorber-Spiegel 15 reflektiert wird, der für die passive Modenverkopplung verantwortlich ist. Derartige sättigbare Halbleiter-Absorber-Spiegel sind an sich bekannt, so dass sich eine weitere Erläuterung erübrigen kann.

In dem anderen Resonatorarm 12 wird der Laserstrahl 6 zur Erzielung der erforderlichen Weg-

länge über vier Spiegel 16 bis 19 geführt, wobei die Spiegel 17 und 18 sphärische Fokussierspiegel sind, wogegen die Spiegel 16 und 19 hochreflektierende ebene Spiegel sind.

Wie ersichtlich bilden somit die Elemente 4, 2, 3, 5, 8 einen gemeinsamen Resonatorteil 20, der je nach Polarisationsrichtung des Laserstrahls 6 am Strahlteiler 10 dann entweder durch den  
 5 einen Resonatorarm 11 oder aber durch den anderen Resonatorarm 12 ergänzt wird, um den gesamten Laser-Resonator zu bilden. Der eine Laser-Resonator, mit der Länge  $L_1$ , ist somit durch die Elemente 4, 2, 3, 5, 8, 10, 13, 14 und 15 gebildet, und er ist für die Pulsaufbauphase (Pulsformphase) 21 (s. Fig.2) verantwortlich; der andere Resonator, mit der Länge  $L_2$ , ist dagegen durch die Elemente 4, 2, 3, 5, 8, 10, 16, 17, 18 und 19 gebildet und für die Verstärkung (Verstärkungsphase 22 in Fig.2) zuständig.

In der Pulsformphase 21, in der keine Spannung an die Pockelszelle 8 angelegt wird, ist wie erwähnt der eine Resonatorarm 11 wirksam. Die beiden Strahlteiler 5 und 10 lassen den Laserstrahl 6 durch, da dieser zu dieser Zeit linear in der Zeichenebene polarisiert ist, vgl. die Doppelpfeile benachbart den beiden Strahlteilern 5 und 10. Das  $\lambda/4$ -Plättchen 13 wird eingestellt, um hohe  
 15 Verluste in das System einzuführen und so den Leistungspegel im Resonator 20-11 niedrig zu halten und eine hohe Inversion im Laserkristall 3 zu bewirken. Da sich in dem einen Resonatorarm 11 der sättigbare Absorberspiegel 15 befindet, entwickeln sich die gewünschten kurzen Laserimpulse. Dies ist in Fig.2 in der oberen Diagrammzeile gezeigt, in der die Impulsintensität  $I(3/4)$ , gemessen an einer Stelle zwischen der Pumpeinheit 2 mit dem Laserkristall 3 und dem Endspiegel 4, aufgetragen ist; wie ersichtlich werden die Impulse, deren Abstand  $t_1 = 2L_1/c_0$  (mit  $c_0$  = Laserstrahlgeschwindigkeit) beträgt, zunehmend kürzer.

Um dann auf die Verstärkungsphase 22 umzuschalten, wird von einer an sich üblichen Steuerungselektronik eine durch die jeweilige Pockelszelle 8 vorgegebene  $\lambda/2$ -Spannung  $U_{\lambda/2}$  (vgl. auch die 2, Zeile in Fig.2, die den Verlauf der Spannung  $U_{PC}$  an der Pockelszelle 8 abhängig von der Zeit  $t$  zeigt) bei 9 an die Pockelszelle 8 angelegt. Diese Ansteuerung muss zu einem Zeitpunkt T1 erfolgen, zu dem sich der Laserimpuls, der im Resonator umläuft, gerade gemäß der Darstellung in Fig.1 auf der rechten Seite der Pockelszelle 8 befindet, also im Bereich des Strahlteilers 5 bzw. der Pumpeinheit 2 bzw. des Endspiegels 4. In der Regel enthält eine Pockelszelle bereits eine Treiberschaltung, in der derartige Zeiten eingestellt werden können. In Fig.1 ist daher nur schematisch ein  
 30 schneller Hochspannungsschalter 23 gezeigt, dem bei 24 eine Hochspannung ( $U_{\lambda/2}$  in Fig. 2) zugeführt wird, und dem eine Schaltung 25 zur Erzeugung eines elektrischen Impulses zum Schalten des Hochspannungsschalters 23 bzw. der Pockelszelle 8 zu den Zeitpunkten T1 bzw. T2 zugeordnet ist.

Wenn dann der Laserimpuls zur Pockelszelle 8 gelangt, wird aufgrund von deren Ansteuerung zum Zeitpunkt T1 (s. auch Fig.2) die Polarisation um  $90^\circ$  verdreht, so dass sie senkrecht zur Zeichenebene verläuft. Der Laserimpuls wird daher vom Strahlteiler 10 nicht mehr zu dem einen, für die Pulsformphase 21 vorgesehenen Resonatorarm 11 durchgelassen, sondern zum anderen Resonatorarm 12 reflektiert, wobei er das System mit den Spiegeln 16 bis 19 durchläuft und schließlich vom Strahlteiler 10 wieder zurück zur Pockelszelle 8 reflektiert - und dort neuerlich um  
 40  $90^\circ$  in der Polarisation verdreht - wird. Da in diesem anderen Resonatorarm 12 keine Elemente, die Verluste einführen, enthalten sind, wird die Energie des Laserimpulses mit jedem Umlauf rasch erhöht, vgl. auch Fig.2, erste Diagrammzeile, Verlauf der Impulsintensität  $I(3/4)$ .

Wenn die Impulsenergie ihren Sättigungswert erreicht, wird die Pockelszelle 8 abgeschaltet. Dieses Abschalten erfolgt zu einem Zeitpunkt T2, zu dem sich der Laserimpuls auf der linken Seite der Pockelszelle 8, also im anderen, für die Verstärkungsphase 22 vorgesehenen Resonatorarm 12, befindet. Wenn nun der Laserstrahl 6 die Pockelszelle 8 von links kommend durchläuft, wird die Polarisation nicht mehr um  $90^\circ$  verdreht (nämlich wieder in die Zeichenebene), da die Spannung  $U_{\lambda/2}$  nun bereits von der Pockelszelle 8 abgeschaltet wurde (d.h. die Spannung  $U_{PC}$  an der Pockelszelle 8 beträgt wieder 0 V); der Laserimpuls wird, da die Polarisation jetzt senkrecht zur Zeichenebene geblieben ist, durch Reflexion am Strahlteiler 5 ausgekoppelt, vgl. den Pfeil 7, anstatt zur Pumpeinheit 2 durchgelassen zu werden. Dieser verstärkte Ausgangsimpuls ist in der dritten Diagrammzeile von Fig.2, für die Intensität  $I(7)$  des Impulses beim Auskoppeln, s. Pfeil 7 in Fig.1, veranschaulicht.

Beim beschriebenen System bleibt die Polarisation innerhalb des Laserkristalls 3 immer dieselbe (nämlich gemäß Darstellung in Fig.1 in der Zeichenebene), so dass jedes beliebige Laser-

medium verwendet werden kann, ohne dass auf eine polarisationsabhängige Verstärkung Rücksicht zu nehmen wäre.

5

# PATENTANSPRÜCHE:

1. Laservorrichtung (1) mit einer Pumpeinheit (2), die einen gepumpten Laserkristall (3) enthält, und mit einem sättigbaren Absorber (15) zur passiven Modenverkopplung, dadurch gekennzeichnet, dass zwei gesonderte, alternativ schaltbare Resonatorarme (11, 12) vorgesehen sind, von denen der eine Resonatorarm (11), der in einer Pulsformphase (21) aktiv ist, den sättigbaren Absorber (15) enthält, wogegen der andere Resonatorarm (12), der in einer Verstärkungsphase (22) aktiv ist, frei von Verluste einführenden Komponenten ist.
2. Laservorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Umschaltung zwischen den beiden Resonatorarmen (11, 12) zumindest ein polarisationsempfindlicher Strahlteiler (10) sowie ein Polarisationsdreher (8) vorgesehen sind.
3. Laservorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Polarisationsdreher (8) durch eine Pockelszelle gebildet ist.
4. Laservorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass im Pfad des Laserstrahls (6) auf beiden Seiten des Polarisationsdrehers (8) je ein polarisationsempfindlicher Strahlteiler (10, 5) angeordnet ist.
5. Laservorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der polarisationsempfindliche Strahlteiler (5) auf der vom sättigbaren Absorber (15) abgewandten Seite des Polarisationsdrehers (8) zugleich ein Laserstrahl-Auskoppelement bildet.
6. Laservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der sättigbare Absorber (15) ein an sich bekannter sättigbarer Halbleiterabsorber ist.
7. Laservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der sättigbare Absorber (15) ein den einen Resonatorarm abschließender Absorber-Spiegel ist.
8. Laservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass im einen, in der Pulsformphase (21) aktiven Resonatorarm (11) ein lineares Verlustelement, z.B. ein  $\lambda/4$ -Plättchen, (13) angeordnet ist, das eine hohe Energieakkumulation im Laserkristall (3) vorsieht.
9. Laservorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpeinheit (2) eine Dauerstrich-Dioden-Pumpeinheit ist und zusammen mit dem Polarisationsdreher (8) einen beiden Resonatorarmen (11, 12) gemeinsamen Resonatorteil (20) bildet.
10. Laservorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpeinheit (2) lampen- bzw. lasergepumpt ist und zusammen mit dem Polarisationsdreher (8) einen beiden Resonatorarmen (11, 12) gemeinsamen Resonatorteil (20) bildet.

45

## HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN

50

55

FIG. 1

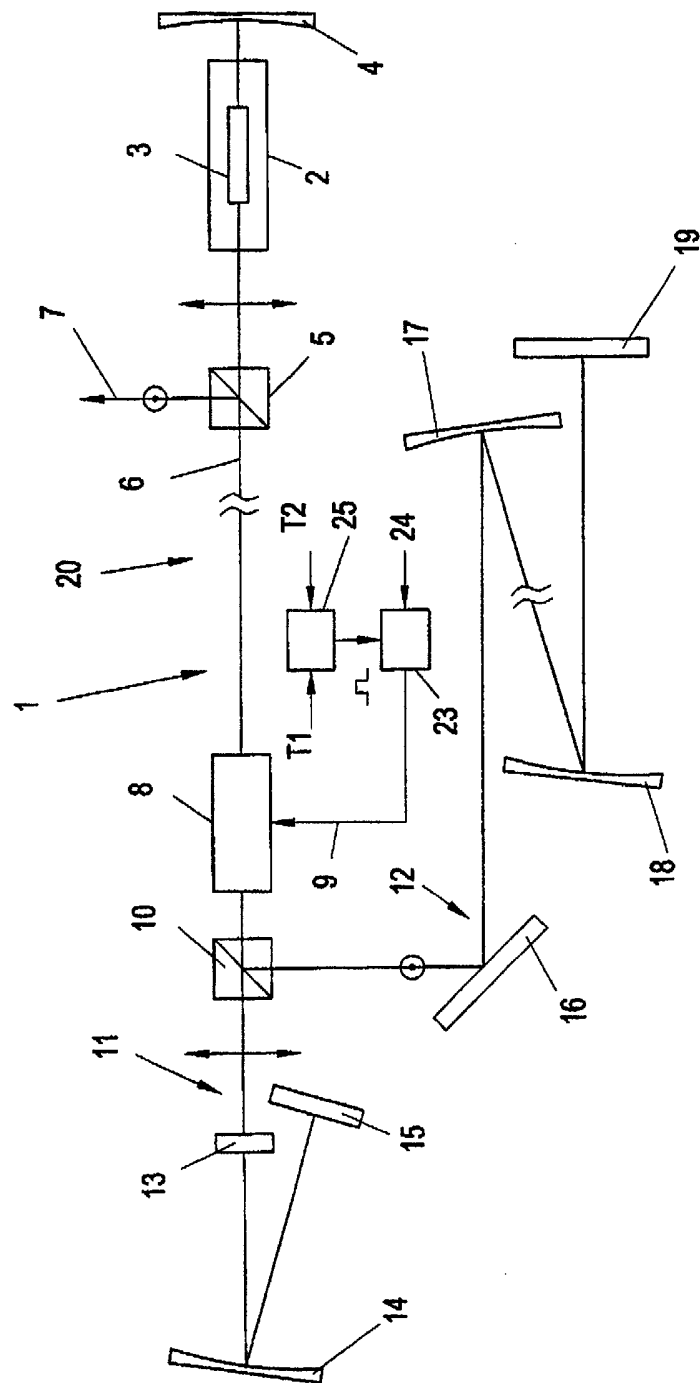


FIG. 2

