



PATENTSCHRIFT 140 948

Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

Int. Cl.³

(11) 140 948 (44) 02.04.80 3(51) H 01 S 3/00
(21) WP H 01 S / 209 959 (22) 20.12.78

(71) siehe (72)

(72) Staupendahl, Gisbert, Dr. Dipl.-Phys.; Schindler, Klaus,
Dipl.-Phys., DD

(73) siehe (72)

(74) Friedrich-Schiller-Universität Jena, Büro für Neuererbewegung
und Schutzrechte, 69 Jena, August-Bebel-Straße 4

(54) Anordnung zur Verkürzung von Laserimpulsen

(57) Die Erfindung soll auf einfache Art und Weise eine Impulsverkürzung von CO₂-Niederdrucklaser-Impulsen von einigen 100 ns auf Impulslängen ≤ 10 ns gewährleisten. Erfindungsgemäß wird dies durch die schnelle Durchstimmung der optischen Weglänge einer speziellen Fabry-Perot-Anordnung erreicht. Die Fabry-Perot-Anordnung kann entweder aus einer feststehenden und einer mit dem Laserdrehspiegel zum Zwecke der Synchronisation starr gekoppelten FPI-Platte oder zwei feststehenden FPI-Platten, die zusammen mit einem zu Synchronisationszwecken mit dem Laserdrehspiegel starr gekoppelten Hilfsspiegel ein gefaltetes FPI bilden, bestehen. Die Durchstimmung, die so erfolgt, daß die Zeit zum Überstreichen des Durchlässigkeitsmaximums des FPI klein ist gegen die ursprüngliche Impulsdauer, erfolgt dann einfach durch Änderung des geometrischen Abstandes der FPI-Platten. Anwendungsgebiet der Erfindung ist vor allem die Untersuchung schneller kinetischer Prozesse mit kurzen Laserimpulsen im mittleren infraroten Spektralgebiet.

12 Seiten



209 959 -1-

Titel

Anordnung zur Verkürzung von Laserimpulsen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Verkürzung von Laserimpulsen. Für zahlreiche Anwendungen der Laserstrahlung ist es vorteilhaft, mit möglichst kurzen Strahlungsimpulsen zu arbeiten. Im sichtbaren bzw. nahen infraroten Bereich des elektromagnetischen Spektrums kann man mit Hilfe verschiedenster Techniken Laserimpulse im Pikosekundenbereich realisieren. Beispiele dafür sind Neodym-, Rubin- oder Farbstofflaser.

Im mittleren Infrarot, insbesondere bei den CO₂-Laserwellenlängen um 10 μ m, ist schon die Erzeugung kurzer Einzelimpulse im Nanosekunden- bzw. Subnanosekundenbereich weit- aus komplizierter. Auch in diesem Wellenlängenbereich gibt es aber interessante Anwendungen, die die Verwendung von Impulslängen dieser Größenordnung erfordern, so z. B. die Methoden der Ultrakurzzeitspektroskopie. Sie gestatten die Untersuchung von dynamischen Prozessen, z. B. in Festkörpern und Festkörperschichten von Relaxationsprozessen, Diffusionsprozessen u. ä., in Gasen die Untersuchung von Schwingungs- und Rotationsrelaxationszeiten von Molekülen, die Untersuchung der Eigenschaften infrarottransparenter Flüssigkeiten usw.

Ein weiterer Grund für die Notwendigkeit der Verwendung möglichst kurzer Laserimpulse bei zahlreichen Messungen ist die Tatsache, daß lange Impulse (Impulshalbwertsbreite

$\tau_H > 100$ ns) schon bei relativ geringen Spitzenleistungen \hat{P} auf Grund ihres vergleichsweise hohen Energiehaushaltes $E \sim \hat{P} \tau_H$ zur Zerstörung des untersuchten Objektes führen. Die vorteilhafteste Anwendung der Erfindung liegt im mittleren infraroten Spektralgebiet, ist jedoch im Prinzip nicht auf dieses beschränkt.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es sind bereits Anordnungen zur Verkürzung von Laserimpulsen bekannt.

Es werden dazu im wesentlichen Anordnungen verwendet, die mit optoelektronischen Bauteilen ausgerüstet sind und einen erheblichen apparativen Aufwand erfordern.

Es ist auch bekannt, die bei Änderung der optischen Weglänge eines Fabry-Perot-Interferometers unterschiedliche Durchlässigkeit für die Selektion schmaler Bereiche aus Laserimpulsen zu nutzen. Dabei ist es möglich und auch bekannt, die optische Weglänge, die sich aus dem Produkt des Brechungsindex des Mediums zwischen den Interferometerplatten und dem Abstand der Platten zusammensetzt, durch Variation eine der beiden Größen zu ändern.

Ein bekannter Infrarot-Modulator (DE-OS 2242438) verwendet z. B. ein Fabry-Perot-Interferometer, das aus zwei, an Biegeresonatoren befestigten Interferometerplatten besteht, die bei Anregung zu Resonanzschwingungen eine periodische Variation des Plattenabstandes ermöglichen.

Eine andere bekannte Anordnung (Appl.Phys.Letters Vol.30, No.6, 15, March 1977; p.280-1) gestattet die Änderung des Brechungsindex des Mediums, das sich zwischen den Interferometerplatten befindet. Im angegebenen Fall handelt es sich bei dem Medium um einen elektrooptischen Kristall.

Allen bekannten Anordnungen dieser Art haftet der Mangel an, daß der Impulsverkürzung durch die begrenzte Frequenz der mechanisch bewegten Teile Grenzen gesetzt sind. Im Falle elektrooptischer Elemente ist ein hoher elektrischer Aufwand zur Erzielung ausreichend großer Effekte notwendig.

Weiterhin bereitet die Synchronisierung des Durchlässigkeitsmaximums auf das Maximum des zu verkürzenden Laserimpulses große Schwierigkeiten.

Ziel der Erfindung

Die Erfindung verfolgt das Ziel, eine Anordnung zu schaffen, die auf einfache Art und Weise eine Impulsverkürzung von CO₂-Niederdrucklaser-Impulsen von einigen 100 ns auf Impuls-längen ≤ 10 ns gewährleistet. Dabei sollen alle vorteilhaften Eigenschaften der Niederdrucklaser-Impulse, wie gutes räumliches und zeitliches Verhalten, gute Kohärenzeigenschaften, spektrale Reinheit und Amplitudenstabilität, erhalten bleiben.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zur Verkürzung von Laserimpulsen zu schaffen, die neben der aktiven Güteschaltung eines Lasers gleichzeitig die Synchronisierung des Durchlässigkeitsmaximums eines Fabry-Perot-Interferometers auf das Maximum eines Laserimpulses gewährleistet. Diese Aufgabe wird durch eine Anordnung zur Verkürzung von Laserimpulsen unter Verwendung eines Fabry-Perot-Interferometers veränderlicher geometrischer Weglänge erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Fabry-Perot-Interferometer aus einer ersten feststehenden Interferometerplatte und einer zweiten Interferometerplatte besteht, die mit einem zur Güteschaltung eines Lasers vorgesehenen Laserdrehspiegel zur Synchronisierung des Durchlässigkeitsmaximums des Fabry-Perot-Interferometers auf das Maximum des zu verkürzenden Laserimpulses starr gekoppelt ist.

Eine zweite vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung besteht darin, daß das Fabry-Perot-Interferometer aus zwei feststehenden Interferometerplatten besteht, deren Flächennormalen einen spitzen Winkel einschließen, an dessen Scheitelpunkt ein drehbarer Spiegel zugeordnet ist, der mit einem zur Güteschaltung

eines Lasers vorgesehenen Laserdrehspiegel zur Synchronisierung des Durchlässigkeitsmaximums des Fabry-Perot-Interferometers auf das Maximum des zu verkürzenden Laserimpulses starr gekoppelt ist.

Ausführungsbeispiel

Das Wesen der Erfindung soll nachstehend an zwei in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert werden.

Es zeigen

Fig. 1 das Durchlässigkeitsverhalten eines Fabry-Perot-Interferometers,

Fig. 2 die Selektion eines schmalen Impulsbereiches aus einem Laserimpuls,

Fig. 3 und 4 ein erstes Ausführungsbeispiel,

Fig. 5 die Reflexionsverhältnisse am Hilfsdrehspiegel und

Fig. 6 ein zweites Ausführungsbeispiel.

Bestrahlt man ein aus 2 planparallelen Platten bestehendes FPI mit Licht einer Wellenlänge λ sowie der Leistung P_0 und variiert dabei die optische Weglänge $n \cdot d$ (n -Brechzahl, d -Plattenabstand), so zeigt die durchgelassene Leistung P_T das in Fig. 1 dargestellte Verhalten. Bestrahlt man nun eine solche Anordnung mit einem Laserimpuls der Halbwertsbreite τ_H und ändert gleichzeitig den Plattenabstand d so schnell, daß in der Zeit τ_H etwa eine volle Periode der Funktion $P_T(n \cdot d)$ überstrichen wird, so gelingt es, aus dem ursprünglichen Impuls einen wesentlich kürzeren Impuls zu selektieren. Dies wird in Fig. 2 veranschaulicht. Besteht ein linearer Zusammenhang zwischen $n \cdot d$ und der Zeit t , entsprechen die zeitlichen Relationen, insbesondere die Lagen der Durchlässigkeitsmaxima bzgl. des einfallenden Laserimpulses den in der Fig. 2 dargestellten. Von besonderer Bedeutung ist dabei, daß das Leistungsmaximum des einfallenden Impulses mit einem Durchlässigkeitsmaximum des FPI zusammenfällt.

Die Eigenschaften des verkürzten Impulses werden einerseits durch die Apparatefunktion des FPI und andererseits durch die Geschwindigkeit der Änderung der optischen Weglänge $n \cdot d$ bestimmt. Das betrifft insbesondere das Verhältnis $\frac{v_H}{c}$, das um so größer wird, je besser die Güte des FPI, d.h. je größer das Verhältnis $\frac{\Delta}{\lambda}$ ist. Ebenso verbessert sich das Verhältnis $\frac{v_H}{c}$ mit zunehmender Geschwindigkeit der d -Änderung. Die Form des verkürzten Impulses wird im wesentlichen bestimmt durch die Apparatefunktion des FPI selbst und das Verhältnis $\frac{v_H}{c}$. Ist $v_H \gg c$, entspricht die Impulsform im wesentlichen der Apparatefunktion. Für ein verlustarm arbeitendes FPI entspricht die Spitzenleistung des verkürzten Impulses P_T annähernd der Spitzenleistung des ursprünglichen Impulses P_0 . Erfindungsgemäß wird das oben beschriebene Prinzip für einen Niederdruck- CO_2 -Laser wie in den Fig. 3 und 4 realisiert: Ein Ausgangsimpuls wird in einem Niederdruck- CO_2 -Laser herkömmlicher Bauart, bestehend aus einem Laserdrehspiegel 1, einem Entladungsrohr mit aktivem Medium 2, einer frequenzselektiven Einheit 3 und einem Auskoppelspiegel 4, erzeugt. Mit Hilfe zweier Linsen 5 und 6 wird der Laserstrahl teleskopisch eingeengt und parallelisiert. Über zwei Umlenkspiegel 7 und 8 gelangt der Laserstrahl auf ein gefaltetes FPI. Dieses besteht erfindungsgemäß aus einer Germaniumplatte 9, die auf der Eintrittsseite für die Laserwellenlänge entspiegelt und auf der Innenseite im gewünschten Maße verspiegelt ist, einem hochreflektierenden Hilfsdrehspiegel 11, der zum Zwecke der Synchronisation zwischen der Durchlässigkeitskurve $P_T(n \cdot d)$ des FPI und dem Laserimpuls mit dem Laserdrehspiegel 1 starr gekoppelt ist, und einer Germaniumplatte 10, die auf der Innenseite in gleichem Maße wie die Platte 9 verspiegelt und auf der Austrittsseite des verkürzten Impulses entspiegelt ist. Die Änderung der optischen Weglänge erfolgt hier durch die mit dem Laserdrehspiegel 1 synchrone Drehung des Hilfsdrehspiegels 11. Erfindungsgemäß erfolgt die Reflexion am Hilfsdrehspiegel 11 nicht in der Nähe der Drehachse, sondern in einem ausreichenden Abstand von ihr, um die nötigen Schaltzeiten zu erreichen (siehe Fig. 5). Da die Änderung der geometrischen Weglänge $2s$ im

FPI während der Impulsdauer sehr klein ist, gilt $s = (f - \text{Drehfrequenz})$.

Mit für CO₂-Laser erreichbaren Werten gestattet die Anordnung die Erzeugung kurzer Impulse von etwa $10^{-8} \dots 10^{-9}$ s Halbwertsbreite. Eine weitere Ausführungsform der Erfindung ist in Fig. 6 dargestellt.

Ein Ausgangslaserimpuls wird in einem Niederdruck-CO₂-Laser herkömmlicher Bauart, bestehend aus dem Laserdrehspiegel 1, einem Entladungsrohr mit aktivem Medium 2, einer frequenzselektiver Einheit 3 und einem Auskoppelspiegel 4, erzeugt. Mit Hilfe zweier Linsen 5 und 6 wird der Laserstrahl eingengt und parallelisiert. Über zwei Umlenkspiegel 7 und 8 gelangt der Laserstrahl auf das FPI. Dieses besteht erfindungsgemäß aus einer feststehenden Germaniumplatte 12, die auf der Eintrittsseite für die Laserwellenlänge entspiegelt bzw. auf der Innenseite in gewünschtem Maße verspiegelt ist und einer in einem speziellen, mit dem Laserdrehspiegel zur Synchronisation starr gekoppelten Rotationskörper 13 angeordneten Germaniumplatte 14, die auf der Innenseite in gleichem Maße wie die Platte 12 verspiegelt und auf der Austrittsseite des verkürzten Impulses entspiegelt ist.

Die Änderung der optischen Weglänge erfolgt durch die schnelle Bewegung der Germaniumplatte 14, beträgt bei analoger Bezeichnungswiese zu Fig.4 jedoch nur s mit $s = \lambda \pi f a \tau_H$. Vorzug dieser Anordnung sind die im Vergleich zu Variante 1 geringen Leistungsverluste, die dort durch mehrfache Reflexionen am Hilfsdrehspiegel hervorgerufen werden.

Gegenüber dem bisherigen Stand der Technik bietet die Erfindung u. a. folgende Vorzüge:

- Man erhält mit relativ einfachen Mitteln, insbesondere ohne zusätzlichen elektronischen bzw. optoelektronischen Aufwand, Impulse mit Halbwertsbreiten von $10^{-8} \dots 10^{-9}$ s hoher und definierter Folgefrequenz.
- Die Vorzüge der Strahlung von Niederdruck-CO₂-Lasern, insbesondere das gute räumliche und zeitliche Verhalten, die guten Kohärenzeigenschaften sowie die spektrale Reinheit, bleiben erhalten.

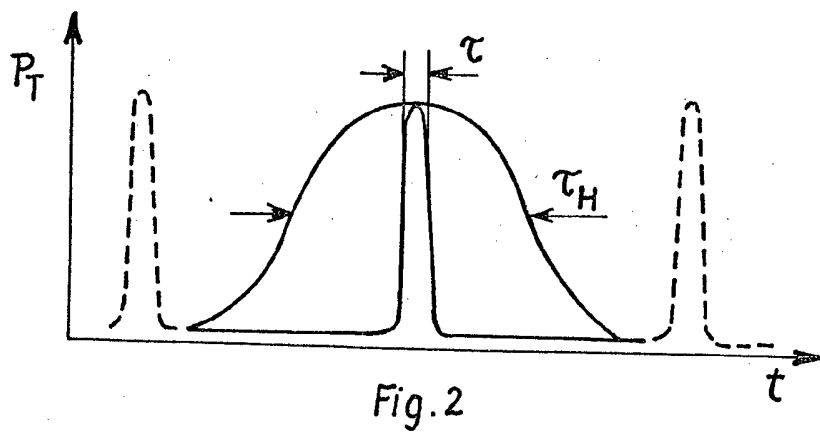
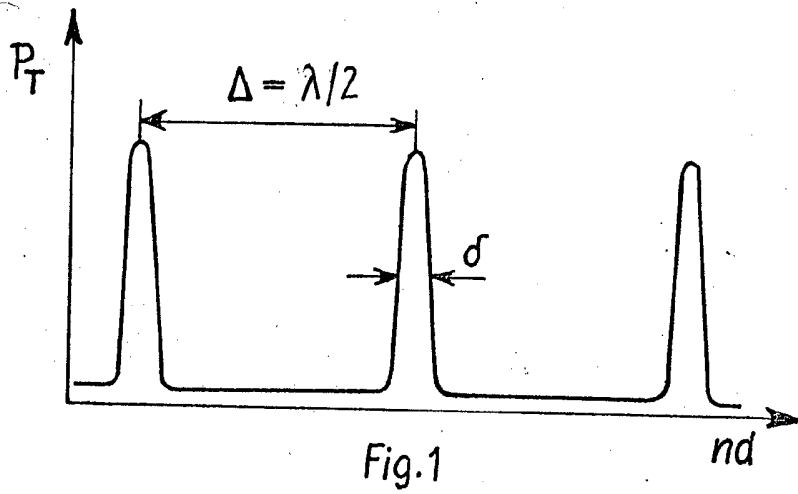
- Gegenüber der Erzeugung kurzer Impulse durch Ausnutzen des Effektes der Modensynchronisation besteht ein Vorteil darin, daß die aufwendige Selektion von Einzelimpulsen aus Impulszügen entfällt.

Erfindungsanspruch

1. Anordnung zur Verkürzung von Laserimpulsen unter Verwendung eines Fabry-Perot-Interferometers veränderlicher geometrischer Weglänge, dadurch gekennzeichnet, daß das Fabry-Perot-Interferometer aus einer ersten feststehenden Interferometerplatte und einer zweiten Interferometerplatte besteht, die mit einem zur Güteschaltung eines Lasers vorgesehenen Laserdrehspiegel zur Synchronisierung des Durchlässigkeitsmaximums des Fabry-Perot-Interferometers auf das Maximum des zu verkürzenden Laserimpulses starr gekoppelt ist.

2. Anordnung zur Verkürzung von Laserimpulsen unter Verwendung eines Fabry-Perot-Interferometers veränderlicher geometrischer Weglänge, dadurch gekennzeichnet, daß das Fabry-Perot-Interferometer aus zwei feststehenden Interferometerplatten besteht, deren Flächennormalen einen spitzen Winkel einschließen, an dessen Scheitelpunkt ein drehbarer Spiegel zugeordnet ist, der mit einem zur Güteschaltung eines Lasers vorgesehenen Laserdrehspiegel zur Synchronisierung des Durchlässigkeitsmaximums des Fabry-Perot-Interferometers auf das Maximum des zu verkürzenden Laserimpulses starr gekoppelt ist.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen



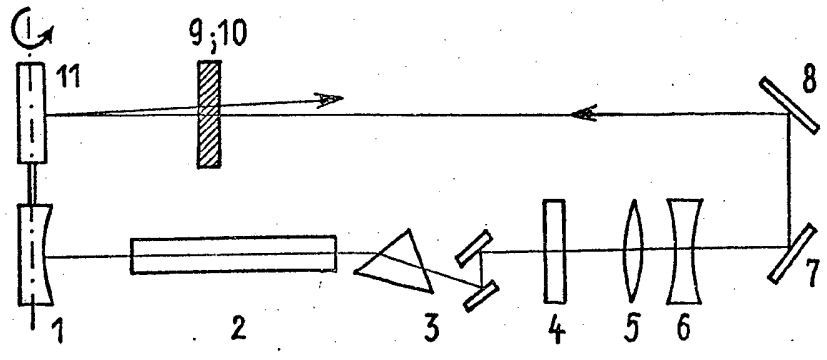


Fig. 3

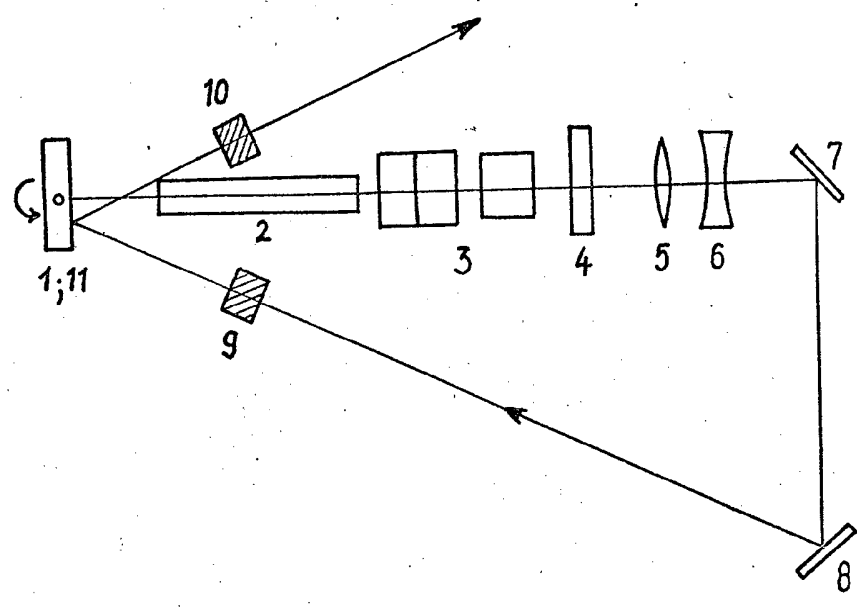


Fig. 4

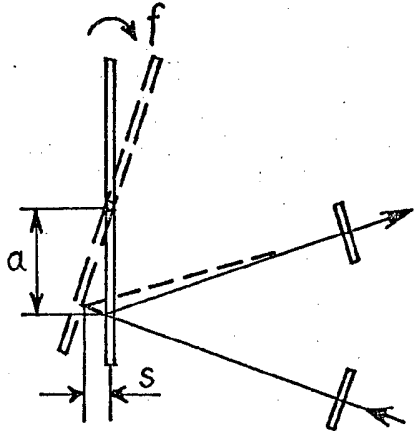


Fig. 5

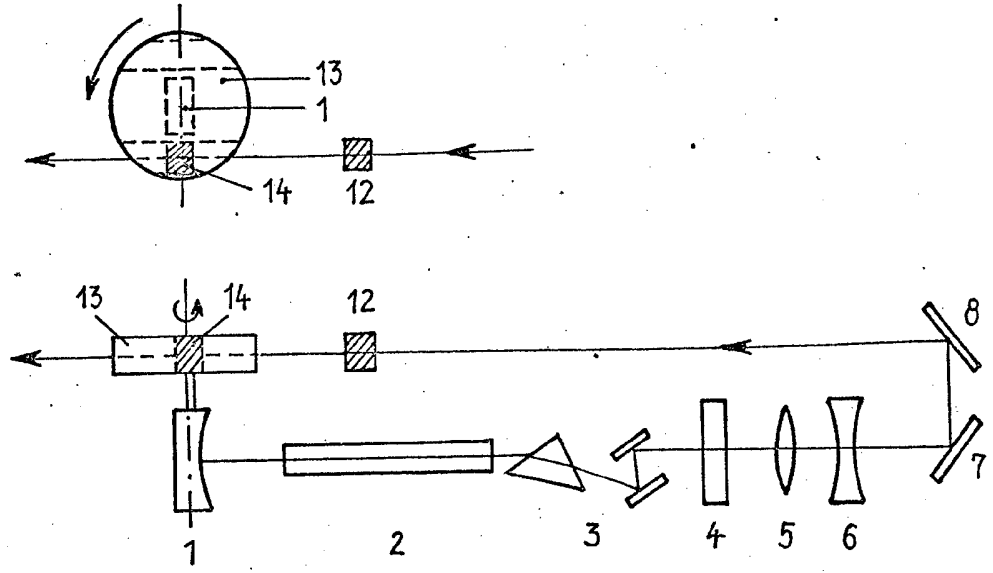


Fig. 6