



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **228 090 A1**

4(51) G 02 F 1/29

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 02, F / 268 844 8

(22) 30.10.84

(44) 02.10.85

(71) Friedrich-Schiller-Universität Jena, 6900 Jena, August-Bebel-Straße 4, DD

(72) Schröder, Bernd, Dr., DD

(54) Anordnung zur Erzeugung von Impulszügen ultrakurzer Lichtimpulse

(57) Die Anordnung zur Erzeugung von Impulszügen ultrakurzer Lichtimpulse ist insbesondere für die Anregungs- und Teststrahlmethode der Laser-Ultrakurzzeitspektroskopie anwendbar. Sie verfolgt das Ziel, unter Verzicht auf zeitlich hochauflösende Strahlungsdetektoren zeitaufgelöste Messungen im Ultrakurzzeitbereich mit geringerem Meßzeitaufwand und erhöhter Genauigkeit durchführen zu können. Die Aufgabe der Erfindung, zeitaufgelöste Absorptions- und Reflexionsmessungen mit Einschußanregung durchzuführen und dabei mittels wählbarem Samplepunkt-Abstand den abgetasteten Zeitbereich vergrößern zu können, wird durch eine Anordnung mit paralleler nichtkollinear strahlenförmiger Ausbreitung der Einzelimpulse, ausgehend von einem einzelnen ultrakurzen Lichtimpuls unter Zuhilfenahme zweier parallel zueinander befindlicher Platten, von denen eine teildurchlässig ist, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zur Gewährleistung eines festen gegenseitigen Abstandes der Strahlen eine Vorrichtung vorgesehen ist, die gleichzeitig mit einer für die Änderung der Impulsfolgefrequenz notwendigen Abstandsänderung der beiden Platten diese gemeinsam um einen entsprechenden Winkel bezüglich der Strahlrichtung dreht.

Titel

Anordnung zur Erzeugung von Impulszügen ultrakurzer Lichtimpulse

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Erzeugung von Impulszügen ultrakurzer Lichtimpulse wählbarer Impulsfolgefrequenz mit paralleler nichtkollinearer strahlförmiger Ausbreitung der Einzelimpulse unter Zuhilfenahme zweier parallel zueinander angeordneter Platten, von denen die eine teildurchlässig ist. Sie kann angewendet werden für die Zeitauflösung schnell ablaufender Prozesse, etwa im Nano- oder Subnanosekundenbereich. Das Untersuchungsobjekt wird dabei durch den Impulszug stroboskopisch sondiert.

Speziell ist die Erfindung für die Anregungs- und Teststrahlmethode der Laser-Ultrakurzzeitspektroskopie anwendbar.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Bei der sogenannten Anregungs- und Teststrahlmethode wird eine zu untersuchende Probe von einem Anregungsimpuls in einem Nichtgleichgewichtszustand versetzt, dessen zeitliche Änderung mittels eines Testimpulses wählbarer Zeitverzögerung bzgl. der Anregung sondiert wird. Dazu sind verschiedene technische Lösungen bekannt geworden.

Benutzt wird die variable Zeitverzögerung eines einzelnen Testimpulses bzgl. des Anregungsimpulses (IEEE Journ. of Quantum Electronics QE-3 (1967), 302). Die Eliminierung des Einflusses

der statistischen Schuß-zu Schuß-Schwankungen der Anregungsimpulseigenschaften auf den Meßeffect erfordert eine Mittelung über viele Einzelmessungen für jede Verzögerungszeit des Testimpulses. Nachteilig ist hier der hohe Zeitaufwand für eine zeitaufgelöste Messung. Ferner kann die hohe Strahlungsbelastung der Probe zur Veränderung deren Eigenschaften führen.

Es sind auch zwei Verfahren bekannt, mit einem einzelnen Testimpuls zeitliche Auflösung zu erzielen (Chem. Phys. Lett. 3 (1969), 534 und Chem. Phys. Lett. 9 (1971), 1). Zu diesem Zweck wird der Teststrahl räumlich eindimensional aufgeweitet, um eine unterschiedliche Verzögerung verschiedener Strahlanteile bzgl. zum Anregungszeitpunkt realisieren zu können.

In einem ersten Verfahren geschieht das durch gekreuzte Ausbreitung von Anregungs- und Teststrahl, wobei ein ausgedehntes Probengebiet längs der Ausbreitungsrichtung des Anregungsimpulses angeregt wird. Da quer zur angeregten Spur in der Probe getestet wird, resultiert die unterschiedliche Zeitverzögerung im wesentlichen aus der unterschiedlichen Anregungszeit längs der Spur infolge endlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit des Anregungsimpulses. Der mit einem Ereignis auflösbare Zeitbereich ist hier durch die Probenlänge bzw. die Eindringtiefe der Anregungsstrahlung begrenzt. Die Extinktionsänderung für die Teststrahlung muß über die Breite der angeregten Spur genügend groß sein.

In einem zweiten Verfahren wird ein sogenanntes Echelon in den aufgeweiteten Teststrahl gebracht, um eine unterschiedliche Zeitverzögerung der Anteile des aufgeweiteten Strahles über deren stufenweise verschiedene optische Weglänge zu realisieren. Der Nachteil dieser Lösung besteht darin, daß die Verzögerung der einzelnen Teststrahlanteile fest vorgegeben ist durch die Stufenlänge des Echelons und daß dessen Baulänge den auflösbaren Zeitbereich begrenzt.

Es ist weiterhin die zeitaufgelöste Fluoreszenzspektroskopie bekannt (Appl. Phys. Lett. 15 (1969), 192 und Opt. Commun. 1 (1969), 254). Dabei wird das Fluoreszenzverhalten einer mittels Pikosekundenimpuls angeregten Probe beobachtet. Es wird dazu z. B. ein auf dem optischen Kerr-Effekt beruhendes sogenanntes optisches Tor be-

nutzt. Der Kerrschalter kann durch einen bzgl. der Fluoreszenz-anregung definiert verzögerten optischen Impuls aufgeschaltet und damit für einen bestimmten Zeitbereich der abklingenden Fluoreszenzstrahlung transparent gemacht werden. Nachteilig ist bei diesem Verfahren die Beschränkung auf mit ausreichender Fluoreszenzquantenausbeute relaxierende Anregungszustände und je nach Ausführung die Notwendigkeit einer Meßstatistik bzw. die Beschränkung auf einen bestimmten Meßzeitbereich.

Es ist auch die Zeitauflösung mittels Bildwandlerkamas möglich, wenn fluoreszierende Proben vorliegen (Nuovo Cimento 63B (1981), 411). Bei diesem Verfahren wird die zeitliche Lichtintensitätsverteilung in eine entsprechende Zeitverteilung der Intensität eines Photoelektronenstrahles umgesetzt. Diese zeitliche Intensitätsverteilung wird durch ein schnelles Ablenssystem für den Elektronenstrahl in eine räumliche Helligkeitsverteilung auf einen Leuchtschirm transformiert. Kann diese Helligkeitsverteilung mit einem optischen Vielkanalanalysator registriert und ausgewertet werden, so hat man eine sehr leistungsfähige Methode zur Verfügung. Allerdings ist der gerätetechnische Aufwand sehr hoch, besonders schnelle Streak-Kameras sind sehr teuer.

Ziel der Erfindung

Die Erfindung verfolgt das Ziel, eine Anordnung zu schaffen, um zeitaufgelöste Messungen im Ultrakurzzeitbereich mit geringerem Meßzeitaufwand und gesteigerter Genauigkeit unter Verzicht auf zeitlich hochauflösende Strahlungsdetektoren bzw. Bildwandler durchzuführen, den Anwendungsbereich auf weniger strahlungsfeste, nicht notwendig fluoreszierende Proben zu erweitern und auf einfache Weise den sondierten Zeitbereich entsprechend dem Probenverhalten variieren zu können.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, zeitaufgelöste Absorptions- und Reflexionsmessungen im Ultrakurzzeitbereich bei hinsichtlich Zeitaufwand und Genauigkeit vorteilhafter Einschüßanregung durchzuführen und dabei mittels wählbarem Samplepunkt-Abstand

den abgetasteten Zeitbereich gegenüber bekannten Verfahren auszu-
dehnen und variabel zu gestalten.

Die Lösung dieser Aufgabe gelingt mit einer Anordnung zur Erzeu-
gung von Impulszügen ultrakurzer Lichtimpulse wählbarer Impuls-
folgefrequenz mit paralleler nichtkollinearer strahlenförmiger
Ausbreitung der Einzelimpulse, ausgehend von einem einzelnen
ultrakurzen Lichtimpuls unter Zuhilfenahme zweier parallel zuein-
ander befindlicher Platten, von denen eine teildurchlässig ist er-
findungsgemäß dadurch, daß zur Gewährleistung eines festen gegen-
seitigen Abstandes der Strahlen eine Vorrichtung vorgesehen ist,
die gleichzeitig mit einer für die Änderung der Impulsfolgefrequenz
notwendigen Abstandsänderung der beiden Platten diese gemeinsam
um einen entsprechenden Winkel bezüglich der Strahlrichtung dreht.

Der parallele Verlauf der Einzelstrahlen gestattet es, diese alle
mittels einer Fokussierungsoptik in einem kleinen zu sondierenden
Volumen zu vereinigen. Die nichtkollineare Ausbreitung ermöglicht
den Verzicht auf einen zeitlich hochauflösenden Strahlungsnachweis,
da die räumlich getrennten Strahlen auf entsprechend positionierten
Empfängern unabhängig voneinander registriert werden können. Die
Unabhängigkeit der Ausbreitungsrichtung und des Ausbreitungsabstan-
des der Einzelimpulse von ihrer zeitlichen Verzögerung läßt bei
Veränderung derselben eine Neujustierung der Meßanordnung entfallen.

Ausführungsbeispiel

Das Wesen der Erfindung soll an einem in der Zeichnung dargestell-
ten Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

Es zeigen Fig. 1 eine schematische Darstellung zur Verdeut-
lichung der optischen Wirkungsweise einer
erfindungsgemäßen Anordnung

Fig. 2 eine technische Ausführungsform und

Fig. 3 eine Anwendung in der Teststrahlspektroskopie.

Ein einfallender Lichtimpuls 1 (Fig. 1) trifft unter dem Winkel α
auf eine teildurchlässige Platte 2, deren Rückseite entspiegelt
ist, und wird teilweise auf eine parallel zur Platte 2 im Abstand d
angeordnete Platte 3 reflektiert, deren der Platte 2 zugewandte

Oberfläche vollständig reflektiert. Nach Reflexion an dieser Oberfläche transmittiert der Strahl teilweise die Platte 2 und verläßt diese parallel im Abstand b zu den benachbarten, von dieser Platte durchgelassenen Strahlanteilen. Es gelten die folgenden geometrischen Zusammenhänge

$$\overline{AC} = d$$

$$\overline{AB} = d \cos \alpha$$

$$\overline{BC} = \frac{b}{2}$$

$$b = 2d \sin \alpha$$

Damit ist der Gangunterschied benachbarter, durch die Platte 2 tretender Strahlen

$$D = 2d \cos \alpha = 2 \overline{AB} ,$$

und die entsprechende Zeitverzögerung benachbarter Impulse ist

$$\Delta t = \frac{D}{c} = \frac{2 \overline{AB}}{c} ,$$

wobei c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet.

Bei einer Variation von D bzw. Δt ändert sich die Lage der durch die Platte 2 austretenden Strahlen dann nicht, wenn mittels Drehung des Plattenpaares um den Auftreffpunkt C des einfallenden Strahles (Drehachse senkrecht zur Einfallsebene) der Einfallswinkel gleichzeitig so geändert wird, daß das Produkt

$$b = 2d \cdot \sin \alpha ,$$

welches dem Strahlabstand entspricht, konstant bleibt. Diese Eigenschaft hat die Anordnung, wenn die Variation von D bzw. Δt durch Verschieben des Punktes A entlang der Geraden durch A und B vorgenommen wird und das Dreieck ABC folgende Bedingungen erfüllt:

- a) Gerade durch A und C durchstößt die Platten 2 und 3 senkrecht in eben diesen festen Punkten (d. h. \overline{AC} ist Einfallslot)
- b) Strecke \overline{BC} ist fest (nach Länge und Lage)
- c) $\sphericalangle ABC = 90^\circ$
- d) \overline{AB} parallel zum einfallenden Strahl

In Fig. 2 ist die mechanische Konstruktion zur Realisierung des Dreiecks ABC aus Fig. 1 mit obengenannten Eigenschaften skizziert. Die Bezeichnungen der Dreieckspunkte A, B, C in der Fig. 1 und der Fig. 2 entsprechen einander.

Weiterhin bedeutet 4 in Fig. 2 eine Zahnstange mit einer Skala zum Ablesen des Abstandes AB, der geeicht ist auf $\Delta t = \frac{2\overline{AB}}{c}$.

5 ist ein starres Rohr (oder Stab), das mit der Zahnstange 4 durch ein Distanzstück 6 zum Einstellen des Abstandes $\overline{BC} = \frac{b}{2}$ verbunden ist. Dabei ist das Rohr 5 um den Punkt C drehbar und in einem Führungsrohr 8 längsbeweglich, welches wiederum auf einem entlang der Zahnstange 4 verschiebbaren Schlitten 7 um den Punkt A drehbar befestigt ist. Die beiden Platten 2 und 3 werden parallel zueinander und senkrecht zur Zeichenebene so befestigt, daß ihre einander zugewandten Oberflächen den Punkt C bzw. den Punkt A enthalten. Dabei muß Punkt A so nahe an dem einfallenden Strahl zugewandten Rand von Platte 3 liegen, daß diese bei gegebener Strecke BC den einfallenden Strahl nicht abschattet. Andererseits muß der in C reflektierte Strahlanteil vollständig auf Platte 3 treffen.

In Fig. 3 ist schematisch eine Anordnung für die Teststrahlspektroskopie dargestellt.

Mit einem optischen System 9 (ohne Öffnungs- und chromatische Fehler) erfolgt die Fokussierung der Teststrahlen in den angeregten Bereich der Probe 10. Der Abstand b ist so groß zu wählen, daß sich die einzelnen Strahlenbündel nicht überlappen, letztere müssen in guter Näherung Parallelbündel (geringe Strahldivergenz) sein. Infolge der Selbstbeugung der Lichtbündel stellt diese Forderung eine Begrenzung des Strahlquerschnittes nach unten und der maximalen Verzögerung nach oben dar. Genauere quantitative Daten hängen z. B. auch ab von der Strahlqualität, der geforderten Strahlzahl, der Öffnung des fokussierenden Systems 9.

Ein optisches System 11 macht die benachbarten Bündel wieder parallel. Die Linsen L_1 bis L_5 zur Strahlfokussierung auf die Empfänger E_1 bis E_5 können in das System 11 integriert werden.

Anstelle der Einzelempfänger kann auch die Empfängerzeile eines optischen Vielkanalanalysators Verwendung finden. Das optische System 11 ist dann durch ein fokussierendes Objektiv zu ersetzen. Die Empfängerzeile ist in diesem Fall so weit außerhalb der Objektivbrennebene zu positionieren, daß sie optimal von den noch im wesentlichen überlappungsfreien Testbündeln ausgeleuchtet wird.

Erfindungsanspruch

Anordnung zur Erzeugung von Impulszügen ultrakurzer Lichtimpulse wählbarer Impulsfolgefrequenz mit paralleler nichtkollinearer strahlenförmiger Ausbreitung der Einzelimpulse, ausgehend von einem einzelnen ultrakurzen Lichtimpuls unter Zuhilfenahme zweier parallel zueinander befindlicher Platten, von denen eine teildurchlässig ist, dadurch gekennzeichnet, daß zur Gewährleistung eines festen gegenseitigen Abstandes der Strahlen eine Vorrichtung vorgesehen ist, die gleichzeitig mit einer für die Änderung der Impulsfolgefrequenz notwendigen Abstandsänderung der beiden Platten diese gemeinsam um einen entsprechenden Winkel bezüglich der Strahlrichtung dreht.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

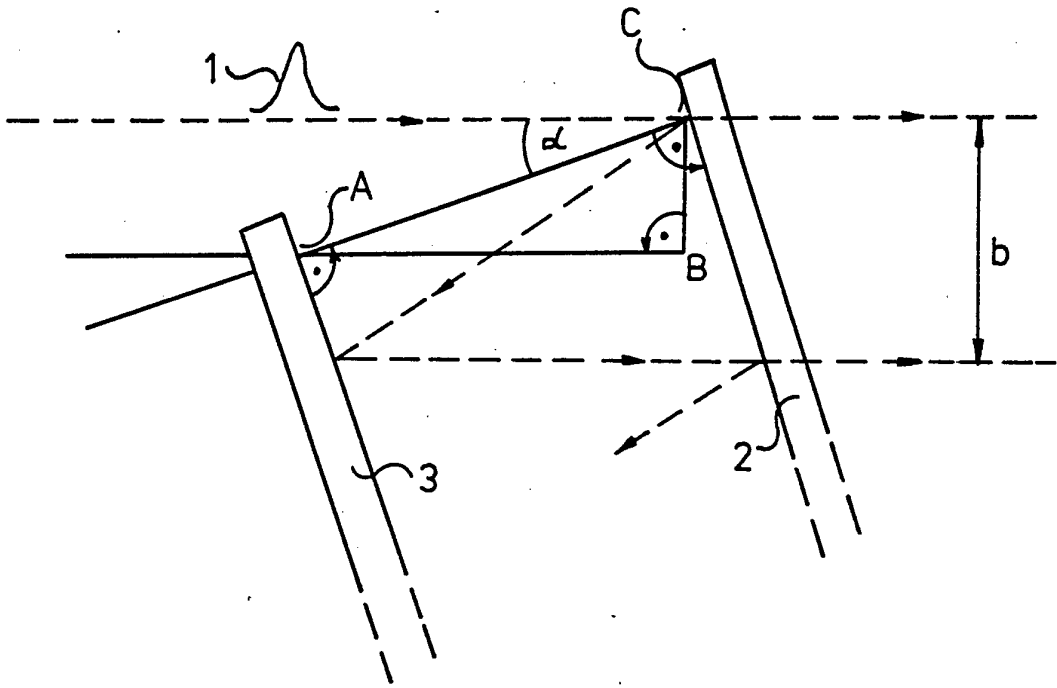


Fig.1

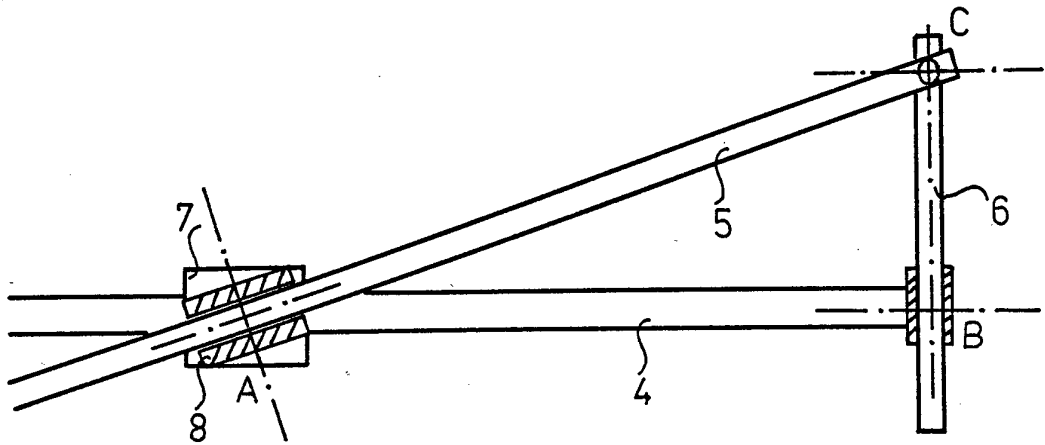


Fig.2

