



(10) DE 10 2019 116 795 B3 2020.10.29

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 116 795.7**
(22) Anmeldetag: **21.06.2019**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **29.10.2020**

(51) Int Cl.: **G02F 1/11 (2006.01)**
G02B 27/00 (2006.01)
H01S 3/10 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
dieses vertreten durch den Präsidenten der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
Braunschweig, DE**

(74) Vertreter:
**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig,
DE**

(72) Erfinder:
**Hannig, Stephan, Dr., 38106 Braunschweig, DE;
Wolf, Fabian, 38159 Vechelde, DE; Heip, Jan
Christoph, 30161 Hannover, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

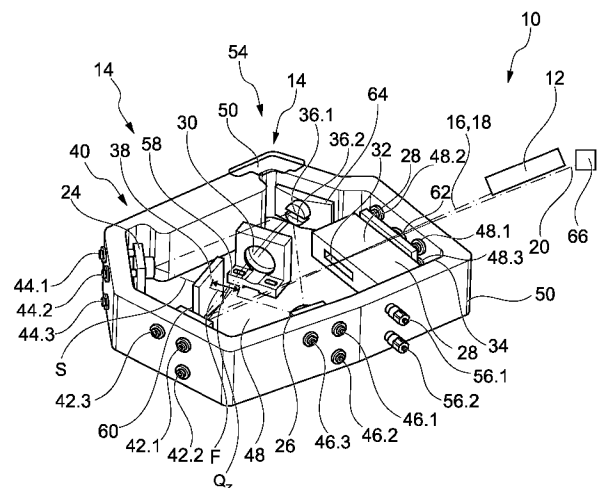
DE 10 2006 028 960 A1
US 2016 / 0 149 367 A1

Donley, E.A, et al.: „Double-pass acousto-optic modulator system“, Rev. Sci. Instrum., Vol. 76, 2005, Nr. 063112.

Hannig, S. et al.: „A highly stable monolithic enhancement cavity for second harmonic generation in the ultraviolet“, Rev. Sci. Instrum., Vol 89, 2018, Nr. 013106.

(54) Bezeichnung: **AOM-System zum Verschieben einer Frequenz eines Laserstrahls und Lasersystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein AOM-System (14) zum Verschieben einer Frequenz (f_{16}) eines Laserstrahls (16), insbesondere eines UV-Laserstrahls (16), mit (a) einer ersten Optik in Form eines ersten Spiegels (22), der angeordnet ist zum Reflektieren des Laserstrahls (16), (b) einer zweiten Optik in Form eines zweiten Spiegels (24), (c) einer dritten Optik in Form eines dritten Spiegels (26), (d) einer vierten Optik in Form eines akustooptischen Modulatorelements (28) und (e) einer fünften Optik in Form einer Linse (30), wobei (f) die Optiken (22, 24, 26, 28, 30) so angeordnet sind, dass der Laserstrahl (16) (i) zweimal durch das Modulatorelement (28) läuft und (ii) zumindest einen Fokus (F) hat. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass (g) die Optiken (22, 24, 26, 28, 30) so angeordnet sind, dass der Fokus (F) von den Optiken (22, 24, 26, 28, 30) beabstandet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein AOM-System zum Verschieben einer Frequenz eines Laserstrahls, insbesondere eines UV-Laserstrahls, mit (a) einer ersten Optik in Form eines ersten Spiegels (b) einer zweiten Optik in Form eines zweiten Spiegels, (c) einer dritten Optik in Form eines dritten Spiegels, (d) einer vierten Optik in Form eines akustooptischen Modulatorelements und (e) einer fünften Optik in Form einer Linse, (f) wobei die Optiken so angeordnet sind, dass der Laserstrahl zweimal durch das Modulatorelement läuft und zumindest einen Fokus hat, dadurch ausgebildet, dass (g) die Optiken so angeordnet sind, dass der Fokus (F) von den Optiken beabstandet ist.

[0002] Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Lasersystem mit (a) einem Laser zum Erzeugen eines Laserstrahls und (b) einem AOM-System, das mit dem Laser zum Verschieben einer optischen Frequenz des Laserstrahls verbunden ist und einen Hochfrequenz-Anschluss zum Leiten von Hochfrequenz-Spannung zum Modulatorkristall aufweist.

[0003] Ein solches AOM (akustooptischer Modulator)-System ist beispielsweise aus dem Aufsatz von Donley E. A. et al „Double-pass acousto-optic modulator system“ Rev. Sci. Instrum, Vol. 76 2005 Nr. 063112 oder der US 2016/0 149 367 A1 bekannt und wird dazu verwendet, die Frequenz eines Laserstrahls zu verändern. Dazu wird der Laserstrahl durch das akustooptische Modulatorelement geleitet. Am Modulatorelement liegt eine hochfrequente Spannung an, die im Modulatorelement ein optisches Gitter aus stehenden akustischen Wellen erzeugt. An diesem Gitter wird der Laserstrahl gebeugt und gleichzeitig in seiner Frequenz verschoben. Nachteilig an bekannten AOM-Systemen ist, dass sie, insbesondere dann, wenn es sich um einen UV-Laserstrahl aus UV-Licht handelt, nur eine vergleichsweise kurze Lebensdauer haben.

[0004] Der Grund dafür ist, dass die verwendeten Optiken vergleichsweise schnell verschleißen. Um das zu vermeiden, wird, insbesondere im UV-Bereich, mit Laserstrahlen vergleichsweise geringer Intensität gearbeitet.

[0005] Aus dem Aufsatz Hannig, S. et al.: „A highly stable monolithic enhancement cavity for second harmonic generation in the ultraviolet“, Rev. Sci. Instrum., Vol. 89, 2018, Nr. 013106 ist ein AOM bekannt, der in einem monolithischen Gehäuse angeordnet ist.

[0006] Die DE 10 2006 028 960 A1 beschreibt einen anisotropen akustooptischen Modulator für ein Heterodyn-Interferometer, der eine Mehrzahl von Wand-

lern zum Empfangen von Steuersignalen und Erzeugen entsprechender akustischer Wellen umfasst, die an dem ersten Eingangsstrahl wirksam sind, um einen ersten und einen zweiten Ausgangsstrahl mit unterschiedlichen Frequenzen und orthogonalen linearen Polarisationen zu erzeugen. Im Aufbau wird eine Blende verwendet, um gebrochene Ordnungen an Licht zu eliminieren. Hohe Licht-Intensitäten können mit diesem Aufbau nicht verarbeitet werden.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein verbessertes AOM-System vorzuschlagen.

[0008] Die Erfindung löst das Problem durch ein gattungsgemäßes AOM-System, bei dem die Optiken so angeordnet und eine Brennweite der Linse so gewählt ist, dass der Fokus in einem mittleren Terzil zwischen den im Strahlengang benachbarten Optiken liegt. Die benachbarten Optiken sind diejenigen Optiken, die der Laserstrahl nach Durchlaufen des Fokus als erstes erreicht bzw. von denen er vor dem Durchlaufen des Fokus kommt. Der Strahlengang zwischen den benachbarten Optiken kann in drei gleichlange Terzile aufgeteilt werden. Der Fokus befindet sich dann im mittleren Terzil.

[0009] Vorteilhaft hieran ist, dass die flächenspezifische Leistung auf den Optiken deutlich reduziert ist gegenüber AOM-Systemen aus dem Stand der Technik, bei denen der Fokus auf einer der Optiken liegt. Das erfindungsgemäße AOM-System ist daher besonders langlebig und kann zudem mit höheren Leistungen des Laserstrahls betrieben werden.

[0010] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter einem UV-Laserstrahl insbesondere ein Laserstrahl verstanden, dessen dominante Wellenlänge zwischen 150 und 400 nm liegt. Unter der dominanten Wellenlänge wird die Wellenlänge höchster spektraler Leistungsdichte verstanden.

[0011] Vorzugsweise ist der Laserstrahl ein kollimierter Gauß-Strahl.

[0012] Vorzugsweise erzeugt der Laser einen Laserstrahl, dessen Linienbreite zwischen 1 Millihertz und 10 Megahertz liegt. Günstig ist es, wenn das Modulatorelement zum Verschieben einer Frequenz des Laserstrahls um zumindest 10 MHz ausgebildet ist.

[0013] Das AOM-System kann zudem zum Ein- und Abschalten des Laserstrahls verwendet werden. Hierunter wird insbesondere verstanden, dass der aus dem AOM-System ausfallende Laserstrahl um zumindest den Faktor 10^4 geschwächt werden kann. In anderen Worten hat das AOM-System vorzugsweise eine Unterdrückung von zumindest 10^4 . Das bedeutet, dass aus einem einfallenden kontinuierlichen Laserstrahl gleichbleibender Intensität durch Einschalten ein erster ausfallender Laserstrahl er-

zeugt werden kann und durch Ausschalten ein zweiter ausfallender Laserstrahl erzeugt werden kann, wobei der zweite ausfallende Laserstrahl eine Intensität hat, die höchstens das 10^{-4} -fache der Intensität des ersten Laserstrahls hat. Das AOM-System ist zudem so ausgebildet, dass ein Umschalten zwischen dem ersten ausfallenden Laserstrahl und dem zweiten ausfallenden Laserstrahl in einer Schaltzeit von höchstens 1 Mikrosekunde möglich ist.

[0014] Besonders günstig ist es, wenn sich der Fokus im mittleren Quintil befindet, also in der mittleren von fünf gleich langen Strecken des Strahlengangs zwischen den benachbarten Optiken.

[0015] Besonders günstig ist es, wenn die Brennweite der Linse gleich der Länge der optischen Achse des Strahlengangs von der Linse zum Modulatorelement ist. Diese Angabe bezieht sich auf die Länge der optischen Achse des Lichtpfads in Lichtausbreitungsrichtung vom Modulatorelement zur Linse.

[0016] Der zweite Spiegel und/oder der dritte Spiegel werden von den Laserstrahlen außerhalb der Ebene **E** getroffen, in der der einlaufende Laserstrahl und der Mittelpunkt der Linse liegen. Ein Abstand zwischen der Ebene **E** und dem Auftreffpunkt ist vorzugsweise größer als ein Strahldurchmesser des Laserstrahls im Auftreffpunkt. Insbesondere ist der Abstand größer als drei Strahldurchmesser und/oder als 1 Millimeter. Vorzugsweise ist der Abstand kleiner als 20 Zentimeter.

[0017] Vorzugsweise besitzt das AOM-System eine sechste Optik in Form eines ersten Halbspiegels und eines zweiten Halbspiegels, die im Strahlengang hinter der Linse angeordnet ist, wobei die Optiken so angeordnet sind, dass der Laserstrahl zunächst durch das Modulatorelement läuft, dann vom ersten Spiegel umgelenkt wird, dann die Linse passiert und auf den Halbspiegel trifft, dann vom Halbspiegel, dem zweiten Spiegel und dem dritten Spiegel so umgelenkt wird, dass der Laserstrahl seinen Fokus durchläuft und dann durch die Linse zurück durch das Modulatorelement reflektiert wird. Das AOM-System ist damit ein sogenanntes double-pass-AOM-System. Auf diese Weise kann ein AOM-System mit sehr geringen Abmessungen hergestellt werden, was sehr vorteilhaft ist. Der Grund dafür ist, dass optische Tische, auf denen AOM-Systeme zum Stand der Technik in der Regel vorgehalten werden, teuer sind, sodass aufgrund der Kompaktheit des AOM-Systems weniger Platz benötigt wird. Zudem kann ein solches AOM-System einfach transportiert werden.

[0018] Unter den Halbspiegeln werden Spiegel verstanden, die so geformt sind, dass sich ihre verspiegelten Flächen zu einem großen Spiegel mit kreisförmiger Spiegelfläche ergänzen. Es ist aber auch mög-

lich, statt der Halbspiegel normale Spiegel zu verwenden.

[0019] Diese Anordnung ermöglicht es zudem, dass eine mögliche vertikale Strahlablenkung im Modulatorelement aufgrund einer thermischen Linsenbildung kompensiert wird, was eine bevorzugte Ausführungsform des AOM-Systems darstellt.

[0020] Das AOM-System ist so ausgebildet, dass eine Frequenz eines einlaufenden Laserstrahls verschoben wird und ein auslaufender Laserstrahl mit verschobener Frequenz abgegeben wird. Vorzugsweise ist der auslaufende Laserstrahl höhenversetzt zum einlaufenden Laserstrahl. In anderen Worten existiert ein Abstand zwischen dem auslaufenden Laserstrahl und dem einlaufenden Laserstrahl, der ungleich 0 ist und zumindest größer ist als ein Strahldurchmesser des einlaufenden Laserstrahls. Die Richtung und die Lage des auslaufenden Laserstrahls ist vorzugsweise unabhängig von der Frequenz der an den AOM angelegten hochfrequenten Spannung.

[0021] Vorzugsweise verläuft der auslaufende Laserstrahl beabstandet vom und/oder unter einem Winkel von ungleich 0° zum einlaufenden Laserstrahl durch das Modulatorelement. Das hat den Vorteil, dass die flächenspezifische Leistung am Modulatorelement verringert wird. Ein weiterer Vorteil ist, dass der auslaufende frequenzverschobene Laserstrahl räumlich getrennt vom einlaufenden Laserstrahl verlaufen und daher einfach zur weiteren Nutzung aus dem System geführt werden kann. Statt des Begriffs höhenversetzt könnte auch der Begriff beabstandet verwendet werden. Unter dem Merkmal, dass die beiden Laserstrahlen beabstandet durch das Modulatorelement verlaufen, wird verstanden, dass ein Abstand zumindest einen Strahldurchmesser, vorzugsweise zumindest zwei Strahldurchmesser beträgt.

[0022] Vorzugsweise unterscheiden sich der einlaufende Laserstrahl und der auslaufende Laserstrahl hinsichtlich ihres Durchmessers und/oder ihrer Divergenz um höchstens 20%.

[0023] Vorzugsweise umfasst das AOM-System eine Blende, die im Strahlengang nach dem Modulatorelement zum Selektieren der ersten Beugungsordnung des Lichts des Laserstrahls angeordnet ist. So werden störende Lichtanteile entfernt.

[0024] Vorzugsweise besitzt das AOM-System ein Gehäuse, das die Optiken und ggf. die Blende umgibt. Günstig ist es, wenn das AOM-System zumindest eine Stellschraube aufweist, mittels der zumindest eine Position zumindest einer Optik von außerhalb des Gehäuses veränderbar ist. Besonders günstig ist, wenn die Positionen von zumindest drei Optiken mittels jeweils zumindest einer Stellschraube

von außerhalb des Gehäuses justierbar ist. Die Stell-schrauben sind vorzugsweise Feingewindeschrauben. Durch das Gehäuse ist es möglich, die Optiken von Umgebungsschmutz und Schwankungen des Brechungsindex und/oder der Temperatur abzusichern.

[0025] Vorzugsweise ist das Gehäuse gasdicht. Hierunter wird insbesondere verstanden, dass ein Überdruck von 200 hPa im Gehäuse zu einem Gasstrom durch das Gehäuse führt, der kleiner ist als 1 mm³ pro Sekunde.

[0026] Besonders günstig ist es, wenn das Gehäuse zumindest einen Gasanschluss zum Zu- und/oder Ableiten eines Schutzgases aufweist. Es ist dann möglich, das Gehäuse mit einem Schutzgas, insbesondere zum Konstant-Halten der Temperatur, zu spülen, sodass Temperaturtransienten im Gehäuse reduziert werden. Es kommt in diesem Fall zu keinem oder nur einem geringen Strahlversatz durch eine etwaige Strömung durch den Bereich der Optiken. Auch eine Verschmutzung durch Partikel kann weitgehend vermieden werden, was die Lebensdauer des AOM-Systems und dessen Wirkungsgrad erhöht.

[0027] Vorzugsweise besitzt das Gehäuse ein Laser-Einkoppelfenster zum Einkoppeln des einlaufenden Laserstrahls und/oder ein Laser-Auskoppelfenster zum Auskoppeln des auslaufenden Laserstrahls, der relativ zur einlaufenden Laserstrahlfrequenz verschoben ist. Das Laser-Einkoppelfenster und/oder das Laser-Auskoppelfenster bewirkt, dass das Gehäuse gasdicht ausgebildet sein kann. Unter den Fenstern wird insbesondere auch ein Anschluss für Glasfaserleitungen verstanden, sodass der einlaufende Laserstrahl und/oder der auslaufende Laserstrahl mittels Lichtleitfasern zu- und/oder abgeführt werden kann. Es sei darauf hingewiesen, dass selbstverständlich das Laser-Einkoppelfenster gleichzeitig auch zum Auskoppeln des auslaufenden Laserstrahls ausgebildet und angeordnet sein kann.

[0028] Vorzugsweise bildet das Gehäuse einen 19-Zoll-Rackeinschub. Alternativ passt zumindest ein Gehäuse in einen 19-Zoll-Rackeinschub. Vorzugsweise passen zumindest zwei Gehäuse in einen 19-Zoll-Rackeinschub. Derartige Racks werden in Laboren häufig verwendet. Bisherige double-pass-AOM-Systeme, insbesondere für UV, sind zu groß, um in einen 19-Zoll-Rackeinschub zu passen, was deren Verwendung deutlich erschwert.

[0029] Günstig ist es, wenn das Gehäuse einen, insbesondere einstückigen Rahmen aufweist, an dem die Optiken befestigt sind. Einstückig ist ein Objekt, wenn es nicht beschädigungsfrei zerlegbar ist.

[0030] Vorzugsweise beträgt eine Biegesteifigkeit des Gehäuses und/oder Rahmens zumindest 10⁵ Nm² (Newton mal Quadratmeter). In diesem Fall führen übliche externe Kräfte nicht zu intolerabel großen Verschiebungen der Optiken relativ zueinander. Die angegebene minimale Biegesteifigkeit des Gehäuses und/oder Rahmens bezieht sich auf alle Biegebeanspruchungen. Vorzugsweise ist die Biegesteifigkeit des Gehäuses und/oder Rahmens kleiner als zumindest 10⁷ Nm².

[0031] Ein einstückiger Rahmen könnte auch als monolithischer Rahmen bezeichnet werden. Günstig ist es, wenn das Gehäuse einen einstückigen Grundkörper aufweist, der aus dem Rahmen und einem Boden gebildet ist, sowie einem Deckel, mittels dem der Grundkörper gasdicht verschließbar ist. Ein derartiges Gehäuse ist besonders biege- und torsionssteif, sodass die Optiken sich in ihrer Lage unabhängig von den Umgebungsbedingungen nur wenig relativ zueinander bewegen.

[0032] Ein erfindungsgemäßes Lasersystem besitzt vorzugsweise einen Laser in Form eines UV-Lasers. Der UV-Laser hat vorzugsweise eine dominante Wellenlänge zwischen 150 und 400 nm. Günstig ist es, wenn die Linienbreite zwischen 1 Millihertz und 10 Megahertz liegt.

[0033] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform besitzt das Gehäuse ein Justierfenster, das so angeordnet ist, dass durch Verkippen des ersten Spiegels der Laserstrahl zwischen den Halbspiegeln hindurch durch das Justierfenster aus dem Gehäuse austreten kann. Das erlaubt ein Justieren des Modulator-elements.

[0034] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Fig. 1a eine perspektivische Ansicht auf ein erfindungsgemäßes Lasersystem mit einem erfindungsgemäßen AOM-System und

Fig. 1b eine Draufsicht auf das Lasersystem gemäß **Fig. 1a**.

[0035] **Fig. 1a** zeigt ein Lasersystem **10** mit einem Laser, der im vorliegenden Fall ein UV-Laser **12** ist und einem erfindungsgemäßen AOM-System **14**.

[0036] Der UV-Laser **12** umgibt einen UV-Laserstrahl **16**. Der in Form eines einfallenden Laserstrahls in das AOM-System **14** einfällt. Das AOM-System **14** verschiebt eine Frequenz f_{16} des UV-Laserstrahls **16** um eine Verschiebefrequenz f_s , sodass ein auslaufender Laserstrahl **20** erhalten wird.

[0037] Das AOM-System besitzt eine erste Optik in Form eines ersten Spiegels **22**, eine zweite Optik in Form eines zweiten Spiegels **24**, eine dritte Optik in

Form eines dritten Spiegels **26**, ein Modulatorelement **28** sowie eine fünfte Optik in Form einer Linse **30**. Das Modulatorelement **28** umfasst im vorliegenden Fall einen Modulatorkörper **32**, der im vorliegenden Fall durch ein dotiertes kristallines Quartz gebildet ist. Das Modulatorelement **28** umfasst zudem einen Ultraschall-Sender **34** der so angeordnet ist, dass im Modulator **32** ein stehendes Wellenfeld erzeugt werden kann.

[0038] Die Spiegel **24**, **26** werden von den Laserstrahlen außerhalb der Ebene **E** getroffen, in der der einlaufende Laserstrahl **16** und der Mittelpunkt der Linse **30** liegen. Ein Abstand zwischen der Ebene **E** und dem Auftreffpunkt beträgt im vorliegenden Fall **3** Millimeter.

[0039] Das AOM-System **14** besitzt zudem eine sechste Optik in Form eines ersten Halbspiegels **36.1** und eines zweiten Halbspiegels **36.2** die Optiken **22**, **24**, **26**, **28**, **36.1**, **36.2** sind so angeordnet, dass der einlaufende Laserstrahl **18** zunächst auf den ersten Spiegel **22** trifft, dann durch die Linse **30** tritt und dann vom Halbspiegel **36.2** auf den dritten Spiegel und danach auf den zweiten Spiegel **24** geleitet wird, um zum ersten Halbspiegel **36.1** zu gelangen. Von dort wird der Laserstrahl durch die Linse **30** auf den ersten Spiegel **22** geleitet, der diesen erneut durch das Modulatorelement **28** leitet. Zwischen dem zweiten Spiegel **24** und dem dritten Spiegel **26** ist eine Blende **38** angeordnet. Die Blende **38** lässt lediglich das Licht der ersten Beugungsordnung, die vom Modulatorelement **28** erzeugt wird, passieren.

[0040] Der Laserstrahl **16** durchläuft einen Fokus **F**. Der Fokus **F** liegt zwischen dem zweiten Spiegel **24** und dem dritten Spiegel **26**. Die beiden Spiegel **24**, **26** stellen die benachbarten Optiken, dar, die Blende **38** ist keine Optik. Der Abschnitt des Strahlengangs des Laserstrahls **16** zwischen den beiden Spiegeln **24**, **26** stellt eine Strecke **S** dar. Eingezeichnet ist das zentrale Quintil **Qz** auf der Strecke **S**. Es ist zu erkennen, dass der Fokus **F** im zentralen Quintil **Qz** liegt. Im vorliegenden Fall liegt der Fokus **F** benachbart zu dem Punkt, der auf halber Strecke zwischen den beiden Endpunkten und der Strecke **S** liegt.

[0041] Die Lage des Fokus **F** hängt von einer Brennweite f_{30} der Linse **30** ab. Im vorliegenden Fall entspricht die Brennweite f_{30} der Länge des Strahlenganges vom Mittelpunkt des Laserstrahlabschnittes innerhalb des Modulatorkörpers **32** zur Linse **30**.

[0042] Fig. 1a zeigt, dass die Spiegel **22**, **24**, **26**, **36.1**, **36.2** sowie der Modulator **28** an einem Rahmen **40** befestigt sind. Im vorliegenden Fall ist der Rahmen **40** einteilig, was eine bevorzugte Ausführungsform unabhängig von den anderen Merkmalen in der beschriebenen Ausführungsform ist. Besonders günstig ist, wenn der Rahmen **40** einstückig ist, d. h. függestel-

lenfrei. Der erste Spiegel **22** ist mittels Stellschrauben **42.1**, **42.2**, **42.3** justierbar. Auf gleiche Weise ist der zweite Spiegel **24** mittels zweiten Stellschrauben **44.1**, **44.2**, **44.3** justierbar. Der dritte Spiegel **26** ist mittels dritter Stellschrauben **46.1**, **46.2**, **46.3** justierbar. Der Modulator **32** ist mit den Stellschrauben **48.1**, **48.2**, **48.3** justierbar. Die Stellschrauben **42.i**, **44.i**, **46.i** ($i = 1, 2, 3$) sind von außerhalb des Rahmens **40** betätigbar.

[0043] Die Blende **38** und die Linse **30** sind auf einem Boden **48** befestigt. Es ist möglich, dass der Boden **48** fest, vorzugsweise einteilig, insbesondere einstückig, mit dem Rahmen **40** ausgebildet ist. Der Rahmen **40** ist vorzugsweise aus Metall, beispielsweise Aluminium, gefertigt. Alternativ kann der Rahmen **40** auch aus Kunststoff bestehen.

[0044] Mittels eines nur in Teilen eingezeichneten Deckels **50** kann ein Grundkörper **52** aus Boden **48** und Rahmen **40** zu einem Gehäuse **54** ergänzt werden. Das Gehäuse **54** ist gasdicht. Das Innere des Gehäuses **54** kann über Gasanschlüsse **56.1**, **56.2** mit einem Schutzgas gefüllt werden. Die Linse **30** ist über eine Justageeinheit **58** relativ zum Rahmen **40** justierbar. Die Blende **38** ist mittels einer zweiten Justageeinheit **60** zum Rahmen **40** justierbar. Die beiden Justageeinheiten **58**, **60** sind am Boden **48** angebracht.

[0045] Fig. 1b zeigt die Ansicht von oben auf das AOM-System **14**. Es ist zu erkennen, dass das AOM-System **14** ein Laser-Einkoppelfenster **62** aufweist, durch das der Laserstrahl **16** in das Gehäuse **54** eintritt. Im vorliegenden Fall dient das Laser-Einkoppelfenster auch als Laser-Auskoppelfenster, durch das der auslaufende Laserstrahl **20** (vgl. Fig. 1a) das AOM-System **14** wieder verlässt.

[0046] Fig. 1a zeigt, dass im Gehäuse **54** ein Justierfenster **64** vorhanden ist. Durch Verkippen des ersten Spiegels **22** kann der Laserstrahl **16** durch das Justierfenster **64** austreten. Das erlaubt ein Justieren des Modulatorelements **28**. Nach dem Justieren kann dann der Spiegel **22** wieder in die korrekte Position gebracht und seinerseits justiert werden.

[0047] Der auslaufende Laserstrahl **20** wird einem Ziel **66** zugeleitet, beispielsweise einem Messgerät.

Bezugszeichenliste

| | |
|-----------|--|
| 10 | Lasersystem |
| 12 | UV-Laser |
| 14 | AOM-System |
| 16 | Laserstrahl, insbesondere UV-Laserstrahl |
| 18 | einlaufender Laserstrahl |

| | | |
|----------|--------------------------|---|
| 20 | auslaufender Laserstrahl | (d) einer vierten Optik in Form eines akustooptischen Modulatorelements (28) und |
| 22 | erster Spiegel | (e) einer fünften Optik in Form einer Linse (30), |
| 24 | zweiter Spiegel | (f) wobei die Optiken (22, 24, 26, 28, 30) so angeordnet sind, dass der Laserstrahl (16) |
| 26 | dritter Spiegel | (i) zweimal durch das Modulatorelement (28) läuft und |
| 28 | Modulatorelement | (ii) zumindest einen Fokus (F) hat, dadurch gekennzeichnet , dass |
| 30 | Linse | (g) die Optiken so angeordnet sind und eine Brennweite (f_{30}) der Linse (30) so gewählt ist, dass der Fokus (F) in einem mittleren Terzil zwischen den im Strahlengang benachbarten Optiken (24, 26) liegt. |
| 32 | Modulatorkörper | |
| 34 | Ultraschallsender | |
| 36 | Halbspiegel | |
| 38 | Blende | |
| 40 | Rahmen | |
| 42 | Stellschraube | |
| 44 | zweite Stellschraube | |
| 46 | dritte Stellschraube | |
| 50 | Deckel | |
| 52 | Grundkörper | |
| 54 | Gehäuse | |
| 56 | Gasanschluss | |
| 58 | Justageeinheit | |
| 60 | Justageeinheit | |
| 62 | Laser-Einkoppelfenster | |
| 64 | Justierfenster | |
| 66 | Ziel | |
| E | Ebene | |
| f16 | Frequenz | |
| f_s | Verschiebefrequenz | |
| F | Fokus | |
| S | Strecke | |
| Qz | zentrales Quintil | |
| f_{30} | Brennweite | |
| i | Laufindex | |

Patentansprüche

1. AOM-System (14) zum Verschieben einer Frequenz (f_{16}) eines Laserstrahls (16), insbesondere eines UV-Laserstrahls (16), mit
 (a) einer ersten Optik in Form eines ersten Spiegels (22), der angeordnet ist zum Reflektieren des Laserstrahls (16),
 (b) einer zweiten Optik in Form eines zweiten Spiegels (24),
 (c) einer dritten Optik in Form eines dritten Spiegels (26),

(d) einer vierten Optik in Form eines akustooptischen Modulatorelements (28) und
 (e) einer fünften Optik in Form einer Linse (30),
 (f) wobei die Optiken (22, 24, 26, 28, 30) so angeordnet sind, dass der Laserstrahl (16)
 (i) zweimal durch das Modulatorelement (28) läuft und
 (ii) zumindest einen Fokus (F) hat, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 (g) die Optiken so angeordnet sind und eine Brennweite (f_{30}) der Linse (30) so gewählt ist, dass der Fokus (F) in einem mittleren Terzil zwischen den im Strahlengang benachbarten Optiken (24, 26) liegt.

2. AOM-System (14) nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch**

(a) eine sechste Optik in Form eines ersten Halbspiegels (36.1) und eines zweiten Halbspiegels (36.2), die im Strahlengang hinter der Linse (30) angeordnet ist,
 (b) wobei die Optik so angeordnet ist, dass der Laserstrahl (16) zunächst durch das Modulatorelement (28) läuft,
 auf den ersten Spiegel (22) trifft, dann die Linse (30) passiert, dann auf den Halbspiegel (36) trifft,
 dann von dem zweiten Spiegel (24) so umgelenkt wird, dass der Laserstrahl (16) seinen Fokus (F) durchläuft und
 dann von dem dritten Spiegel (26) und dem Halbspiegel (36) reflektiert wird, die Linse (30) passiert und vom ersten Spiegel (22) zurück durch das Modulatorelement (28) reflektiert wird oder den umgekehrten Weg nimmt.

3. AOM-System (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) der Laserstrahl (16) zunächst als ein einlaufender Laserstrahl (18) und dann als auslaufender Laserstrahl (20) durch das Modulatorelement (28) verläuft und
 (b) der auslaufende Laserstrahl (20) beabstandet und/oder unter einem Winkel ungleich 0° zum einlaufenden Laserstrahl (18) durch das Modulatorelement (28) verläuft und/oder
 (c) der einlaufende Laserstrahl (18) und der auslaufende Laserstrahl (20) sich hinsichtlich ihrer Durchmesser und ihrer Divergenzen um höchstens 20% unterscheiden.

4. AOM-System (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Blende (38), die im Strahlengang nach dem Modulatorelement (28) zum Selektieren der ersten Beugungsordnung des Lichts des Laserstrahls (16) angeordnet ist.

5. AOM-System (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**

(a) ein Gehäuse (54), das die Optiken umgibt, und
 (b) zumindest eine Stellschraube (42), mittels der zumindest eine Position zumindest einer Optik von außerhalb des Gehäuses (54) veränderbar ist.

6. AOM-System (14) nach einem der Ansprüche 4 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gehäuse (54)
(a) gasdicht ist und/oder
(b) zumindest einen Gasanschluss (56) zum Zu- und/oder Ableiten eines Schutzgases aufweist.

7. AOM-System (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gehäuse (54)
(a) ein Laser-Einkoppelfenster (62) zum Einkoppeln des einlaufenden Laserstrahls (18) aufweist und/oder
(b) ein Laser-Auskoppelfenster zum Auskoppeln des auslaufenden Laserstrahls (20), der relativ zum einlaufenden Laserstrahl (18) frequenzverschoben ist, aufweist.

8. AOM-System (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
(a) das Gehäuse (54) einen 19-Zoll-Rackeinschub bildet und/oder
(b) zumindest ein AOM-System (14) in einen 19-Zoll-Rackeinschub passt.

9. AOM-System (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
(a) das Gehäuse (54) einen, insbesondere einstückigen, Rahmen (40) aufweist und
(b) die Optiken am Rahmen (40) befestigt sind.

10. Lasersystem (10) mit
(a) einem Laser zum Erzeugen eines Laserstrahls (16) und
(b) einem AOM-System (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, das mit dem Laser zum Verschieben einer Frequenz (f_{16}) des Laserstrahls (16) verbunden ist und einen Hochfrequenz-Anschluss zum Leiten von Hochfrequenz-Spannung zum Modulator-element (28) aufweist.

11. Lasersystem nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laser ein UV-Laser (12) ist.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

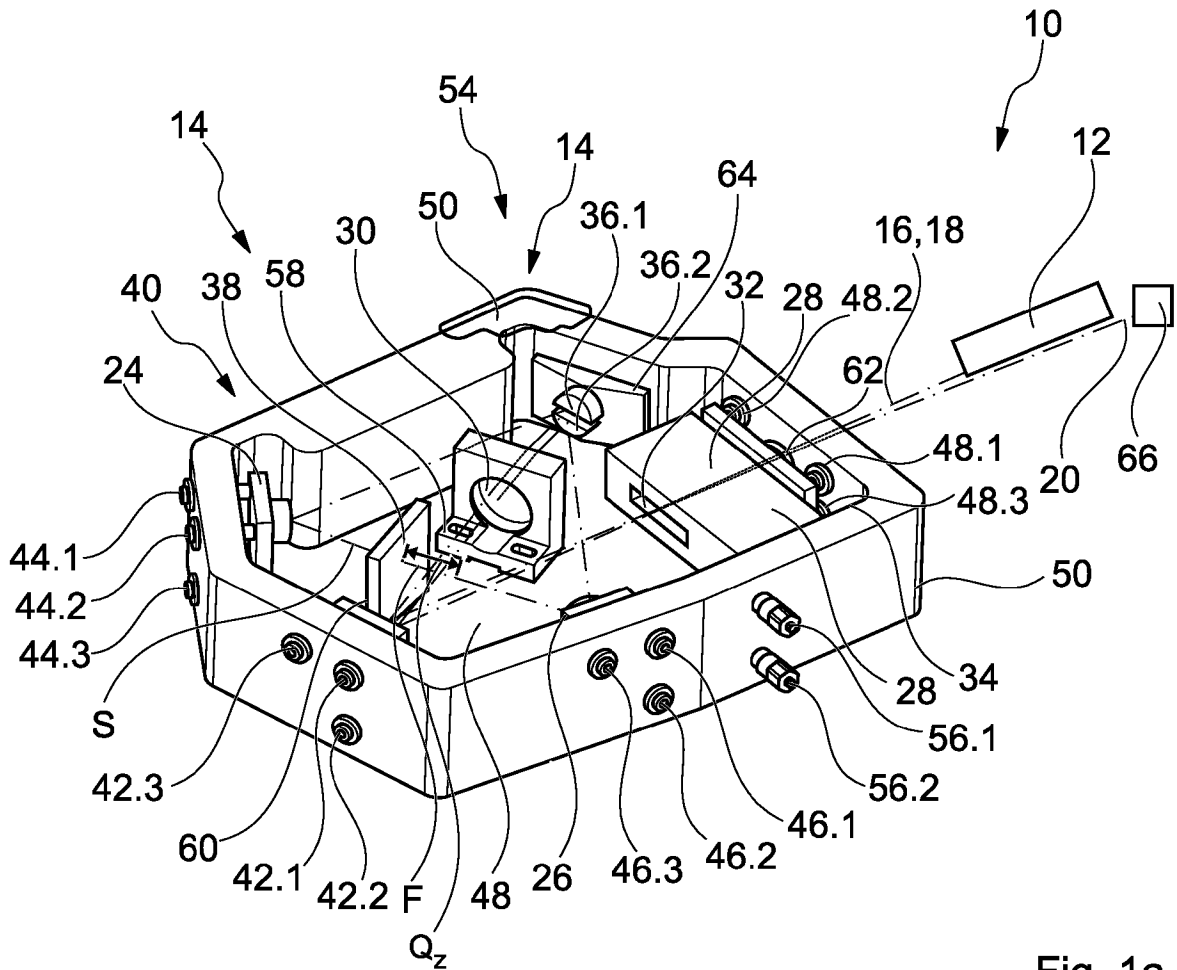


Fig. 1a

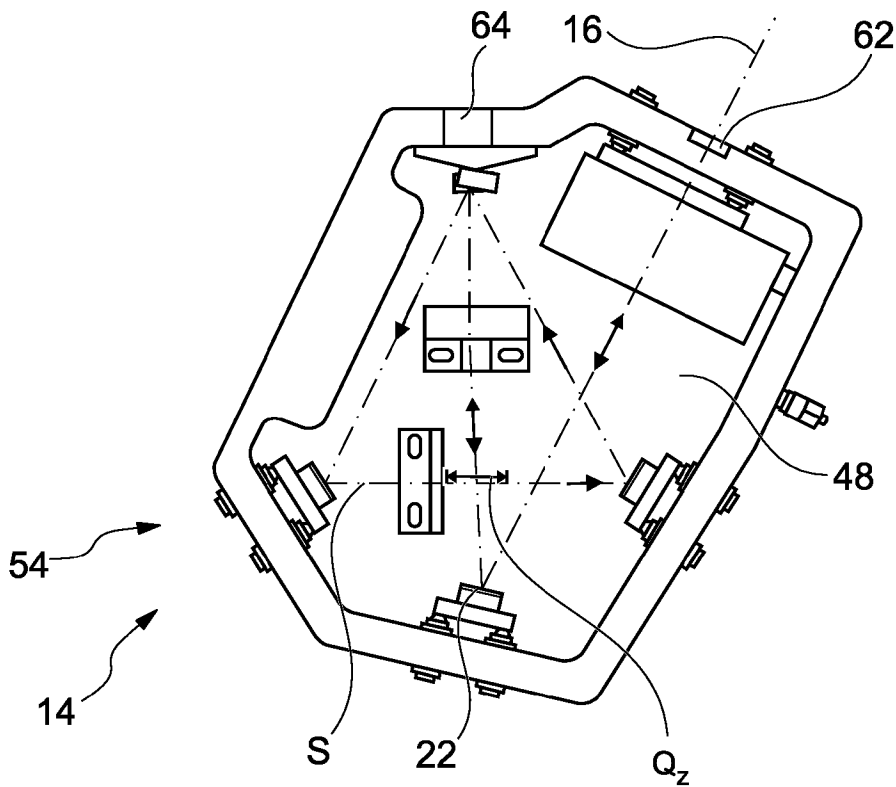


Fig. 1b