



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **256 440 A3**

4(51) H 01 S 3/10

## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21)	WP H 01 S / 286 072 5	(22)	09.01.86	(45)	11.05.88
(71)	VEB Kombinat Feinmechanische Werke Halle, Brachwitzer Straße 16, Halle (Saale), 4020, DD				
(72)	Staupendahl, Gisbert, Dr. sc. nat. Dipl.-Phys.; Pöhler, Manfred, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys.; Wittig, Richard, Dipl.-Phys., DD				
(54)	<b>Anordnung zur Wellenlängenselektion und internen Leistungsmodulation der Strahlung von Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasern</b>				

(57) Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Wellenlängenselektion und internen Leistungsmodulation der Strahlung von Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasern, vorzugsweise zum Einsatz bei Materialbearbeitungsaufgaben und bei stark wellenlängenabhängigen Aufgaben wie z. B. der selektiven Anregung von Molekülen. Ziel der Erfindung ist die Entwicklung einer entsprechenden Anordnung, die neben der optimalen Umsetzung der zur Verfügung stehenden mittleren Laserleistung in Strahlungsimpulsleistung die Erzeugung definierter Impulsfolgen bei starker Überhöhung der Impulsspitzenleistung und hohe Impulsfolgefrequenzen bis zu mehreren kHz bei gleichzeitiger Selektion einer geforderten Wellenlänge im Bereich  $9 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 11 \mu\text{m}$  gestattet. Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe mit einer Anordnung gelöst, bei der einerseits mittels eines frequenzselektiven Elementes und stark winkelselektiver Gasentladungsröhren im Resonator der Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Laser gezwungen wird, auf einer frei wählbaren, aber festen Wellenlänge zu arbeiten und dadurch andererseits die Möglichkeit einer schnellen Güteschaltung mittels einer als Auskoppellement fungierenden speziellen Interferometeranordnung variierbarer Reflektivität geschaffen wird.

### Erfindungsanspruch:

Anordnung zur Wellenlängenselektion und internen Leistungsmodulation der Strahlung von Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasern, bei der ein frequenzselektives Element (2) im Laserresonator angeordnet ist und der eine Resonator-Endspiegel als Interferometeranordnung (4) mit wahlweise schnell variierbarer Reflektivität ausgebildet wird, so daß die Laserleitung wahlweise vom kontinuierlichen Betrieb bis hin zur Güteschaltung bei starker Leistungsüberhöhung der erzeugten Impulse moduliert werden kann, **gekennzeichnet dadurch**, daß das im Bereich möglicher CO<sub>2</sub>-Laser-Wellenlängen angepaßte frequenzselektive Element (2), vorzugsweise ein Prisma aus für die Laserstrahlung transparentem Material, und eine stark winkelselektive Laser-Gasentladungsröhre (1) gemeinsam im Laserresonator so angeordnet sind, daß entsprechend dem am frequenzselektiven Element (2) eingestellten Wellenlängenwert am Ort der Interferometeranordnung (4) das für die gewünschte Laserfunktion erforderliche ebene und monochromatische Wellenfeld erzeugt wird.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

### Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Laseranordnung zur Wellenlängenselektion der Laserstrahlung und zur internen Modulation der Laserleistung wahlweise vom kontinuierlichen Betrieb bis hin zur Güteschaltung bei starker Leistungsüberhöhung der erzeugten Impulse vorzugsweise zum Einsatz bei Materialbearbeitungsaufgaben, wie Schneiden, Schweißen und Härten von Metallen oder Ritzen, Abtragen und Gravieren im Rahmen moderner Technologien der Elektronik- bzw. Mikroelektronikindustrie, der Holzverarbeitenden Industrie, der Glas- und Druckindustrie u. a., sowie zur Lösung von Aufgaben mit speziellen Forderungen an die spektralen Eigenschaften der Laserstrahlung wie z. B. Isotopentrennung mittels Laser oder optisches Pumpen von Lasern für das ferne Infrarot.

### Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die interne, direkt im Laserresonator erfolgende Modulation der Laserleistung bis hin zum gütegeschalteten Betrieb wurde bei CO<sub>2</sub>-Lasern bereits mit den unterschiedlichsten Methoden realisiert. Erinnert sei nur an die Modulation des Entladungsstromes der Laser-Gasentladung, an die aktive Güteschaltung mittels Drehspiegel, die passive Güteschaltung mittels spezieller absorbierender Gase oder an variable Resonatorverluste, die z. B. mittels elektrooptischer Kristalle oder durch Bragg-Beugung an akustooptisch erzeugten Phasengittern realisiert werden können.

Vorteilhaft läßt sich die Leistung eines Lasers auch dadurch steuern, daß an Stelle des teildurchlässigen Auskoppelspiegels eine Interferometeranordnung mit abstimmbarer Transmission verwendet wird. Die Abstimmung der Transmission eines solchen Fabry-Perot-Interferometers (FPI) und damit des Laser-Auskoppelgrades erfolgt dabei durch Änderung der optischen Weglänge im Interferometer, die erfolgen kann sowohl durch elektrische Ansteuerung spezieller Kristalle unter Ausnutzung des elektrooptischen oder des magnetooptischen Effektes, als auch durch rein geometrische Längenvariation, für die i. allg. die Ausnutzung des piezoelektrischen Effektes vorgeschlagen wird (vgl. DE-OS 2223945, GB-PS 1248405, US-PS 3660777). Speziell in der DE-OS 2223945 und der US-PS 3660777 wird die Anwendbarkeit dieser Methode auf CO<sub>2</sub>-Laser gezeigt.

In jedem Falle erfordert die Leistungsmodulation bzw. Strahlungsimpulserzeugung von CO<sub>2</sub>-Lasern mittels FPI-Auskoppelement, daß das elektromagnetische Feld im Resonatorinneren am Ort des Interferometers die Zusatzbedingung erfüllen muß, daß eine im Prinzip frei wählbare, aber während des gewünschten Modulationsprozesses konstante CO<sub>2</sub>-Laser-Wellenlänge zur Verfügung steht, da die Transmission eines FPI eine empfindliche Funktion der Wellenlänge der Laserstrahlung ist. Um dies zu gewährleisten, wird in der DE-OS 2223945 und der GB-PS 1248405 vorgeschlagen, ein zweites FPI im Inneren des Laserresonators anzuordnen. Wegen seines geringen Dispersionsgebietes ist jedoch solch ein FPI nicht in der Lage, bei einem Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Laser die gewünschte Fraktion zu erfüllen, d. h. den Laser zu zwingen, wirklich auf einer festen der zahlreichen im Bereich zwischen 9 µm und 11 µm zur Verfügung stehenden CO<sub>2</sub>-Laser-Wellenlängen zu arbeiten und nicht auf andere Wellenlängen auszuweichen, für die z. B. die Relation zwischen Verstärkung und Resonatorverlusten günstiger ist.

Ein FPI im Resonator ist folglich auch für die reine Wellenlängenselektion eines CO<sub>2</sub>-Lasers, insbesondere eines Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasers ungeeignet.

Die bekannten technischen Lösungen des Einbringens winkeldispersiver Elemente wie Prismen oder Gitter in den Resonator erlauben ebenfalls nur in beschränktem Maße die exakte Selektion einzelner Linien des CO<sub>2</sub>-Laser-Spektrums. Sie sind beim bisherigen Stand der Technik begrenzt auf cw-Ausgangsleistungen des Lasers von etwa 100 W, bei Lasern herkömmlicher Bauart mit höheren Ausgangsleistungen ist das Anschwingen parasitärer Strahlung unerwünschter Wellenlängen nicht zu vermeiden. Insbesondere schwingt z. B. bei den üblicherweise verwendeten kalibrierten Laser-Gasentladungsröhren aus Quarz oder Glas unerwünschte Strahlung über Reflexion an deren Wänden an.

### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Schaffung einer Anordnung zur Wellenlängenselektion und internen Leistungsmodulation der Strahlung von Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasern, um einerseits Aufgaben mit speziellen Forderungen an die spektralen Eigenschaften der Laserstrahlung, wie z. B. Isotopentrennung mittels CO<sub>2</sub>-Lasern, lösen zu können und andererseits Materialbearbeitungsaufgaben wie Ritzen, Abtragen oder Gravieren in der Elektronik- bzw. Mikroelektronik-Technologie

oder in Beschriftungssystemen, oder wie Trennen hochreflektierender Materialien (Aluminium) oder genau definiertes Härten von Metallen so durchführen zu können, daß höchste Bearbeitungsqualität (bspw. Konturenschärfe) durch definierte, der jeweiligen Arbeitsaufgabe optimal angepaßte Strahlungsparameter und genaue Führung des Bearbeitungsprozesses sowie eine hohe Arbeitsproduktivität ermöglicht werden.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Anordnung zur Wellenlängenselektion und internen Leistungsmodulation der Strahlung von Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasern zu schaffen, die bezüglich der Leistungsmodulation den bisher vorrangig genutzten Methoden der internen Modulation bzw. der elektrischen Pulsung der Lasergasentladung in ihren wesentlichen Parametern eindeutig überlegen ist, da sie durch eine in weiten Grenzen frei wählbare Leistungsmodulation vom kontinuierlichen Betrieb bis hin zur Güteschaltung bei starker Leistungsüberhöhung der erzeugten Impulse und hohen Impulsfolgefrequenzen bis zu mehreren kHz neben der optimalen Umsetzung der zur Verfügung stehenden mittleren Laserleistung in Strahlungsimpulsleistung auch eine außerordentlich flexible Anpassung der Strahlungsparameter an die jeweils zu lösende Aufgabe gewährleisten soll, insbesondere auch dadurch, daß darüber hinaus die gleichzeitige Selektion einer geforderten Wellenlänge erfolgt, so daß die unterschiedlichsten Anforderungen an die Laserstrahlung mit hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit erfüllt werden können.

Die erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe erfolgt über die Modulation des Auskopplungsgrades des Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasers bei gleichzeitiger Wellenlängenselektion, deren Grundgedanke auf einer neuartigen Methode der Erzeugung eines intensiven, ebenen und monochromatischen Wellenfeldes frei wählbar, jedoch genau definierter Wellenlänge am Ort des Laserstrahl-Auskoppelementes beruht.

Das Problem der Erzeugung eines solchen Wellenfeldes bzw. der Wellenlängenselektion von Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasern ganz allgemein besteht darin, daß mittels der selektierenden Anordnung erreicht werden muß, daß für jede beliebige gewählte CO<sub>2</sub>-Laser-Wellenlänge, unabhängig davon, ob es eine „starke“ Linie mit hoher Verstärkung im Lasermedium ist oder eine „schwache“ mit sehr niedriger Verstärkung, die Differenz zwischen Verstärkung und Verlusten im Resonator größer sein muß, als für alle anderen Linien. Anderenfalls führen die Konkurrenzprozesse im Laser unvermeidlich zu einem Anschwingen unerwünschter Wellenlängen. Dieses Problem wird gravierend, wenn die Verstärkung des Lasermediums extrem hoch wird. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn zum Zwecke der Strahlungsimpulserzeugung mittels eines FPI-Auskoppelementes der Laservorgang für eine gewisse Zeit unterbrochen werden soll, damit sich die Inversion im Laser maximal aufbauen kann. Dann wird es sehr schwierig, den Laser unter der Anschwingschwelle zu halten und jede Möglichkeit eines Anschwingens über unerwünschte Kanäle zu verhindern.

Erfindungsgemäß wird das dargestellte Problem dadurch gelöst, daß innerhalb des Laserresonators, der durch einen ersten Resonatorendspiegel mit fester Reflektivität  $R_1$  und einen als FPI-Auskoppelement ausgebildeten zweiten Resonatorendspiegel mit wahlweise schnell variierbarer Reflektivität  $R_2$  gebildet wird, ein frequenzselektives Element und eine stark winkelselektive Laser-Gasentladungsröhre angeordnet sind. Diese Elemente haben folgende Funktion. Die stark winkelselektive Gasentladungsröhre, deren Durchmesser mit dem Krümmungsradius des ersten Resonatorendspiegels so abgestimmt ist, daß der Laser vorzugsweise in der TEM<sub>00</sub>-Mode arbeitet, bewirkt, daß sich nur Strahlung eines achsennahen, winkelmäßig außerordentlich kleinen Bereiches verlustarm im Resonator ausbreiten kann. Dann kann das frequenzselektive Element, vorzugsweise ein Prisma aus für die Laserstrahlung transparentem Material, voll wirksam werden, d. h. bei ausreichender Winkeldispersion dieses Elementes kann nur jeweils exakt eine Linie des CO<sub>2</sub>-Laser-Spektrums anschwingen, da alle anderen Winkellängen, deren Strahlungsanteile sich unter einem größeren Winkel zur Lagerachse ausbreiten, extrem starke Verluste erleiden.

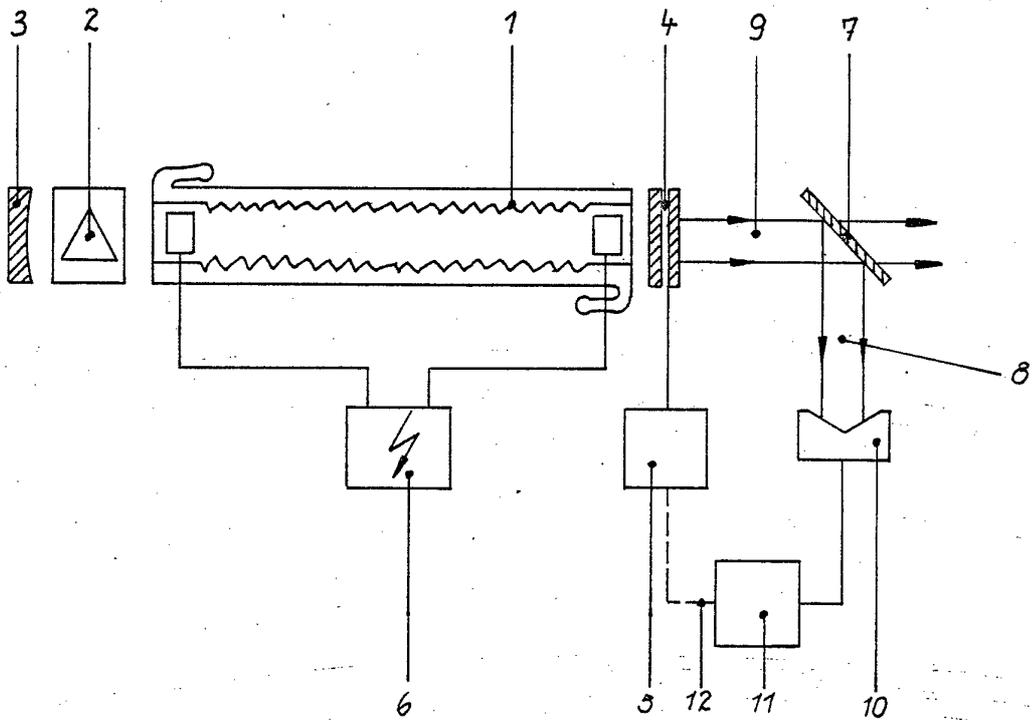
Auf diese Weise ist das Hauptproblem, die Wellenlängenselektion auch bei sehr hoher Verstärkung im aktiven Lasermedium, gelöst.

Mit dem an sich bekannten FPI-Auskoppelement kann folglich auch das zweite Problem, die interne Modulation der Laserleistung, gelöst werden. Dazu wird dieses Element als Interferometeranordnung ausgebildet, die vorzugsweise aus zwei aus transparentem Material, vorzugsweise Ge, GaAs oder ZnSe, bestehenden Platten gebildet wird. Diese Platten sind auf den beiden einander zugewandten, ebenen und parallel zueinander ausgerichteten Seiten für die Laserwellenlänge im gewünschten Maße verspiegelt, während die gegenüberliegenden Seiten entspiegelt sind. Die optische Weglänge  $n \cdot d$  ( $d$  = geometrischer Abstand der beiden Interferometerflächen,  $n$  = Brechzahl des Mediums zwischen den Flächen) zwischen den beiden Interferometerflächen soll relativ klein, minimal etwa in der Größenordnung der Laserwellenlänge, maximal etwa 1 mm sein. Die ausgezeichnete Interferenzfähigkeit des mit Hilfe des frequenzselektiven Elementes und der winkelselektiven Gasentladungsröhre erzeugten ebenen, monochromatischen Wellenfeldes ermöglicht es dann, durch Variation der optischen Weglänge  $n \cdot d$  die effektive Reflektivität  $R_2$  dieser Interferometeranordnung in weiten Grenzen zwischen  $R_{\min} \approx 0$  und einem durch die Reflektivität der beiden Interferometerflächen vorgegebenen Maximalwert  $R_{\max}$  zu ändern, was bei verschwindend kleiner Absorption bedeutet, daß die Transmission des Systems zwischen  $T_{\max} \approx 1$  und  $T_{\min} \approx 1 - R_{\max}$  variiert werden kann. Dieses spezielle Bauelement ist so konstruiert, daß durch entsprechende Steuersignale die optische Weglänge zwischen den Interferometerplatten mit möglichst hoher Grenzfrequenz (mehrere kHz werden angestrebt) moduliert werden kann. Ändert sich dabei  $R_2$  in definiert ausreichende Grenzen, so werden die Resonator-Gesamtverluste, also die Güte des Resonators, so beeinflusst, daß die Intensität der entstehenden Laserstrahlung mit großer Modulationstiefe und hoher Geschwindigkeit moduliert wird. Bei ausreichend schneller Änderung der Resonator-Gesamtverluste von einem Zustand, in dem sich der Laser unterhalb seiner Arbeitsschwelle befindet (dieser Zustand wird i. allg. relativ kleinem  $R_2$  entsprechen), in einen Zustand mit voller Laserfunktion (dieser Zustand entspricht i. allg. relativ großem  $R_2$ ), werden Strahlungsimpulse mit starker Leistungsüberhöhung erzielt.

### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

Figur 1 illustriert die Anordnung zur Wellenlängenselektion und internen Leistungsmodulation der Strahlung eines Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasers. Die stark winkelselektive Gasentladungsröhre 1, vorzugsweise eine spezielle Gasentladungsröhre gemäß DD-WP 134415 und das frequenzselektive Element 2, vorzugsweise ein Prisma aus für die Laserstrahlung transparentem Material, sorgen dafür, daß der Laser bei entsprechender Resonatoranordnung, insbesondere entsprechender Abstimmung des Innendurchmessers der Gasentladungsröhre 1 und des Krümmungsradius' des Resonatorspiegels 3 mit der festen Reflektivität R<sub>1</sub>, im TEM<sub>00</sub>-Betrieb arbeitet. Dann steht am Ort der speziellen Interferometeranordnung 4 das geforderte ebene und monochromatische Wellenfeld zur Verfügung. Die spezielle Interferometeranordnung 4 wird vorzugsweise durch einen Modulator gemäß DD-WP 234208 gebildet. Die Modulation der Laserstrahlungsleistung erfolgt in der oben dargestellten Weise über die Änderung der Reflektivität R<sub>2</sub> dieses Modulators mittels elektrischer Steuersignale, die die elektrische Versorgungseinheit 5 bereitstellt. Die Stromversorgung der Gasentladung erfolgt über die Stromversorgungseinrichtung 6. Durch Ausnutzung der Abhängigkeit der Laserleistung von der Größe der variablen Reflektivität R<sub>2</sub> kann die dargestellte Anordnung auf einfache Weise zur schnellen Stabilisierung der Laserleistung des im cw-Betrieb arbeitenden Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasers genutzt werden. Über einen Strahlteiler 7 wird ein Bruchteil 8 des Arbeitsstrahles 9 einem schnellen Strahlungsdetektor 10 zugeführt. Das Meßsignal wird in einem Elektronikbaustein 11 verarbeitet und die aus einem Soll-Ist-Wert-Vergleich resultierende Regelgröße 12 über die elektrische Versorgungseinrichtung 5 der speziellen Interferometeranordnung 4 dazu genutzt, die variable Reflektivität R<sub>2</sub> so einzustellen, daß der vorgegebene Soll-Wert der Laserleistung gewährleistet ist.



Figur-1-