(51) Int. Cl.: H 01 s, 3/00

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT

(52) Deutsche Kl.: 21 g, 53/00

Behördeneigentum

(10)
(11) # Auslegeschrift 1 564 240

(21) Aktenzeichen: P 15 64 240.7-33 (K 60884)
(22) Anmeldetag: 8. Dezember 1966
(43) Offenlegungstag: 17. September 1970
(44) Auslegetag: 11. März 1971

Ausstellungspriorität: —

(30) Unionspriorität
(32) Datum: —
(33) Land: —
(31) Aktenzeichen: —

---

(54) Bezeichnung: Optischer Sender für kohärentes Licht mit Nachverstärker

(61) Zusatz zu: —

(62) Ausscheidung aus: —

(71) Anmelder: Korad Corp., Santa Monica, Cal. (V. St. A.)

Vertreter: Werdermann, Fr., Dipl.-Ing., Patentanwalt, 2000 Hamburg

(72) Als Erfinder benannt: Maiman, Theodore Harold, Pacific Palisades, Calif. (V. St. A.)

---

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
BE-PS 671 974
US-PS 3 235 813

DT 1 564 240

Die Erfindung bezieht sich auf einen optischen Sender für kohärentes Licht mit möglichst scharf gebündelter Parallelstrahlung aus einem stimulierbaren Medium kleinen Querschnitts, dessen Lichtstromdichte durch einen optischen Nachverstärker vergrößert wird.

Eine der wichtigsten Kenngrößen für die Beurteilung eines Lasersystems ist die Strahlungsdichte oder Helligkeit des Laserstrahls. Die Strahlungsdichte ist bestimmt als die pro Flächeneinheit und Festwinkeleinheit von dem Lasersystem abgestrahlte Energie.

Die Strahlungsdichte kann zwar durch einfaches Vergrößern der Energie oder Leistung verstärkt werden. In der Praxis zeigt sich aber, daß, wenn die Energie oder Leistung in einem stimulierbaren Medium eines optischen Senders über eine bestimmte Grenze hinaus vergrößert wird, das Medium selbst beschädigt wird. Ein wiederholtes Arbeiten bei so hoher Leistung kann zur völligen Zerstörung eines als stimulierbares Medium dienenden Kristalls führen.

Es wurde gefunden, daß die Beschädigung des stimulierbaren Mediums offenbar auf die Dichte der Strahlung oder des Lichtstroms zurückzuführen ist, d. h. auf die Energie oder Leistung pro Flächeneinheit in dem Laserstrahl. Demgemäß ist es möglich, eine Verstärkung der Strahlungsdichte oder der maximalen Helligkeit praktisch dadurch zu verwirklichen, daß der Strahlwinkel verkleinert wird. Allerdings sind verbesserte Strahlwinkel bei Laserstäben mit verhältnismäßig großem Durchmesser im Vergleich zu solchen mit kleinerem Durchmesser schwer zu erreichen, hauptsächlich, weil es leichter ist, einen Stab von kleinerem Durchmesser mit hoher Güte herzustellen.

Außerdem können Linseneffekte oder andere Unvollkommenheiten im stimulierbaren Medium eines optischen Senders selbst oder in der dazugehörigen Optik, wie z. B. einem optischen Nachverstärker, die Strahldivergenz ungünstig beeinflussen.

Sowohl optische Nachverstärker als auch eine Querschnittsvergrößerung der Strahlung eines optischen Senders bewirkende Linsensysteme sind an sich bekannt (vgl. USA.-Patentschrift 3 235 813, belgische Patentschrift 671 974).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen optischen Sender der eingangs genannten Art mit verhältnismäßig einfachem Aufwand herzustellen. Dabei soll die Querschnittsfläche der Strahlung bedeutend größer sein, als sie aus den stimulierbaren Medien üblicher Art eines optischen Senders erhalten werden kann. Weiterhin soll die Strahlungsdivergenz oder -konvergenz auf Grund von Linseneffekten oder sonstigen Unvollkommenheiten im stimulierbaren Medium oder in der dazugehörigen Optik auf möglichst einfache Weise korrigierbar und/oder kompensierbar sein.

Erfindungsgemäß wird die genannte Aufgabe dadurch gelöst, daß der Querschnitt des nachgeschalteten stimulierbaren Mediums des optischen Nachverstärkers ein Vielfaches des Querschnitts des stimulierbaren Mediums des optischen Senders beträgt, wobei auch der Lichtstrom des kohärenten Ausgangsstrahls einen entsprechend vergrößerten Parallelstrahlquerschnitt aufweist.

Auf diese Weise kann mit verhältnismäßig geringem Aufwand eine verstärkte Strahlung mit besonders hoher Strahlwinkelgüte erhalten werden, da ein Laserstab von kleinem Durchmesser mit bedeutend größerer Genauigkeit herstellbar ist als ein solcher

mit großem Durchmesser und da ein stimulierbares Medium in Form eines Stabes größeren Durchmessers, wie es für den Nachverstärker verwendet wird, nur einmal oder zumindest doch nur wenige Male von dem Licht durchsetzt zu werden braucht, so daß keine Multiplikation der Unvollkommenheiten stattfindet.

Hieraus läßt sich in der Weise Nutzen ziehen, daß der kleine Strahlwinkel, der bei Stäben kleineren Durchmessers leichter zu erhalten ist, mit einem stabförmigen stimulierbaren Medium großen Durchmessers eines Nachverstärkers kombiniert wird. Ein Stab kleineren Durchmessers dient also als stimulierbares Medium des optischen Senders, um eine Strahlung mit verhältnismäßig kleinem Strahlwinkel zu bilden. Diese Strahlung wird dann durch einen Strahlquerschnittsdehner gerichtet, woraus sich ein noch kleinerer Strahlwinkel ergibt. Jedoch weist der Ausgangsstrahl aus dem Strahlquerschnittsdehner eine ungünstige Energiedichte auf, so daß es in diesem Stadium nicht zu einer Verstärkung der Strahlungsdichte kommt. Aber durch anschließende Anwendung eines Nachverstärkers mit einem stabförmigen stimulierbaren Medium großen Durchmessers kann die Strahlungsdichte verstärkt werden, so daß sie im wesentlichen derjenigen des ursprünglichen Strahls aus dem stabförmigen stimulierbaren Medium kleinen Durchmessers des optischen Senders entspricht oder sogar noch größer ist, sofern der optische Sender nicht an seiner Leistungsgrenze arbeitet. Da der Strahlwinkel durch das stabförmige stimulierbare Medium großen Durchmessers des Nachverstärkers nicht merklich vergrößert wird, ergibt sich eine Strahlung mit einem kleinen Strahlwinkel von der gleichen oder einer größeren Energiedichte, als sie bei dem aus einem Stab kleinen Durchmessers herauskommenden Strahl vorhanden ist, so daß im Endeffekt eine Strahlung von größerer Strahlungsdichte oder Helligkeit zustande kommt. Dabei ist es nicht notwendig, den optischen Sender in der Nähe seiner Leistungsgrenze zu betreiben, so daß die Gefahr einer Beschädigung des stabförmigen stimulierbaren Mediums vermieden oder vermindert werden kann.

Außerdem ist es möglich, durch geeignete Einstellung der Optik des Strahlquerschnittsdehners eine mindestens teilweise Korrektur oder Kompensation von Linseneffekten oder anderen Unvollkommenheiten im stabförmigen stimulierbaren Medium des optischen Senders sowie in dem des Nachverstärkers herbeizuführen.

Ein besonderer Vorteil des neuen optischen Senders für kohärentes Licht liegt auch in einer Verringerung der Gefahr der Beschädigung des stimulierbaren Mediums des Nachverstärkers. Die Laser-Ausgangsstrahlen weisen häufig Ungleichförmigkeiten auf, die in der Fachsprache als »heiße Flecke« bezeichnet werden. Diese werden, wenn ein solcher Strahl durch einen Strahlquerschnittsdehner gerichtet wird, verbreitert mit dem Erfolg, daß die Energiedichte in den Flecken und damit die Tendenz von Heißfleckschäden für den Nachverstärker geringer wird.

Im folgenden wird die Erfindung an Hand der Zeichnung beispielsweise näher beschrieben.

Fig. 1 ist eine schematische perspektivische Darstellung eines optischen Senders für kohärentes Licht;

Fig. 2 ist ein Blockschema eines gemäß der Erfindung ausgebildeten optischen Senders für kohärentes Licht;

Fig. 3 ist ein Diagramm von Bahnrichtungen des Laserlichts zur Veranschaulichung verschiedener Strahlwinkel und zur Erläuterung der Wirkungsweise der Einrichtung nach Fig. 2.

In Fig. 1 ist lediglich als Beispiel eines Lasersystems ein Laseroszillator mit einem Laserstab **10** gezeigt, der von einem schraubenförmigen, aus einer Energiequelle **12** gespeisten Glühfaden **11** umgeben ist. Der Stab **10** ist an seinen Stirnseiten mit dielektrischen Belägen **13** und **14** versehen. Der Endbelag **13** ist annähernd hundertprozentig reflektierend, und der Endbelag **14** ist nur teilweise reflektierend und teilweise durchlässig, um den mit **15** bezeichneten Laserausgangsstrahl hindurchzulassen.

Wie Fig. 1 zeigt, ist die Strahlquerschnittsfläche am Ausgangspunkt mit A bezeichnet, und der feste Winkel, in welchem der Strahl hinein verläuft, bestimmt den Strahlwinkel oder die Strahldivergenz und ist mit W bezeichnet. Die spezifische Strahlung oder Helligkeit R des Strahls ist als Energie oder Leistung pro Flächeneinheit dividiert durch den Winkel W definiert. Ist also P gleich der Strahlenenergie am Querschnitt A, so ist die spezifische Strahlung R gegeben durch die Formel

$$R = \frac{(P/A)}{W}.$$

Wie schon erwähnt, sind Laserstäbe mit kleinem Durchmesser leichter bei hoher Güte bzw. Eignung zur Bildung eines kleinen Strahlwinkels herzustellen. Sie lassen sich daher normalerweise für eine größere spezifische Strahlung herstellen als Laserstäbe mit größerem Durchmesser. Da nun eine Erhöhung der Energiedichte über gewisse Grenzen hinaus, wie ebenfalls schon erwähnt, schwere Beeinträchtigungen oder Schäden für den Laseroszillator zur Folge haben kann, besteht praktisch die einzige Möglichkeit zur Verbesserung der Strahlung in einer Verkleinerung des Strahlwinkels.

Hierzu wird erfindungsgemäß ein Laserstab mit großem Durchmesser als Verstärker in Verbindung mit einem Strahldehner verwendet, um einen resultierenden Laserstrahl mit bedeutend erhöhter Strahlung im Vergleich zu derjenigen zu erhalten, die mit nur einem selbst als Oszillator dienenden Stab großen Durchmessers erhalten werden könnte.

Dies geschieht, wie Fig. 2 zeigt, indem ein Laseroszillatorstab **16** kleinen Durchmessers genommen wird, welcher der in Fig. 1 gezeigten Grundform entsprechen kann, und in dem der Ausgangsstrahl hiervon in einen Strahldehner **17** gerichtet wird. Der Strahldehner **17** kann eine kleine Divergenzlinse **17***a* und eine große Divergenzlinse **17***b* enthalten, die so angeordnet sind, daß ihre Brennpunkte auf der linken Seite der Linse **17***a* etwa zusammenfallen. Wahlweise könnte auch die Linse **17***a* eine Konvergenzlinse und weiter von der Linse **17***b* weg angeordnet sein, so daß die Brennpunkte beider Linsen zwischen diesen liegen und annähernd zusammenfallen. Der Strahlwinkel wird in dem Strahldehner wesentlich verkleinert, wobei das Strahlwinkelverhältnis des in den Strahldehner eintretenden und des aus ihm heraustretenden Strahls sich dem Wert $\frac{D}{d}$ nähert, wobei D der Durchmesser des Ausgangsstrahls aus dem Strahldehner und d der Durchmesser des Strahls aus dem Oszillator ist.

Ein Laserstab mit großem Durchmesser, der als Verstärker benutzt und mit **18** bezeichnet ist, ist nun so angeordnet, daß er den Ausgangsstrahl des Strahldehners **17** aufnimmt. Es besteht nun keinerlei merkliche Strahldifferenz mehr als Folge des Verstärkers großen Durchmessers, da der Strahl den Stab nur einmal zu durchsetzen braucht. Wohl aber vergrößert der Verstärker die Energiedichte des Strahls, wie es erwünscht ist, und zwar vorzugsweise bis zu dem Wert oder über ihn hinaus, der seiner ursprünglichen Energiedichte beim Heraustreten aus dem Laseroszillator **16** kleineren Durchmessers entspricht. In dieser Hinsicht wird, wenn der Laseroszillator **16** an seiner Leistungsgrenze betrieben wird, der Verstärkungsgrad des Verstärkers gleichgemacht dem Betrag $\left(\frac{D}{d}\right)^2$, um die Energiedichte zurück auf ihren ursprünglichen Wert zu bringen. Wenn der Oszillator unterhalb seiner Leistungsgrenze arbeitet, was im Hinblick auf eine lange Lebensdauer erwünscht sein mag, wird der Verstärkungsgrad des Verstärkers vorteilhafterweise größer als $\left(\frac{D}{d}\right)^2$.

Fig. 3 zeigt in Form eines Kurvenbildes die verschiedenen vorkommenden Winkel. So ist der Strahlwinkel des aus dem Oszillator kleinen Durchmessers kommenden Strahles **19** mit a bezeichnet. Dieser Winkel wird für den mit b bezeichneten Strahl **20**, der den Strahldehner **17** verläßt, beträchtlich verkleinert. Der Strahlwinkel b wiederum wird nicht erheblich für den Endausgangsstrahl **21** nach dem Hindurchgehen durch den Verstärker **18** großen Durchmessers vergrößert, wie der entsprechende Winkel c zeigt. Da der Strahlwinkel des Ausgangsstrahls **21** aus dem Verstärker **18** wesentlich kleiner ist als der Strahlwinkel des Strahls **19** aus dem Oszillator kleineren Durchmessers und da die Energiedichte mindestens gleich oder größer ist als die Energiedichte des Strahls aus dem Oszillator, ist die Strahlung entsprechend erhöht.

Außerdem zeigt sich, daß durch das Ändern des Abstandes zwischen den Linsen **17***a* und **17***b* des Strahldehners bzw. durch Trennung ihrer Brennpunkte eine Korrektur oder Kompensation für mancherlei Strahldivergenzen möglich ist, wie sie aus Unvollkommenheiten des Oszillatorstabes oder optischen Fehlern im Verstärker herrühren können. Normalerweise, wenn die Optiken von Oszillator und Verstärker einwandfrei sind, können die Brennpunkte zusammenfallen. Da dies praktisch nicht immer der Fall ist, kann häufig die Ausgangsstrahldifferenz aus dem Verstärker durch erfahrungsmäßiges Einstellen des Linsenabstandes im Strahldehner kleiner gemacht werden. Durch Trennen der Brennpunkte läßt sich also die Strahldivergenz noch weiter verkleinern. Es kann eine Verbesserung durch Strahldivergenzherabsetzung im Verhältnis 2 : 1 durch eine solche zweckentsprechende Trennung erreicht werden.

Die Möglichkeiten zur Anwendung und Ausführung der Erfindung sind nicht auf die hier im einzelnen beschriebenen und dargestellten Beispiele beschränkt, insbesondere nicht auf irgendwelche speziellen Materialien. Auch ist die Erfindung sowohl auf Lasersysteme mit pulsierenden als auch auf solche mit kontinuierlichen Wellen anwendbar.

Patentansprüche:

1. Optischer Sender für kohärentes Licht mit möglichst scharf gebündelter Parallelstrahlung aus

einem stimulierbaren Medium kleinen Querschnitts, dessen Lichtstromdichte durch einen optischen Nachverstärker vergrößert wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt des nachgeschalteten stimulierbaren Mediums (18) des optischen Nachverstärkers (17, 18) ein Vielfaches des Querschnitts des stimulierbaren Mediums (16) des optischen Senders beträgt, wobei auch der Lichtstrom des kohärenten Ausgangsstrahls einen entsprechend vergrößerten Parallelstrahlquerschnitt aufweist.

2. Optischer Sender nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Lage der zur Dehnung des Strahlquerschnitts dienenden Optik (Strahlquerschnittsdehner 17) des optischen Nachverstärkers verstellbar ist, um eine von Unvollkommenheiten im optischen Sender und im Nachverstärker herrührende Strahldivergenz mindestens teilweise zu korrigieren und/oder zu kompensieren.

3. Optischer Sender nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die stimulierbaren Medien (16, 18) des optischen Senders und des Nachverstärkers die Form von Stäben haben und daß der Strahlquerschnittsdehner so ausgebildet und zwischen diesen Stäben angeordnet ist, daß das Verhältnis der vergrößerten Energiedichte des Strahls in dem stimulierbaren Medium des Nachverstärkers zu dem festen Strahlwinkel des Verstärkerausgangsstrahles größer ist als das Verhältnis der ursprünglichen Energiedichte zu dem festen Strahlwinkel des das stimulierbare Medium des optischen Senders verlassenden ursprünglichen Laserstrahls.

4. Optischer Sender nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlquerschnittsdehner (17) mindestens eine Linse (17*a*) kleinen Durchmessers und eine Linse (17*b*) größeren Durchmessers aufweist, deren Brennpunktabstände zwischen einem Punkt 0, wo ihre Brennpunkte zusammenfallen, und einem endlichen Wert derart verstellbar sind, daß von Unvollkommenheiten im optischen Sender und im Nachverstärker herrührende Strahldivergenzen mindestens teilweise korrigierbar und/oder kompensierbar sind.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

Nummer: **1 564 240**
Int. Cl.: **H 01 s, 3/00**
Deutsche Kl.: **21 g, 53/00**
Auslegetag: 11. März 1971

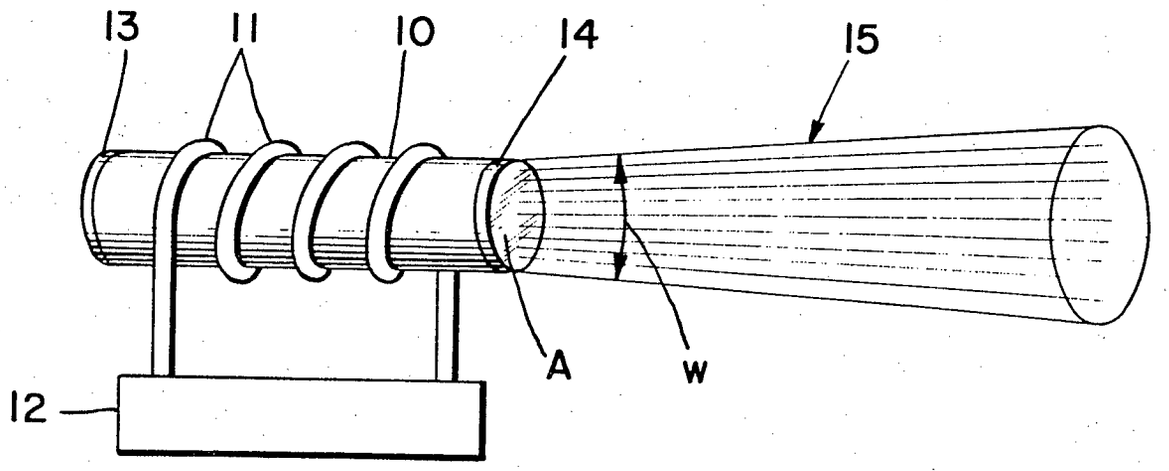


FIG. 1

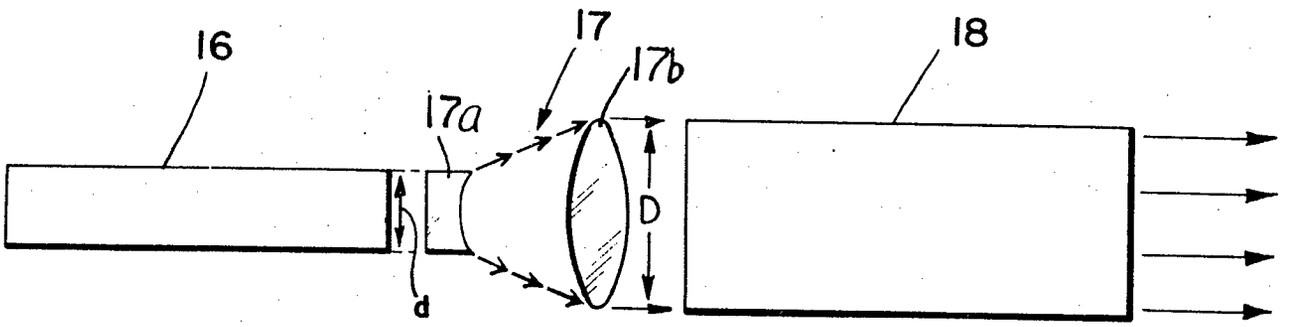


FIG. 2

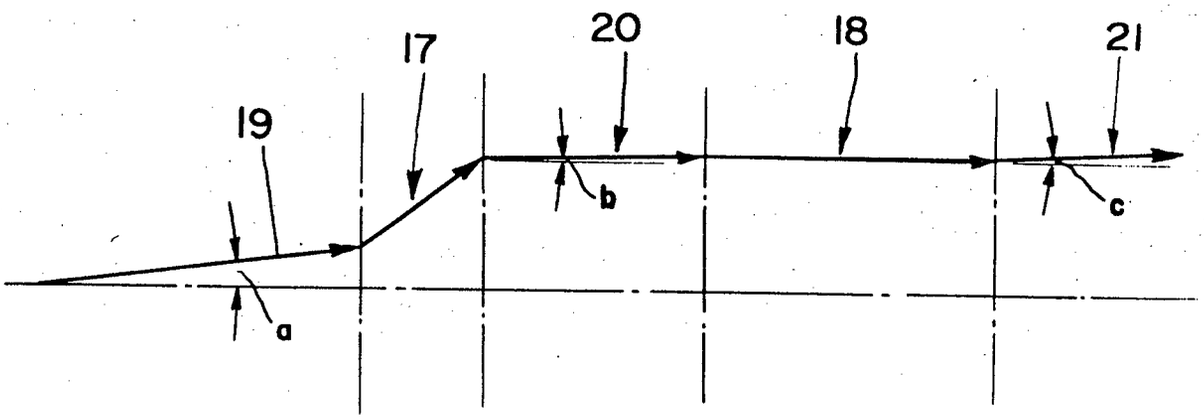


FIG. 3