



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 287 891 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1

Patentgesetz der DDR

vom 27.10.1983

in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) B 23 K 26/06

H 01 P 3/20

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD B 23 K / 332 698 7

(22) 15.09.89

(44) 14.03.91

(71) siehe (73)

(72) Reiß, Günter, Prof. Dr. sc. nat. Dipl.-Phys.; Exner, Horst, Dr.-Ing. Dipl.-Ing.; Zscherpe, Gerhard, Prof. Dr. sc. nat. Dipl.-Phys., DE

(73) Ingenieurhochschule Mittweida, Direktorat Forschung und Internationale Beziehungen, Platz der DSF 17, O - 9250 Mittweida, DE

(54) Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen

(55) Laserstrahl; Laserstrahlfokussierung; Laserstrahlaufweitung; Laserstrahlhomogenisierung; Laserstrahlformung; reflexionsoptisches Bauteil; transmissionsoptisches System; Laserstrahlbearbeitung

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen. Die Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen dient der Formung von Laserstrahlen für die abtragende, fügende und formgebende Bearbeitung sowie für die Modifizierung der Eigenschaften von leitenden, halbleitenden und isolierenden Werkstoffen. Grundlage der Vorrichtung bildet ein einheitliches Baukastenprinzip aus reflexionsoptischen, gut kühlbaren Bauteilen, die wahlweise gleichzeitig das Fokussieren, das Aufweiten und das Homogenisieren von Laserstrahlen gestatten und keine wesentlich größeren Abmessungen besitzen als entsprechende transmissionsoptische Systeme.

Patentanspruch:

1. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen unter Verwendung von für die eingestrahlte Laserwellenlänge hochreflektierenden Spiegelflächen, **gekennzeichnet dadurch**, daß ein kegelförmiger Spiegel (2) achsenparallel in Richtung eines einfallenden Laserstrahlbündels (1) angeordnet und als Abschluß ein weiterer achsenparalleler kegelförmig oder kegelmantelförmig ausgebildeter Spiegel (3) vorgesehen ist, daß ein kegelstumpfmantelförmiger Spiegel (6) so befestigt ist, daß eine Reflexion des kegelmantelförmigen Laserstrahles (5) auf den kegelförmig oder kegelmantelförmig ausgebildeten Spiegel (3) erfolgt und daß eine Fokussierung oder Aufweitung und Fokussierung oder Homogenisierung und Fokussierung des einfallenden Laserstrahlbündels (1) auf der Oberfläche des Werkstückes (7) erreicht wird.
2. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelförmige Spiegel (2) eine gerade Oberflächenkontur besitzt.
3. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelförmige Spiegel (2) eine konvexe Oberflächenkontur besitzt.
4. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelstumpfmantelförmige Spiegel (6) eine gerade Oberflächenkontur aufweist.
5. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelstumpfmantelförmige Spiegel (6) eine konkave Oberflächenkontur besitzt.
6. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelstumpfmantelförmige Spiegel (6) eine konvexe Oberflächenkontur aufweist.
7. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelförmig ausgebildete Spiegel (3) dem kegelförmigen Spiegel (2) entgegengesetzt gerichtet ist.
8. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1 und 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelförmig ausgebildete Spiegel (3) eine gerade Oberflächenkontur besitzt.
9. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1 und 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelförmig ausgebildete Spiegel (3) eine konkave Oberflächenkontur aufweist.
10. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelstumpfmantelförmig ausgebildete Spiegel (3) dem kegelförmigen Spiegel (2) gleich gerichtet ist.
11. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1 und 10, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelmantelförmig ausgebildete Spiegel (3) eine gerade Oberflächenkontur besitzt.
12. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1 und 10, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelmantelförmig ausgebildete Spiegel (3) eine konkave Oberflächenkontur besitzt.
13. Vorrichtung zum Fokussieren, Aufweiten und Homogenisieren von Laserstrahlen nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der kegelförmige Spiegel (2) und der kegelförmig oder kegelmantelförmig ausgebildete Spiegel (3) eine konstruktive, hohl ausgeführte Einheit bilden und die Halterung über die Kühlmittleitungen (4) erfolgt.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung ist anwendbar auf den Gebieten der Technik, die Laserstrahlen für die abtragende, fügende und formgebende Bearbeitung sowie für die Modifizierung der Eigenschaften von leitenden, halbleitenden und isolierenden Werkstoffen verwenden. Dazu gehören insbesondere Lasermaterialbearbeitungsverfahren, die den Einsatz von Laserstrahlen hoher Leistung erfordern, wie beispielsweise das Schneiden, Schweißen und Bohren metallischer und keramischer Werkstücke, das Oberflächenhärten von Eisenwerkstoffen und die laserstrahlinduzierte Modifizierung von Keramikwerkstoffen.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Zum Aufweiten und Fokussieren von Laserstrahlen werden gegenwärtig vorwiegend transmissionsoptische Systeme verwendet. Infolge des relativ hohen Absorptionsgrades der eingesetzten Festkörpermateriale, insbesondere für langwellige Infrarotstrahlung, treten dabei durch Absorption Strahlverluste in den transmissionsoptischen Systemen auf, die für den Lasermaterialbearbeitungsprozeß nicht mehr zur Verfügung stehen und durch Erwärmung der Transmissionsoptiken deren optische Parameter verändern. Die bei der Reflexion an Festkörperoberflächen entstehenden Strahlverluste sind dagegen, insbesondere für langwellige Infrarotstrahlung, wesentlich geringer. Aus diesem Grunde ist es von Vorteil, zum Aufweiten und Fokussieren von Laserstrahlen reflexionsoptische Systeme zu verwenden, deren optische Parameter aufgrund der besseren Kühlbarkeit auch leichter konstant gehalten werden können als die optischen Parameter von transmissionsoptischen Baugruppen.

Es sind bereits reflexionsoptische Systeme zum Aufweiten und Fokussieren von Photonenstrahlen bekannt. In den Patentschriften EP B 23 K 26/060087403, EP G 02/180108618, DE G 02 B 17/02 2558923, DE G 02 B 17/18 2036369, DE G 02 B 17/00 3313708, DE G 02 B 17/00 3504366 A1 und DE B 23 K 26/00 2813642 werden beispielsweise rotationssymmetrische Spiegelsysteme beschrieben, die klassische Lichtstrahlen thermischer Strahlungsquellen oder Laserstrahlung an einem kegelförmigen Spiegel mit gerader, konvexer oder konkaver Oberflächenkontur oder an einem konvex ausgebildeten Spiegel radialsymmetrisch reflektieren und mit Hilfe von kegelmantelförmigen Spiegeln mit gerader oder konkaver Oberflächenkontur in einen zylindermantelförmigen Strahl umwandeln oder als kegelmantelförmigen Strahl fokussieren; in der Patentschrift EP G 02 B 27/18 0108618 ist die Fokussierung des Strahles zu einer Linie offenbart. Bei der in der Patentschrift EP G 02 27/14 0144611 A1 beschriebenen Anordnung wird das einfallende parallele Strahlbündel mit Hilfe eines Spiegels, der aus einer Vielzahl von kreisringförmigen, ineinander angeordneten Elementen mit dreieckigem Querschnitt besteht, radialsymmetrisch reflektiert und mit Hilfe eines kegelmantelförmigen Spiegels fokussiert. In der Patentschrift DE B 23 K 26/00 2908195 sind die Aufspaltung und radialsymmetrische Reflexion des in die Anordnung einfallenden parallelen Strahlbündels in eine Vielzahl von Teilstrahlen und deren Zusammenführung offenbart.

Der Nachteil dieser bekannten optischen Systeme besteht darin, daß der austretende Laserstrahl ein ringförmiges Intensitätsprofil besitzt, wodurch die Lasermaterialbearbeitung bei Verwendung dieser fokussierenden Optiken nur im Fokus des Laserstrahles möglich ist und die beim Einsatz von Transmissionsoptiken übliche Defokussierung des Laserstrahles zur Verringerung seiner Leistungsflußdichte und Vergrößerung seines Brennfleckdurchmessers auf der Werkstückoberfläche nicht angewendet werden kann.

In der Patentschrift DE G 02 B 17/02 2258923 ist des weiteren ein reflexionsoptisches System beschrieben, das eine Parallelausrichtung oder Fokussierung der von klassischen punktförmigen Lichtquellen emittierten divergierenden Strahlen dadurch ermöglicht, daß der einfallende divergierende Strahl nach der rotationssymmetrischen Reflexion an einem kegelförmigen Spiegel mit konvexer Oberflächenkontur von einem zylinderrörmigen Spiegel mit konvexer Oberflächenkontur auf einen dem ersten kegelförmigen Spiegel entgegengesetzt gerichteten kegelförmigen Spiegel mit konkaver Oberflächenkontur gerichtet und von diesem als paralleler Strahl reflektiert oder fokussiert wird. Das in der Patentschrift DE G 02 B 17/08 2036369 B2 offenbarte gleichartige optische System besitzt anstelle der kegelförmigen Spiegel entgegengesetzt gerichtete konvexe Spiegel.

Zur Erzielung möglichst kleiner Fokusdurchmesser ist es oft erforderlich, den Laserstrahl vor der Fokussierung entsprechend aufzuweiten. Eine Aufweitung des Laserstrahles mit Hilfe eines reflexionsoptischen Systems aus entsprechend angeordneten konvexen, konkaven und zwei planen reflektierenden Spiegeln ist in der Patentschrift EP G 02 B 17/00 0096193 beschrieben. Diese Anordnung benötigt jedoch einen im Vergleich zu Transmissionsoptiken relativ großen Bauraum und wird nicht gleichzeitig für die Fokussierung des Laserstrahles eingesetzt.

Reflexionsoptische Vorrichtungen, die eine gleichzeitige Aufweitung und Parallelausrichtung oder Fokussierung von Laserstrahlen ermöglichen und einen mit transmissionsoptischen Systemen vergleichbares Bauvolumen besitzen, sind nicht bekannt.

Ziel der Erfindung

Es ist das Ziel der Erfindung, die Mängel der bekannten technischen Lösungen zu reduzieren und zylinderförmige Laserstrahlen mit vorzugsweise gaußförmiger Leistungsflußdichteverteilung aufzuweiten und zu fokussieren.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, Vorrichtungen zu entwickeln, die nach einem einheitlichen Baukastenprinzip realisierbar sind, ausschließlich aus reflexionsoptischen, gut kühlbaren Bauteilen bestehen, wahlweise gleichzeitig das Fokussieren, das Aufweiten und das Homogenisieren von Laserstrahlen gestatten, und keine wesentlich größeren Abmessungen besitzen als entsprechende transmissionsoptischen Systeme.

Die Ursachen der Mängel der bekannten technischen Lösungen bestehen darin, daß die Mehrzahl der bekannten rotationssymmetrischen reflexionsoptischen Vorrichtungen eine von der ursprünglichen Gaußverteilung der Leistungsflußdichte abweichende, vorzugsweise kreisringförmige Leistungsflußdichteverteilung des Laserstrahles erzeugen und daß durch die konstruktive Gestaltung bedingt mit den bekannten Vorrichtungen eine gleichzeitige Fokussierung, Aufweitung und Homogenisierung des Laserstrahles mit der ursprünglichen Leistungsflußdichteverteilung nicht durchgeführt wird. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe unter Verwendung von teilweise bekannten rotationssymmetrischen, reflexionsoptischen Bauteilen, die noch reflektierende Spiegelflächen für die jeweilige eingestrahlte Laserwellenlänge besitzen, dadurch gelöst, daß ein in die Vorrichtung einfallendes Laserstrahlbündel zunächst in bekannter Weise von einem ersten kegelförmigen Spiegel mit vorzugsweise gerader Oberflächenkontur radialsymmetrisch zur Symmetrieachse des Spiegels, die vorzugsweise mit der optischen Achse des einfallenden Laserstrahles übereinstimmt, reflektiert wird. Der reflektierte Laserstrahl, der hohlkegelförmig ausgebildet ist, wird danach mit Hilfe eines entlang der optischen Achse der Vorrichtung angeordneten kegelstumpfmantelförmig ausgebildeten Spiegels, dessen Symmetrieachse mit der Symmetrieachse des ersten kegelförmigen Spiegels übereinstimmt und dessen Oberflächenkontur rotationssymmetrisch zur Symmetrieachse gerade, konvex oder konkav gestaltet ist, geformt. Der hohlkegelig ausgeführte Laserstrahl wird danach mittels eines zweiten kegelförmigen oder kegelstumpfmantelförmigen Spiegels, der dem ersten kegelförmigen Spiegel gleichgerichtet oder entgegengesetzt gerichtet ist, dessen Symmetrieachse mit der Symmetrieachse des ersten kegelförmigen Spiegels übereinstimmt, dessen Oberflächenkontur rotationssymmetrisch zur Symmetrieachse gerade oder konkav ausgebildet ist und der vorzugsweise mit dem ersten kegelförmigen Spiegel eine konstruktive Einheit bildet, gelenkt, von diesem reflektiert und zum austretenden Laserstrahl geformt.

In Abhängigkeit von der konstruktiven Ausführung der gesamten Vorrichtung ist der vom zweiten kegelförmigen Spiegel reflektierte, austretende Laserstrahl als fokussierter Laserstrahl oder als aufgeweiteter und fokussierter Laserstrahl oder als homogenisierter und fokussierter Laserstrahl ausgebildet.

Zur Kühlung der reflektierenden Flächen sind die kegelförmigen, vorzugsweise eine konstruktive Einheit bildenden Spiegel als Hohlkörper ausgebildet und werden durch rohrförmig mit linsenförmigem Querschnitt ausgeführte Spiegelhalterungen mit einem geeigneten Kühlmedium im Durchfluß gekühlt. Die kegelstumpfmantelförmigen Spiegel sind zur Kühlung der reflektierenden Flächen doppelwandig ausgeführt oder besitzen aufgelötete Kühlschlangen an der Spiegelträgerückseite.

Ausführungsbeispiel

Nachfolgend wird die Vorrichtung anhand von vier Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1: Eine Vorrichtung mit langer Brennweite zum Fokussieren von Laserstrahlen

Fig. 2: Eine Vorrichtung mit kurzer Brennweite zum Fokussieren von Laserstrahlen

Fig. 3: Eine Vorrichtung zum Aufweiten und Fokussieren von Laserstrahlen

Fig. 4: Eine Vorrichtung zum Homogenisieren und Fokussieren von Laserstrahlen

Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit wurden in den Zeichnungen nur die Schnittflächen der Laserstrahlen eingezeichnet. Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 wird ein in die Vorrichtung einfallendes achsenparalleles Laserstrahlbündel 1 in bekannter Weise von einem kegelförmigen Spiegel 2 mit gerader Oberflächenkontur radialsymmetrisch reflektiert. Der entstehende kegelstumpfmantelförmige Laserstrahl 5 wird durch die Reflexion an einem kegelstumpfmantelförmigen Spiegel 6 mit konkaver Oberflächenkontur zu einem hohlkegelförmigen Laserstrahl mit sich verringernder Wanddicke geformt und von einem weiteren dem kegelförmigen Spiegel 2 gleichgerichteten, mit diesem eine konstruktive Einheit bildenden, kegelstumpfmantelförmigen Spiegel 3 mit gerader Oberflächenkontur zu einem aus der Vorrichtung austretenden, fokussierten Laserstrahl 8 reflektiert und auf die Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes 7 gerichtet. Dabei wird die relativ lange Brennweite der Vorrichtung durch den sich entlang der konkaven Oberflächenkontur des kegelstumpfmantelförmigen Spiegels 6 stetig ändernden Krümmungsradius bestimmt.

Bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 wird der vom kegelstumpfmantelförmigen Spiegel 6 mit gerader Oberflächenkontur zu einem hohlkegelförmigen Laserstrahl mit gleichbleibender Wanddicke geformt und von einem kegelstumpfmantelförmigen Spiegel 3 mit konkaver Oberflächenkontur zu einem aus der Vorrichtung austretenden, fokussierten Laserstrahl 8 reflektiert und auf die Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes gerichtet. Dabei wird die realisierbare kurze Brennweite der Vorrichtung durch den sich entlang der konkaven Oberflächenkontur des kegelstumpfmantelförmigen Spiegels 3 stetig ändernden Krümmungsradius bestimmt.

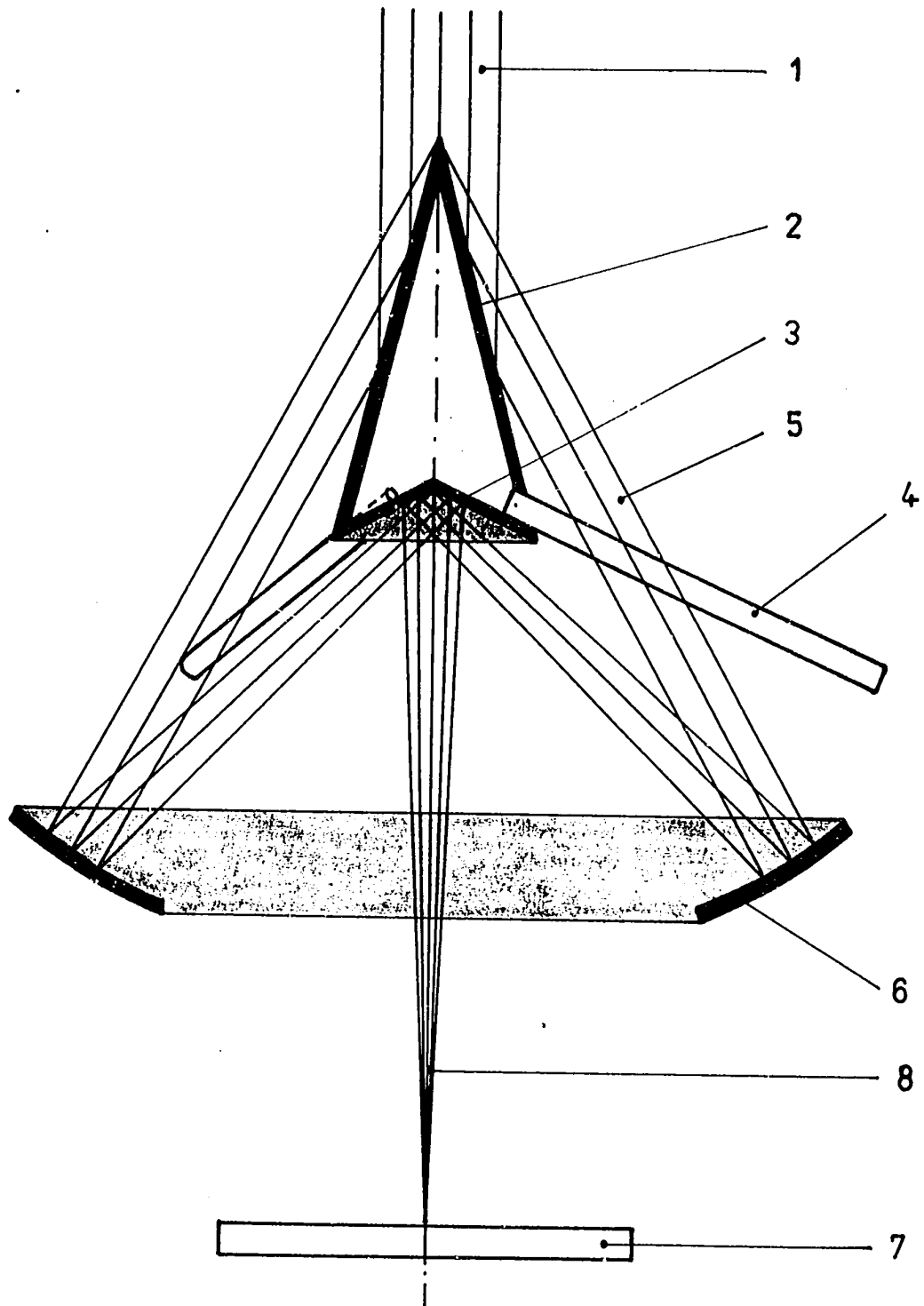
Zur Erzeugung von aufgeweiteten oder aufgeweiteten und fokussierten Laserstrahlen besitzen in weiterer Ausbildung der Erfindung gemäß Fig. 1 und Fig. 2 der kegelförmige Spiegel 2 eine konvexe und der kegelstumpfmantelförmige Spiegel 6 und/oder der kegelstumpfmantelförmige Spiegel 3 eine entsprechend ausgebildete konkave Oberflächenkontur.

Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 erfolgt durch die dargestellte Anordnung ein Aufweiten und Fokussieren des einfallenden Laserstrahlbündels 1. Das einfallende Laserstrahlbündel 1 wird zunächst ebenfalls in bekannter Weise von einem kegelförmigen Spiegel 2 mit gerader Oberflächenkontur radialsymmetrisch reflektiert. Der entstehende kegelstumpfmantelförmige Laserstrahl 5 wird durch Reflexion an einem kegelstumpfmantelförmigen Spiegel 6 mit konvexer Oberflächenkontur zu einem hohlkegelförmigen Laserstrahl mit sich aufweitender Wanddicke geformt und durch einen weiteren kegelstumpfmantelförmigen Spiegel 3, der mit dem kegelstumpfmantelförmigen Spiegel 2 gleichgerichtet ist und eine konstruktive Einheit bildet, zu einem auf das Werkstück 7 gerichteten fokussierten Laserstrahl 8 reflektiert.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 wird der durch die in bekannter Weise erfolgende Reflexion des einfallenden, achsenparallelen Laserstrahls 1 an einem ersten kegelförmigen Spiegel 2 mit gerader Oberflächenkontur entstehende hohlkegelförmige Laserstrahl 5 durch die weitere Reflexion an einem kegelstumpfmantelförmigen Spiegel 6 mit gerader Oberflächenkontur auf einen zweiten kegelförmigen Spiegel 3, der dem ersten kegelförmigen Spiegel 2 entgegengesetzt gerichtet ist, mit diesem eine konstruktive Einheit bildet und eine konkave Oberflächenkontur besitzt, gelenkt und als leistungsflußdichte- und flächeninvertierter Laserstrahl 8 auf die Oberfläche des Werkstückes 7 fokussiert.

In weiterer Ausbildung der Erfindung nach Fig. 4 besitzen zur Erzielung einer langen Brennweite der kegelstumpfmantelförmige Spiegel 6 eine konkave und der zweite kegelförmige Spiegel 3 eine gerade Oberflächenkontur und zur Erzeugung von aufgeweiteten, homogenisierten und wahlweise fokussierten Laserstrahlen ist die Oberflächenkontur des kegelförmigen Spiegels 2 oder des kegelstumpfmantelförmigen Spiegels 6 konvex und des kegelförmigen Spiegels 3 konkav oder die Oberflächenkontur des kegelförmigen Spiegels 2 ist konvex, des kegelstumpfmantelförmigen Spiegels 6 ist konkav und des kegelförmigen Spiegels 3 ist konkav oder gerade ausgebildet.

Die Kühlung der kegelförmigen Spiegel 2 und 3 erfolgt bei Ausführungsbeispielen entsprechend der Figuren 1 bis 4 durch die Zu- und Ableitung eines geeigneten Kühlmediums durch die rohrförmigen mit linsenförmigem Querschnitt ausgebildeten und um 120° zueinander versetzt angeordneten Spiegelhalterungen 4. Die kegelstumpfmantelförmigen Spiegel 6 werden zur entsprechenden Kühlung doppelwandig ausgeführt bzw. besitzen auf der Rückseite aufgebrachte Rohrschlangen.



Figur 1

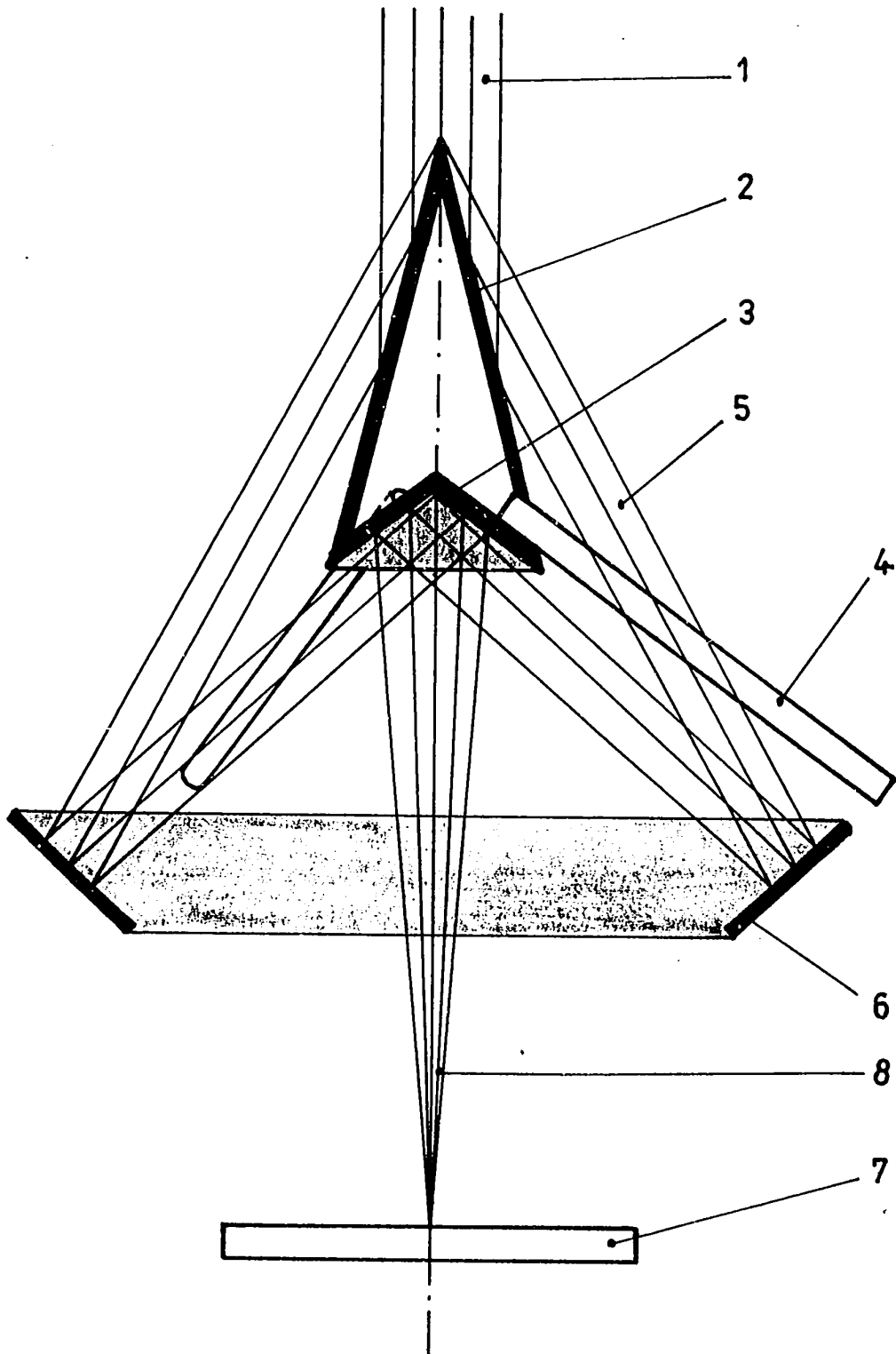
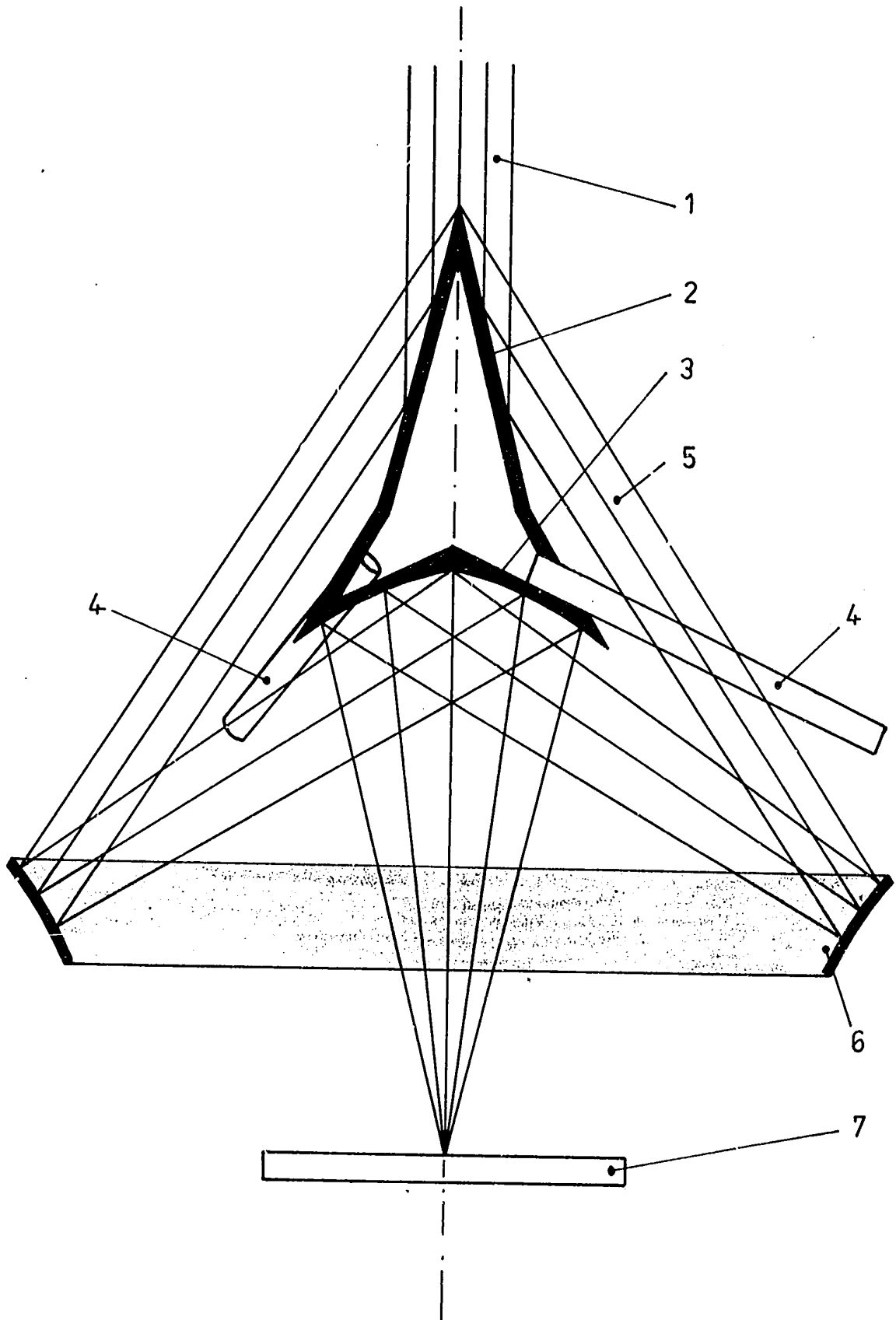
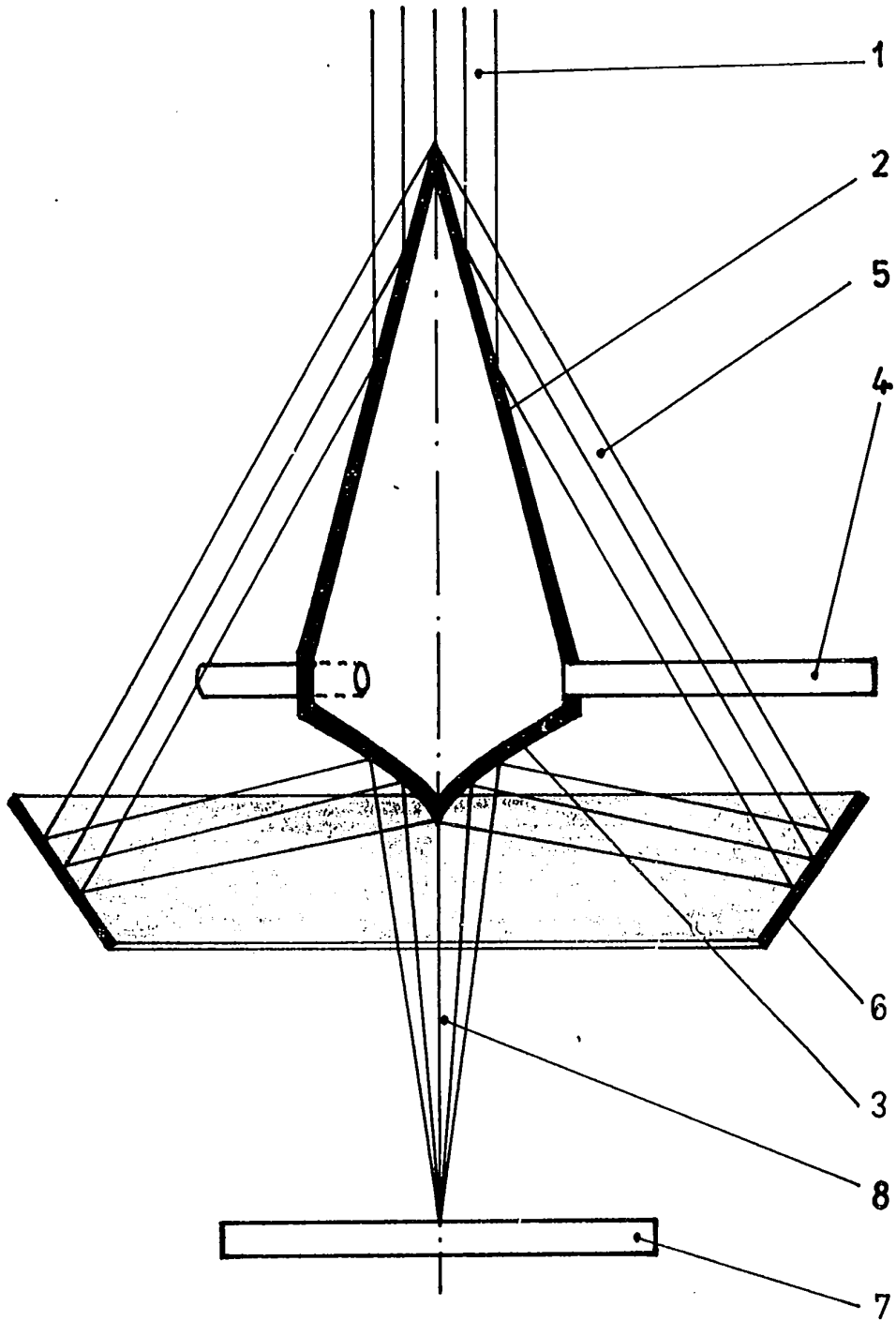


Figure 2



Figur 3



Figur 4