



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 601 00 877 T2 2004.09.09

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 172 906 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 601 00 877.4

(96) Europäisches Aktenzeichen: 01 111 721.5

(96) Europäischer Anmeldetag: 15.05.2001

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 16.01.2002

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 01.10.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 09.09.2004

(51) Int Cl.⁷: H01S 5/14

H01S 3/106

(73) Patentinhaber:

Agilent Technologies, Inc. (n.d.Ges.d.Staates
Delaware), Palo Alto, Calif., US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(74) Vertreter:

Barth, D., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 71083 Herrenberg

(72) Erfinder:

Steffens, Wolf, 71083 Herrenberg, DE

(54) Bezeichnung: Optische Anordnung zum Auskoppeln von Licht

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Auskoppeln von Licht z. B. von einer Laserkavität.

[0002] Heute basieren die meisten DWDM Komponententestsysteme für Hochdynamikbereich auf einer durchstimmhbaren Laserquelle (tunable laser source – TLS), welche eine optische Ausgabe mit Niedrigquellenspontanemission (source spontaneous emission – SSE) verwendet. Ein Laserstrahl kann ein verbessertes Signal/Rauschen-Verhältnis (signal to noise ratio – SNR) aufweisen, wenn er direkt hinter einer wellenlängenselektierenden Vorrichtung gekoppelt ist wie z. B. beschrieben in EP-A-921614. Solche Ausgaben werden im folgenden als „Low-SSE output“ bezeichnet.

[0003] US-A-5,499,134 beschreibt eine optische Pulsverstärkung, welche chirped Bragg- Gitter verwendet. US-A-5,511,086 beschreibt einen „travelling wave“-Halbleiterlaser mit einer rauscharmen und schmalbandigen externen Kavität für kohärente Frequenz- und Zeitbereichsreflektometrie.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0004] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, optische Lasersysteme, in denen Licht auskoppelt wird, weiter zu verbessern, vorzugsweise in Kavitätssystemen, um maximale Ausgabeenergie bei minimaler SSE zu liefern. Die Aufgabe wird gelöst durch die unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Ausführungen werden durch die abhängigen Ansprüche gezeigt.

[0005] Das Hauptproblem bei Verwendung eines Strahltellers als Ausgabekoppler in einer Kavitätsanordnung ist, dass nicht nur der gewünschte Strahl (z. B. der Low-SSE-Output) von einer Richtung auskoppelt wird, sondern auch eine vergleichbare Menge an Licht, welche sich in die andere Richtung ausbreitet, an der gegenüberliegenden Seite des Strahltellers ausgekoppelt wird. Diese „unerwünschte“ Ausgabe kann verwendet werden oder auch nicht, wird aber nichts desto Trotz die Leistung des Lasers abschwächen.

[0006] Die vorliegende Erfindung wird in Anspruch 1 definiert. Sie liefert ein Instrument zum richtungsabhängigen Auskoppeln von Licht, so dass Licht, welches in verschiedene Richtungen läuft, mit verschiedenen Kopplungsverhältnissen ausgekoppelt werden kann.

[0007] Ein richtungsabhängiges Auskoppeln von Licht wird hergestellt durch eine Auskopplungsanordnung mit einem ersten Polarisationskonverter, einer polarisationsabhängigen Kopplungsvorrichtung und einem zweiten Polarisationskonverter.

[0008] Wenn im Betrieb ein erster, sich in eine erste Richtung ausbreitender Strahl an die Auskopplungs-

vorrichtung gekoppelt wird, wird der erste Lichtstrahl mit einem ersten Polarisationszustand an den ersten Polarisationskonverter geschickt, um den ersten Polarisationszustand auf eine erste Weise in einen zweiten Polarisationszustand zu konvertieren. Der erste Lichtstrahl mit dem zweiten Polarisationszustand wird dann an die polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung, wie ein polarisationsabhängiger Strahlteller, geschickt. Die polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung dient zum Auskoppeln eines Teils des einfallenden Lichtstrahls, wobei der Teil des ausgekoppelten Lichts durch den Polarisationszustand des einfallenden Lichtstrahls definiert wird. Abhängig von dem zweiten Polarisationsstatus wird ein erster Lichtstrahl als ein erster Ausgabestrahl durch die polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung ausgekoppelt. Der verbleibende Anteil des ersten Lichtstrahls wird an den zweiten Polarisationskonverter geschickt, um den zweiten Polarisationszustand auf eine zweite Weise in einen dritten Polarisationszustand zu konvertieren.

[0009] Wenn im Betrieb ein zweiter, sich in eine zweite – von der ersten verschiedenen – Richtung ausbreitender Strahl an die Auskopplungsvorrichtung gekoppelt wird, wird der zweite Lichtstrahl, der einen vierten Polarisationszustand hat, an den zweiten Polarisationskonverter geschickt, um den vierten Polarisationszustand auf eine zweite Weise in einen fünften Polarisationszustand zu konvertieren. Der zweite Lichtstrahl mit dem fünften Polarisationszustand wird dann an die polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung geschickt, welche abhängig von dem fünften Polarisationszustand einen Teil des zweiten Lichtstrahls als zweiten Ausgabestrahl auskoppelt. Der verbleibende Teil des zweiten Lichtstrahls wird dann an den ersten Polarisationskonverter geschickt, um den fünften Polarisationszustand in einer ersten Weise in einen sechsten Polarisationszustand zu konvertieren.

[0010] So wird klar, dass die Kopplungsverhältnisse für den ersten und zweiten Ausgabestrahl definiert werden können durch Justieren oder Modifizieren mindestens eines der folgenden Parameter: das polarisationsabhängige Kopplungsverhältnis der polarisationsabhängigen Kopplungsvorrichtung, der erste und vierte Polarisationszustand und die erste und zweite Polarisationskonvertierungsweise, welche durch den ersten und zweiten Polarisationskonverter erfolgt.

[0011] In einer vorteilhaften Ausführung, in der der erste und zweite Lichtstrahl linear polarisiert werden, sind der erste und zweite Polarisationskonverter Polarisationsrotoren. Der erste Polarisationsrotor rotiert den ersten Polarisationszustand durch einen ersten Rotationswinkel zum zweiten Polarisationszustand. Abhängig von dem zweiten Polarisationszustand wird ein Teil des ersten Lichtstrahls als erster Ausgabestrahl durch die polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung ausgekoppelt, und der verbleibende Teil des ersten Lichtstrahls wird an den zweiten Pola-

risationsrotor geschickt, um den zweiten Polarisationszustand durch einen zweiten Rotationswinkel zu einem dritten Polarisationszustand zu rotieren.

[0012] Dementsprechend rotiert der zweite Polarisationsrotor den vierten Polarisationszustand des zweiten Lichtstrahls durch den zweiten Rotationswinkel in den fünften Polarisationszustand. Abhängig von dem fünften Polarisationszustand, koppelt die polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung einen Teil des zweiten Lichtstrahls als zweiten Ausgabestrahl aus. Der verbleibende Teil des zweiten Lichtstrahls wird an den ersten Polarisationsrotor geschickt, um den fünften Polarisationszustand durch den ersten Rotationswinkel in den sechsten Polarisationszustand zu rotieren.

[0013] Die Kopplungsverhältnisse für den ersten und zweiten Ausgabestrahl können daher definiert werden durch Justieren des polarisationsabhängigen Kopplungsverhältnisses des polarisationsabhängigen Strahlteilers in den ersten und vierten Polarisationszustand und entsprechendes Definieren des ersten und zweiten Rotationswinkels.

[0014] Die Erfindung wird in einer Kavitätsstruktur verwendet, in der das Licht in zwei (entgegengesetzten) Richtungen zwischen zwei Endpunkten läuft. Wenn ein Polarisationszustand im Wesentlichen bei Rückkehr von einem solchem Endpunkt aufrechterhalten wird, stimmen der erste und sechste Polarisationszustand im Wesentlichen überein. Entsprechend stimmen auch der dritte und vierte Polarisationszustand im Wesentlichen überein. Der erste und zweite Polarisationszustand werden vorzugsweise mit 45° ausgewählt, so dass der Polarisationszustand des Lichts in jeder Richtung um insgesamt 90° gedreht wird. Daher ist der vierte Polarisationszustand 90° verschieden von dem ersten Polarisationszustand, oder – in anderen Worten, der Polarisationszustand des einfallenden ersten Lichtstrahls ist 90° verschieden von dem Polarisationszustand des einfallenden zweiten Lichtstrahls (von der anderen Seite).

[0015] Da der erste und zweite Rotationswinkel 45° sind, empfängt der polarisationsabhängige Strahlteiler Lichtstrahlen in den verschiedenen Richtungen mit 90° Unterschied in dem Polarisationszustand. Der polarisationsabhängige Strahlteiler ist vorzugsweise so gestaltet, dass das Kopplungsverhältnis für eine Richtung des einfallenden Strahls auf einen gewünschten Wert justiert wird (z. B. maximales Auskoppeln), während das Kopplungsverhältnis für die andere Richtung (mit 90° Unterschied in dem Polarisationszustand) des einfallenden Lichts minimal ist, vorzugsweise im Wesentlichen null. Daher kann Licht, welches in eine Richtung läuft mit maximalem Kopplungsverhältnis ausgekoppelt werden, während in die andere Richtung laufendes Licht (im Wesentlichen) nicht ausgekoppelt wird. Jedoch können andere Auskopplungsverhältnisse für die verschiedenen Richtungen auch entsprechend angewendet werden.

[0016] In einer vorteilhaften Ausführung wird die

Auskopplungsanordnung gemäß der Erfindung, bestehend aus der polarisationsabhängigen Kopplungsvorrichtung, welche zwischen dem ersten und zweiten Polarisationskonverter gekoppelt ist, angewendet in einer externen Kavität eines wellenlängendurchstimmmbaren Lasers. Der wellenlängendurchstimmbare Laser weist ein Lasermedium, vorzugsweise einen Halbleiterlaser, sowie einen wellenlängenabhängigen Filter auf. Die Auskopplungsvorrichtung nach der Erfindung wird vorzugsweise nahe beim wellenlängenabhängigen Filter so angeordnet, dass ein Teil des Lichts, welches von dem wellenlängenabhängigen Filter zurückkommt, mit dem maximalen Kopplungsverhältnis ausgekoppelt wird, während Licht, welches zu dem wellenlängenabhängigen Filter läuft, nicht ausgekoppelt wird oder lediglich mit dem minimalen Kopplungsverhältnis. Daher kann ein hochreiner Ausgabestrahl geliefert werden, ohne wie in konventionellen Strahlteileranordnungen einen weiteren oder unerwünschten Ausgabestrahl zu „verschwinden“.

[0017] Jeder dieser Polarisationskonverter kann vorzugsweise in einem nach Stand der Technik bekannten Faraday-Rotor ausgeführt sein.

[0018] Ein Verzögerer (vorzugsweise eine U4 Platte) kann auch angewendet werden, z. B. für den zweiten Polarisationskonverter, welcher eine kreisförmig polarisierte Ausgabe generiert, wenn er linear polarisiertes Licht aus einer Richtung empfängt. Wenn der Verzögerer (aus der anderen Richtung) ebenfalls kreisförmig polarisiertes Licht empfängt, allerdings mit entgegen gesetzter Rotationsrichtung, wird der Verzögerer dieses ebenfalls polarisieren in linear polarisiertes Licht mit 90° Phasenverschiebung im Hinblick auf die Eingabe des Verzögerers von der andern Seite. Wenn eine Reflektionsvorrichtung (wie ein Spiegel) angewendet wird z. B. zum Konvertieren des ersten Lichtstrahls in einen zweiten Lichtstrahl, wird die kreisförmige Polarisation im Wesentlichen aufrechterhalten, jedoch mit entgegengesetzten Richtungen.

[0019] Klar ist, dass die Auskopplungsanordnung nach der Erfindung nicht begrenzt ist auf Anwendungen, bei denen der erste und vierte Polarisationszustand des ersten und zweiten Lichtstrahls konstant sind (gehalten werden). Das erfindungsgemäße Auskoppeln funktioniert auch für variierende Polarisationszustände und/oder Mischungen von linear und kreisförmig polarisiertem Licht, wobei das Auskoppeln (die Auskopplungsverhältnisse) dann solchen Variationen unterworfen sein können oder von dem Mischungsverhältnis abhängen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] Andere Aufgaben und viele der begleitenden Vorteile der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden gewürdigt und besser verständlich durch Hinzuziehen der folgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den begleitenden Zeichnun-

gen. Merkmale, die im Wesentlichen oder funktional gleich oder ähnlich sind, werden mit denselben Referenzzeichen bezeichnet.

[0021] **Fig. 1A** und **1B** zeigen in schematischer Sicht die vorliegende Erfindung, angewendet in einem Beispiel eines externen Kavitätslasers mit hoher Energie und „low SSE“.

[0022] **Fig. 2** zeigt Eigenschaften des polarisationsabhängigen Strahlteilers.

[0023] **Fig. 3** zeigt eine weitere Leistungsverbesserung durch Herstellen einer wellenlängenabhängigen Reflektion für den polarisationsabhängigen Strahlteiler **30**.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0024] In **Fig. 1A** wird ein erster Polarisationsrotor **10** (vorzugsweise ein U4 Verzögerer) verwendet, um eine Polarisation eines Lichtstrahl- ausgebenden Laserchip **20** auf 45° zu rotieren. Ein polarisierender Strahlteiler **30** wird auf eine solche Weise angepasst, dass alles Licht (von der Richtung des Laserchips **20**) transmittiert wird. Ein zweiter Polarisationsrotor **40** (vorzugsweise auch ein U4 Verzögerer) rotiert die Polarisation auf 90° im Hinblick auf den Strahl von dem Laserchip **20**. Das Licht, das einen wellenlängendurchstimmhbaren Filter **50** durchläuft, durchquert wiederum den Polarisationsrotor **40**. Nun, auf dem Rückweg, ist die Polarisation am Strahlteiler **30** senkrecht zu dem Licht, welches sich auf dem anderen Weg ausbreitet, so dass der polarisierende Strahlteiler **30** (als Ausgabestrahl **60**) nur einen Teil des Lichts auskoppelt, welches in Richtung von dem wellenlängendurchstimmhbaren Filter **50** kommt. Nach erneutem Durchlaufen des ersten Polarisationsrotors **10** hat die Polarisation des Lichts, welches zurück an den Laserchip gegeben wird, die ursprüngliche Richtung.

[0025] Abhängig von der Konfiguration und dem Design der Laserkavität kann von dem wellenlängendurchstimmhbaren Filter **50** eine weitere Ausgabe **70** abgeleitet werden, und/oder eine weitere Ausgabe **80** kann abgeleitet werden durch Liefern einer teilweise transparenten Rückseite für den Laserchip **20**. Licht brechende Linsen **90** und **100** können zum Brechen von Licht, das von dem Laserchip **20** ausgegeben wird, zur Verfügung gestellt werden.

[0026] Die Polarisationszustände in der Anordnung der **Fig. 1A** werden dargestellt als Beispiel für vertikal polarisiertes Licht **100**, das von dem Laserchip **20** ausgegeben wird. Der erste Polarisationsrotor **10** rotiert die Polarisation um 45° (Bogen **120**). Der polarisierende Strahlteiler **30** wird justiert, dass alles Licht mit Polarisation des Bogens **120** transmittiert wird. Der zweite Polarisationsrotor **40** rotiert die Polarisation erneut um 45° (Bogen **130**), so dass der Strahl, der zu dem wellenlängendurchstimmhbaren Filter **50** läuft, horizontal polarisiert wird.

[0027] Wenn derwellenlängendurchstimmbare Fil-

ter **50** nicht (im Wesentlichen) den Polarisationszustand ändert, hat die Polarisation des Lichts, welches von dem wellenlängendurchstimmhbaren Filter **50** an den zweiten Polarisationsrotor **40** zurückkehrt, immer noch die vertikale Polarisation des Bogens **130**. Der zweite Polarisationsrotor **40** rotiert die Polarisation erneut um 45° (Bogen **140**), so dass der Polarisationszustand **140** des Lichts, welches von dem wellenlängendurchstimmhbaren Filter **50** zu dem Strahlteiler **30** zurückkehrt, senkrecht ist im Hinblick auf den Polarisationszustand **120** des Lichts von dem Laserchip **20**. Der Polarisationssteiler **30** koppelt (als Ausgabestrahl **60**) einen Teil des Lichts mit dem Polarisationszustand **140** aus. Nach erneutem Durchlaufen des Polarisationsrotors **10** hat die Polarisation des Lichts, welches an den Laserchip **20** zurückgegeben wird, die ursprüngliche Richtung **110**.

[0028] Die Ausführung der **Fig. 1B** unterscheidet sich von **Fig. 1A** nur dadurch, dass der Strahlteiler **30** so angeordnet ist, dass der Ausgabestrahl **60** geliefert wird durch den Strahl, der den Strahlteiler **30** transmittiert, während der Strahl, der durch den Strahlteiler **30** reflektiert wird, in der Kavität aufrechterhalten wird. Die zeigt, dass der Begriff ‚entgegengesetzte Richtungen‘ nicht wörtlich zu verstehen ist, sondern in einem weiteren Sinn und im Hinblick auf die jeweilige Ausführung zu interpretieren ist.

[0029] Die Eigenschaften des Strahlteilers **30** werden in **Fig. 2** gezeigt. Ein einfallender Strahl mit einem Polarisationszustand **P** wird mit geringer Abschwächung transmittiert. Ein Strahl mit einer Polarisation **S** senkrecht zu **P** breitete sich von der entgegengesetzten Richtung aus und wird teilweise reflektiert. Dieser reflektierte Strahl wird ausgekoppelt und kann z. B. verwendet werden als Low-SSE output. Der andere Teil des Strahls wird durch den Strahlteiler **30** transmittiert und in den Laserchip **20** zurückgegeben.

[0030] Die Leistung der optischen Ausgabeenergie des Ausgabestrahls **60** kann weiter verbessert werden durch Justieren der Eigenschaften des polarisierenden Strahlteilers **30** im Hinblick auf die Verstärkungscharakteristik des Laserchip **20**, wie detailliert beschrieben in US-A-5,434,874. Der Durchstimmungsbereich so wie die Ausgabeenergie des Lasers mit externer Kavität kann bedeutend erhöht werden durch Anwenden einer Beschichtung mit wellenlängenabhängiger Reflektion **R**, die im Wesentlichen mit der Verstärkungscharakteristik des Laserchip **20** übereinstimmt. Ein Beispiel einer solch verbesserten Strahlteiler- **30**- Eigenschaft wird in **Fig. 3** gezeigt. Dieses wellenlängenabhängige Auskoppeln verbessert die optische Ausgabeenergie an den Enden der Laser-durchstimmenden Kurve, ohne die Ausgabeenergie in den zentralen Wellenlängen negativ zu beeinflussen. Dies erhöht zudem den Durchstimmungsbereich des Lasers, während gleichzeitig hohe Ausgabeenergie für jede ausgewählte Ausgabewellenlänge aufrechterhalten wird.

Patentansprüche

1. Eine optische Kavität, in welcher Licht zwischen zwei Endpunkten resoniert, wobei die Kavität eine optische Anordnung (**10, 30, 40**) aufweist für richtungsabhängiges Auskoppeln von Licht innerhalb der Kavität und die optische Anordnung (**10, 30, 40**) folgendes umfasst:

einen ersten Polarisationskonverter (**10**), der angepasst ist, den Polarisationszustand des Lichts, welches vom ersten Polarisationskonverter (**10**) empfangen wurde, in einer ersten Weise zu konvertieren, einen zweiten Polarisationskonverter (**40**), der angepasst ist, den Polarisationszustand des Lichts, welches von dem zweiten Polarisationskonverter (**40**) empfangen wurde, in einer zweiten Weise zu konvertieren,

eine polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung (**30**), welche angepasst ist, einen Teil des Lichts, das von der Kopplungsvorrichtung (**30**) empfangen wurde, auszukoppeln, wobei das Verhältnis des ausgekoppelten Teils im Wesentlichen abhängt von dem Polarisationszustand des Lichts, welches von der Kopplungsvorrichtung (**30**) empfangen wurde, wobei: die polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung (**30**) zwischen dem ersten (**10**) und dem zweiten (**40**) Polarisationskonverter angeordnet ist, die optische Anordnung (**10, 30, 40**) angepasst ist, von verschiedenen Seiten Lichtstrahlen zu empfangen, welche sich in verschiedene Richtungen ausbreiten, und die Eigenschaften des ersten (**10**) und des zweiten Polarisationskonverters (**40**) angepasst sind, so dass die polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung (**30**) Lichtstrahlen empfängt, welche sich mit verschiedenen Polarisationszuständen in verschiedene Richtungen ausbreiten.

2. Die optische Kavität nach Anspruch 1, wobei der erste Polarisationskonverter (**10**) angepasst ist, den Polarisationszustand durch einen ersten Rotationswinkel durchzustimmen und der zweite Polarisationskonverter (**40**) angepasst ist, den Polarisationszustand durch einen zweiten Rotationswinkel durchzustimmen.

3. Die optische Kavität nach Anspruch 2, wobei der erste und der zweite Rotationswinkel im Wesentlichen 45° beträgt.

4. Die optische Kavität nach Anspruch 1 oder einem der oben genannten Ansprüche, wobei die polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung (**30**) einen polarisationsabhängigen Strahlteiler aufweist.

5. Die optische Kavität nach Anspruch 1 oder einem der oben genannten Ansprüche, wobei die polarisationsabhängige Kopplungsvorrichtung (**30**) angepasst ist für im Wesentlichen volles Transmittieren von Licht mit einem ersten Polarisationszustand, während ein maximaler Teil des Lichts mit einem Po-

larisationszustand welcher senkrecht zu dem ersten Polarisationszustand ist, ausgekoppelt wird.

6. Eine wellenlängendurchstimmmbare Laserquelle mit:
einem Lasermedium (**20**),
einem wellenlängenabhängigen Filter (**50**), und
der optischen Kavität nach Anspruch 1 oder einem der oben genannten Ansprüche, wobei die optische Anordnung (**10, 30, 40**) angeordnet ist, den wellenlängenabhängigen Filter (**50**) zu schließen und so angepasst ist, dass ein erster Teil des Lichts, welches von dem wellenlängenabhängigen Filter (**50**) zurückkommt, ausgekoppelt wird und ein zweiter Teil des Lichts, welcher den wellenlängenabhängigen Filter (**50**) durchläuft, ausgekoppelt wird, wobei der erste Teil bedeutend größer ist als der zweite Teil.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

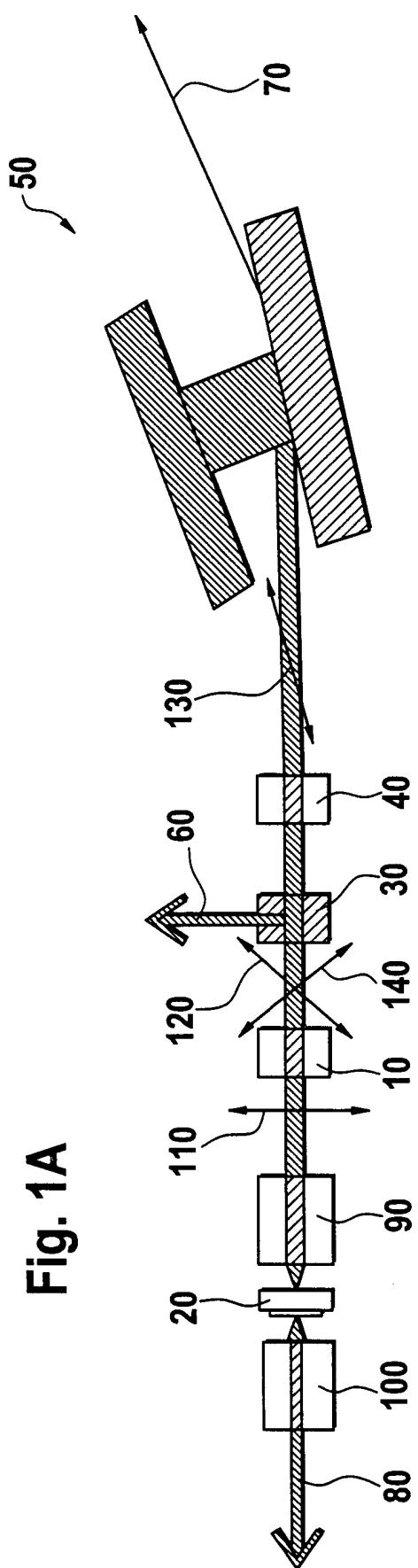
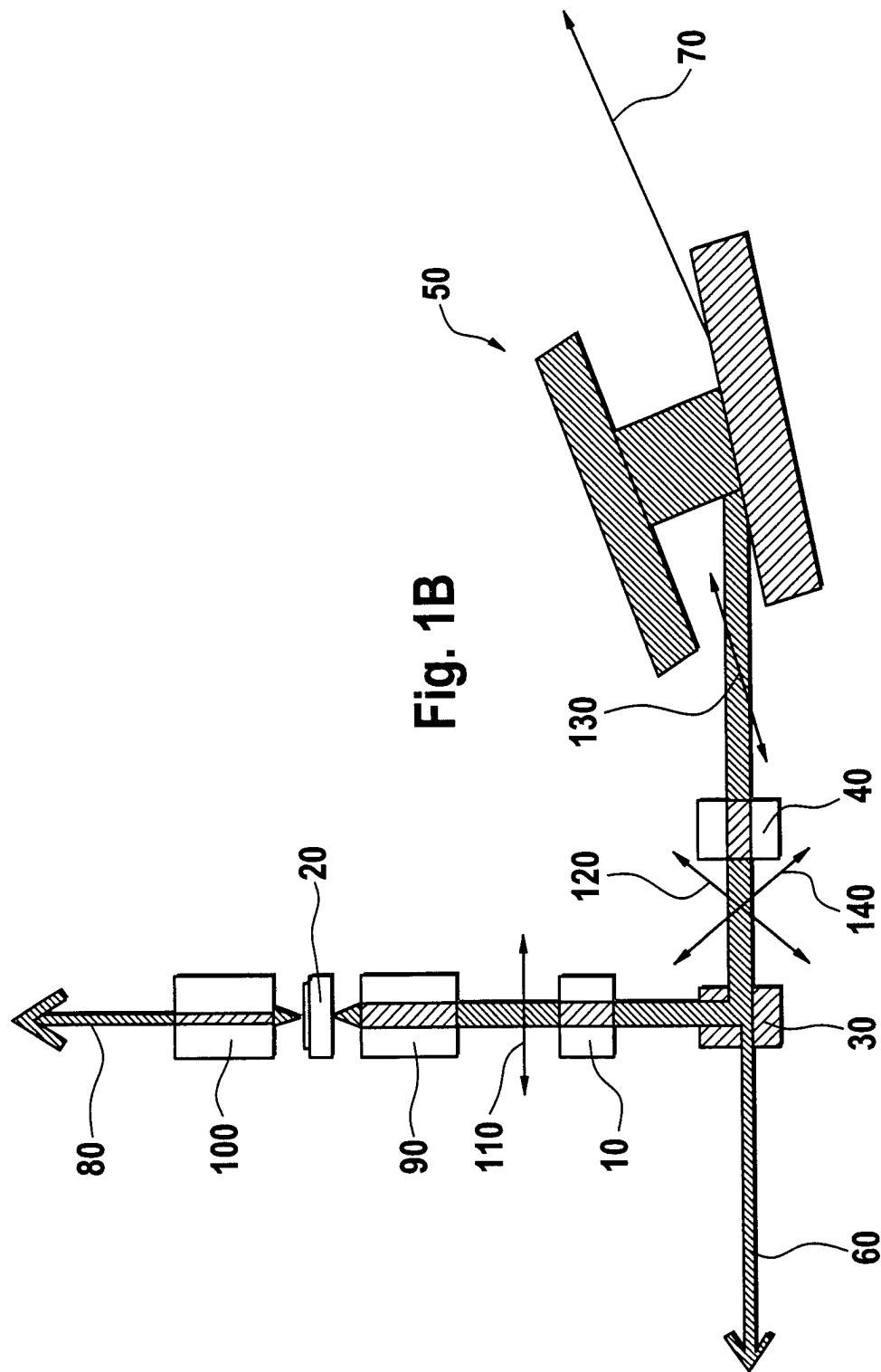


Fig. 1B



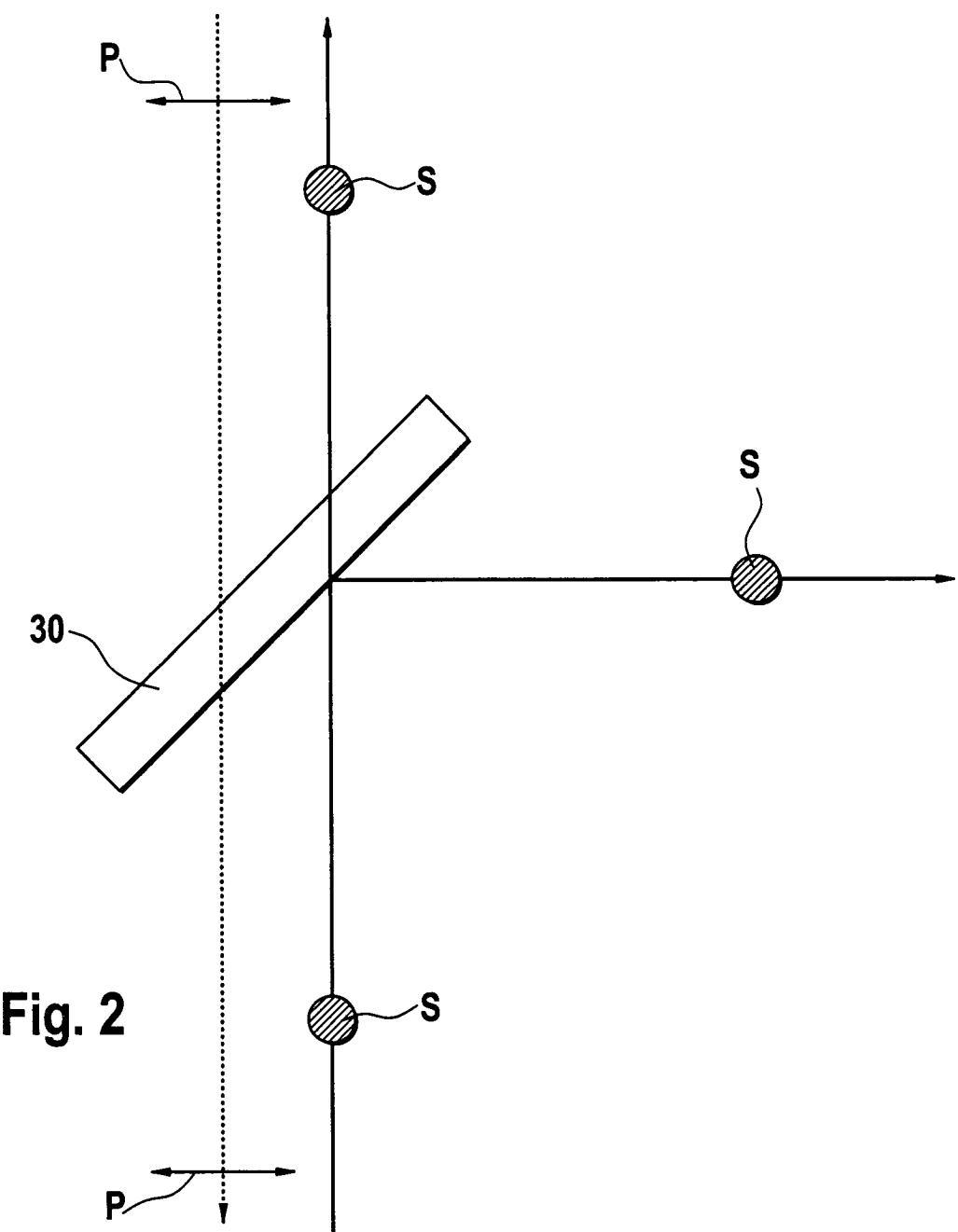


Fig. 2

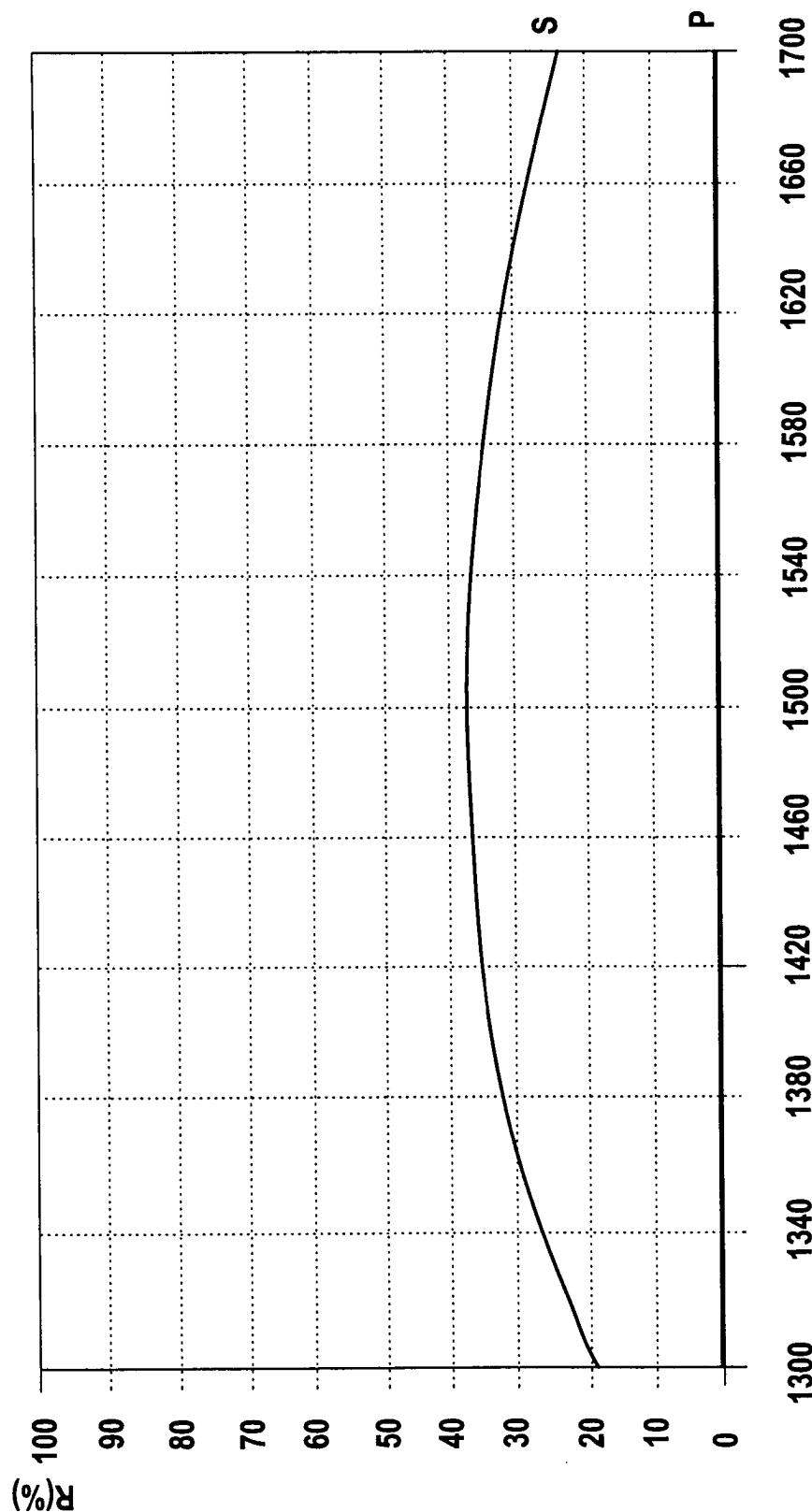


Fig. 3 λ (nm)