



(10) **DE 10 2023 135 111 B4** 2026.01.29

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2023 135 111.7**
(22) Anmeldetag: **14.12.2023**
(43) Offenlegungstag: **18.06.2025**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **29.01.2026**

(51) Int Cl.: **H01S 5/50** (2006.01)
H01S 5/06 (2006.01)
H01S 5/024 (2006.01)
H01S 5/026 (2006.01)
H01S 5/20 (2006.01)
G02B 6/10 (2006.01)
G02F 1/01 (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:
**Ferdinand-Braun-Institut gGmbH, Leibniz- Institut
für Höchstfrequenztechnik, 12489 Berlin, DE**

(74) Vertreter:
**Gulde & Partner Patent- und
Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10785 Berlin, DE**

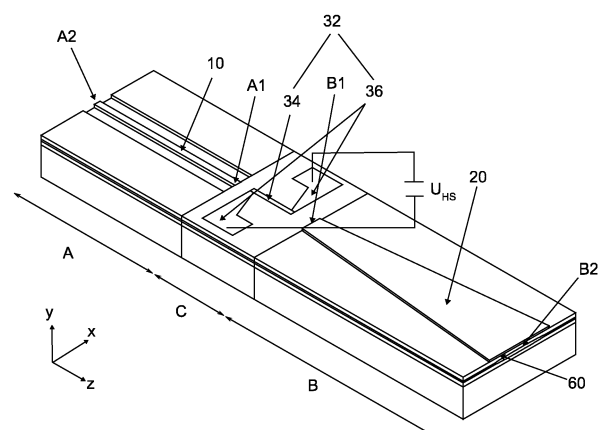
(72) Erfinder:
**Hildenstein, Philipp, 10318 Berlin, DE; Werner,
Nils, 10318 Berlin, DE; Feise, David, Dr., 12103
Berlin, DE; Blume, Gunnar, Dr., 12524 Berlin, DE;
Paschke, Katrin, Dr., 14552 Michendorf, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2018 / 0 205 200	A1
US	5 539 571	A

(54) Bezeichnung: **Laserverstärkersystem und Laseranordnung**

(57) Hauptanspruch: Laserverstärkersystem, umfassend:
einen Wellenleiterbereich (A) mit einem Wellenleiter (10) zur
Führung von Laserstrahlung;
einen Verstärkerbereich (B) mit einem Verstärker (20),
wobei der Verstärkerbereich (B) derart ausgebildet ist, dass
die Laserstrahlung aus einem ersten Ende (A1) des Wellen-
leiters (10) in eine Eingangsseite (B1) des Verstärkers (20)
eingekoppelt wird; und
einen Zwischenbereich (C) zwischen dem ersten Ende (A1)
des Wellenleiters (10) und der Eingangsseite (B1) des Ver-
stärkers (20), wobei der Zwischenbereich (C) zur Bereitstel-
lung einer variablen thermischen Linse (30) für eine steuer-
bare Anpassung der in den Verstärker (20) überkoppelten
Laserstrahlung ausgebildet ist;
wobei die Bereitstellung der variablen thermischen Linse
(30) über eine optische Erwärmung des Zwischenbereichs
(C) erfolgt oder der Zwischenbereich (C) zur Bereitstellung
der variablen thermischen Linse (30) über eine elektrischen
Erwärmung des Zwischenbereichs (C) ein auf den Zwi-
schenbereich (C) aufgebrachtes ohmsches Widerstandsele-
ment (32) als ein Mittel zur lokalen Erwärmung des Zwi-
schenbereichs (C) umfasst.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Laserverstärkersystem und eine Laseranordnung, insbesondere ein strahltechnisch steuerbares Laserverstärkersystem und eine das erfindungsgemäße Laserverstärkersystem umfassende Laseranordnung.

Stand der Technik

[0002] Laserverstärker werden zur Verstärkung einer darin eingekoppelten Laserstrahlung genutzt. Die Laserverstärker können dabei als einzelnes Element oder als integrierter Bestandteil eines Lasers ausgebildet sein. Insbesondere halbleitertechnologisch integrierte auffächernde Verstärker (eng. „tapered amplifier“), welche als einzelnes Element mit Halbleiterlasern kombiniert oder als Teil derselben in einem gemeinsamen Halbleitersystem ausgebildet sein können, sind eine häufig anzutreffende Ausführungsform von Laserverstärkern. Die Verstärker sind als aktive Gebiete ausgebildet, innerhalb derer die Energie einer einfallenden Laserstrahlung um ein Vielfaches erhöht werden kann. Fächerförmige Verstärker zeichnen sich dadurch aus, dass sich deren Breite in lateraler Richtung von einer schmalen Eingangsseite zu einer breiteren Ausgangsseite hin verbreitert, wobei die Verbreiterung über entsprechende Randfunktionen frei strukturiert werden kann. Eine im Stand der Technik übliche Ausführungsform sind Trapezverstärker mit einem trapezförmigen Randbereich. Der Begriff „Trapez“ wird dabei jedoch teilweise in breiter Auslegung verstanden, so dass auch auffächernde Verstärker mit einer von einer geometrischen Trapezstrukturen abweichenden Verbreiterung (bzw. ganz allgemein Verstärker mit einem veränderlichen lateralen Querschnitt) mit umfasst sein können. Obwohl die vorliegende Offenbarung sich insbesondere auf auffächernde Verstärker bzw. Trapezverstärker bezieht, ist diese ausdrücklich nicht auf solche Verstärkertypen beschränkt.

[0003] Die besagten Trapezverstärker werden beispielsweise als Verstärker in Trapezlasern eingesetzt. Die Verwendung solcher Verstärker ist jedoch anspruchsvoll, da dessen räumlich-optische Eigenschaften (insbesondere die Position der lateralen Strahltaile) direkt vom eingestellten Arbeitspunkt abhängen (siehe z. B. Fiebig, C. et al., 12W high-brightness single-frequency DBR tapered diode laser, Electron. Lett. 44, 1253-1255 (2008)). Der Arbeitspunkt wird dabei über den eingestellten elektrischen Stromfluss durch den Verstärker definiert. Für unterschiedlich festgelegte Arbeitspunkte müssen die verwendeten Linsen zur Aufbereitung der Strahlung dann jeweils neu positioniert werden, was je nach Anwendung einen erheblichen Arbeitsaufwand darstellen kann. Bei einer Verwendung dieser

Laser in Mikromodulen ist dies aufgrund der dort typischerweise fest verklebten Linsen im Allgemeinen auch überhaupt nicht möglich. Dieser Nachteil von bekannten Trapezlasern wird bisher durch einen genau festgelegten Arbeitspunkt umgangen. Damit ist die emittierte Ausgangsleistung im Betrieb jedoch ebenfalls weitgehend festgelegt und kann nicht sinnvoll verändert werden.

[0004] US 5 539 571 A betrifft eine differentiell gepumpte optische Halbleiter-Verstärkeranordnung mit einem Breitstreifenemitter und einen Hauptoszillator-Leistungsverstärker (MOPA), welcher eine solche Verstärkeranordnung verwendet. US 2018 / 0 205 200 A1 bezieht sich auf eine Laservorrichtung und insbesondere auf eine abstimmbare Laserdiode mit verteiltem Bragg-Reflektor, bei der eine Wellenlänge eines Laserlichtes elektrisch und thermisch abstimmbaar ist.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Laserverstärkersystem und eine Laseranordnung bereitzustellen, mit denen die Nachteile des Standes der Technik überwunden oder zumindest deutlich verringert werden können und bei denen die räumlich-optischen Eigenschaften nicht mehr vom Arbeitspunkt abhängen. Insbesondere sollen hierzu ein strahltechnisch optimiertes Laserverstärkersystem und eine das erfindungsgemäße Laserverstärkersystem umfassende Laseranordnung bereitgestellt werden.

[0006] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche 1 und 7 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen enthalten. Die in den Patentansprüchen einzeln aufgeführten Merkmale sind in technologisch sinnvoller Weise miteinander kombinierbar und durch erläuternde Sachverhalte aus der Beschreibung und/oder Details aus den Figuren ergänzbar, wobei weitere vorteilhafte Ausführungsvarianten der Erfindung aufgezeigt werden.

[0007] Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Laserverstärkersystem umfassend einen Wellenleiterbereich mit einem Wellenleiter zur Führung von Laserstrahlung; einen Verstärkerbereich mit einem Verstärker, wobei der Verstärkerbereich derart ausgebildet ist, dass die Laserstrahlung aus einem ersten Ende des Wellenleiters in eine Eingangsseite des Verstärkers eingekoppelt wird; und einen Zwischenbereich zwischen dem ersten Ende des Wellenleiters und der Eingangsseite des Verstärkers, wobei der Zwischenbereich zur Bereitstellung einer variablen thermischen Linse für eine steuerbare Anpassung der in den Verstärker überkoppelten Laserstrahlung ausgebildet ist, wobei die Bereitstel-

lung der variablen thermischen Linse über eine optische Erwärmung des Zwischenbereichs erfolgt oder der Zwischenbereich zur Bereitstellung der variablen thermischen Linse über eine elektrische Erwärmung des Zwischenbereichs ein auf den Zwischenbereich aufgebracht ohmsches Widerstandselement als ein Mittel zur lokalen Erwärmung des Zwischenbereichs umfasst.

[0008] Unter einem Verstärker wird im Rahmen dieser Offenbarung jede Form eines aktiven Bereichs zur Laserverstärkung verstanden. Es kann sich dabei insbesondere um einen allgemeinen auffächernden Verstärker und im Speziellen um einen („echten“) Trapezverstärker mit einem trapezförmig ausgebildeten Randbereich handeln. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf Trapezverstärker eingeschränkt und kann mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Verstärkertypen genutzt werden.

[0009] Wellenleiter und zugehörige Wellenleiterbereiche sind im Stand der Technik hinreichend bekannt und werden in vielfältiger Weise zur Wellenführung (Strahlungsleitung) eingesetzt. Dabei können die Wellenleiter als Strukturen mit (aktiv) und ohne (passiv) eine Verstärkungswirkung für die geführten Wellen ausgebildet sein. Auch sich daran anschließende Verstärker zur Verstärkung der im Wellenleiter geführten Wellen sind dem Fachmann (z. B. vom Trapezlaser) hinreichend bekannt. Zu Einzelheiten wird auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen.

[0010] Ein erfindungsgemäßes Laserverstärkersystem umfasst darüber hinaus einen Zwischenbereich zwischen dem ersten Ende des Wellenleiters und der Eingangsseite des Verstärkers, wobei der Zwischenbereich zur Bereitstellung einer variablen thermischen Linse für eine steuerbare Anpassung der in den Verstärker überkoppelten Laserstrahlung ausgebildet ist. Dies bedeutet, dass nach dem Auskoppeln einer geführten Strahlung aus dem Wellenleiter und vor dem Einkoppeln der Laserstrahlung in den Verstärkerbereich diese durch den Zwischenbereich transmittiert werden muss und dabei die Ausbreitung durch eine im Zwischenbereich ausbildbare thermische Linse beeinflusst werden kann. Die Ausbildung und Wirkung thermischer Linsen ist ebenfalls im Stand der Technik hinreichend bekannt und physikalisch vollständig verstanden.

[0011] Die vorliegende Erfindung ist auf die Anwendung einer solchen thermischen Linse bei der Überkopplung einer Laserstrahlung aus einem Wellenleiter in einen Verstärker, und insbesondere in einen auffächernden Verstärker bzw. einen Trapezverstärker, gerichtet. Über eine an den Arbeitspunkt des Verstärkers angepasste Ausbildung einer thermischen Linse im Zwischenbereich lassen sich die räumlich-optischen Eigenschaften der Laserstrah-

lung steuerbar beeinflussen. Die erfindungsgemäße Aufgabe wird somit gerade dadurch gelöst, dass ein Zwischenbereich mit einer steuerbaren thermischen Linse bereitgestellt wird, über die eine Anpassung der räumlich-optischen Eigenschaften der Laserstrahlung an den jeweiligen Arbeitspunkt des Verstärkers vorgenommen werden kann.

[0012] Vorzugsweise umfasst ein erfindungsgemäßes Laserverstärkersystem weiterhin ein Substrat; und eine auf dem Substrat angeordnete Halbleiterschichtstruktur, wobei der Wellenleiter im Wellenleiterbereich als Rippenwellenleiter in der Halbleiterschichtstruktur ausgebildet ist, der Verstärkerbereich als aktives Gebiet mit einer aktiven Schicht innerhalb der Halbleiter-Schichtstruktur und einer aufliegenden metallischen Kontaktschicht ausgebildet ist, und der Zwischenbereich ein Mittel zur lokalen Erwärmung des Zwischenbereichs umfasst. Die aktive Schicht kann sich über die gesamte Halbleiter-Schichtstruktur erstrecken oder auf die aktiven Gebiete beschränkt ausgebildet sein. Der beschriebene Aufbau des Verstärkerbereichs entspricht dem üblichen Aufbau beispielsweise von Trapezverstärkern im Stand der Technik. Das Substrat kann nach dem Erzeugen der Halbleiter-Schichtstruktur auch entfernt werden und ist somit nicht erfindungswesentlich.

[0013] Zur Ausbildung der thermischen Linse im Zwischenbereich ist ein Mittel zur lokalen Erwärmung des Zwischenbereichs vorgesehen. Durch eine lokale Erwärmung der Halbleiter-Schichtstruktur kommt es über den thermo-optischen Effekt zu einer Änderung der Brechzahl in diesem Bereich, wodurch über den Gradient des sich einstellenden Wärmestroms unmittelbar der räumliche Brechzahlverlauf der sich dabei ausbildenden thermischen Linse bestimmt wird. Durch eine gezielte Ausbildung des Mittels zur lokalen Erwärmung und eine entsprechende Ansteuerung (siehe Wärmetechnik, engl. „thermal engineering“) kann somit die genaue Form der thermischen Linse festgelegt bzw. variiert werden.

[0014] Vorzugsweise erfolgt die Bereitstellung der variablen thermischen Linse über eine optische Erwärmung des Zwischenbereichs. Insbesondere kann die Erwärmung durch eine lokale Einwirkung von Laserstrahlung mit einem definierten Strahlprofil bei festgelegter Leistung erfolgen. Das verwendete Strahlprofil und/oder die Leistung können zur Anpassung der variablen thermischen Linse veränderbar sein. Bevorzugt sind die Spektren der zur Erwärmung des Zwischenbereichs verwendeten Laserstrahlung und des im Verstärker zu verstärkende Laserlichts einander separiert und im Wesentlichen nicht überschneidend.

[0015] Vorzugsweise erfolgt die Bereitstellung der variablen thermischen Linse über eine elektrische Erwärmung des Zwischenbereichs. Bei einer solchen Ausführungsform erfolgt ein definierter Eintrag thermischer Energie über einen Stromfluss im Zwischenbereich. Zur Anpassung der variablen thermischen Linse können hierbei der Strompfad und/oder die Stromstärke verändert werden. Der Strompfad kann dabei frei innerhalb des Zwischenbereichs festgelegt werden, insbesondere kann es sich auch um einen Strompfad im Inneren der Halbleiter-Schichtstruktur handeln.

[0016] Zur elektrischen Erwärmung des Zwischenbereichs ist ein ohmsches Widerstandselement auf den Zwischenbereich aufgebracht. Es handelt sich somit um einen Widerstandsheizler als Mittel zur lokalen Erwärmung des Zwischenbereichs. Widerstandsheizler sind im Bereich der Lasertechnik üblich und werden beispielsweise zur Phasenanpassung von Wellenleiterstrecken durch thermische Längenveränderung oder zur Stabilisierung von spektralen Filterelementen verwendet. Durch eine gezielte Ausbildung des ohmschen Widerstandselements kann bei einer entsprechenden Ansteuerung mittels einer angelegten Spannung die genaue Form der thermischen Linse festgelegt bzw. variiert werden. Das ohmsche Widerstandselement kann beispielsweise mittels einer aufgetragenen Leiterstruktur auf den Zwischenbereich als ausgedehnten Flächenheizung ausgebildet sein.

[0017] Vorzugsweise ist das ohmsche Widerstandselement als durchgehender Leiterstreifen mit endseitigen Kontakten ausgebildet. Es handelt sich somit um einen linearen Widerstandsheizler (auch als Linienheizelement bzw. Heizstreifen bezeichnet) mit dem ein streifenförmiger Wärmestromverlauf im Zwischenbereich bereitgestellt werden kann. Der durchgehende Leiterstreifen kann dabei geradlinig oder gekrümmt ausgebildet sein.

[0018] Vorzugsweise weist der durchgehende Leiterstreifen einen zur Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung im Zwischenbereich passend ausgebildeten geradlinigen Erstreckungsabschnitt auf (gerades Linienheizelement). Ebenfalls bevorzugt ist, dass der durchgehende Leiterstreifen zumindest in einem Abschnitt entlang der Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung im Zwischenbereich meanderförmig ausgebildet ist oder dass der durchgehende Leiterstreifen einen Freiform-Verlauf aufweist. Bei einer meanderförmigen Ausbildung des durchgehenden Leiterstreifens kann dieser zur Erwärmung einer relativ großen Oberfläche des Zwischenbereichs genutzt werden. Eine einfache Verbreiterung eines linearen durchgehenden Leiterstreifens zur Erhöhung der Flächenabdeckung würde zu einer Verringerung des ohmschen Widerstands des Leiterstreifens und somit zu einem verringerten Wärmeeintrag

bzw. höheren erforderlichen Betriebsspannungen zur Erreichung des notwendigen Heizstroms führen. Die Verwendung eines allgemeinen Freiform-Verlaufs ermöglicht neben einer hohen Flächenabdeckung auch eine besonders spezifische Ausgestaltung des Wärmeeintrags in die Halbleiter-Schichtstruktur und somit der sich einstellenden thermischen Linse.

[0019] Vorzugsweise ist der Wellenleiter als passiver Wellenleiter oder zumindest in einem Abschnitt als aktiver Wellenleiter ausgebildet. Insbesondere kann der Wellenleiter auch als Wellenleiterlaser zur unmittelbaren Erzeugung und Bereitstellung der in den Verstärker einzukoppelnden Laserstrahlung ausgebildet sein. Ein als passiver Wellenleiter ausgebildeter Wellenleiter dient hingegen allein der Wellenleitung, so dass eine entsprechende Laserstrahlung extern bereitgestellt und entsprechend in den Wellenleiter eingekoppelt werden muss.

[0020] Vorzugsweise umfasst ein erfindungsgemäßes Laserverstärkersystem weiterhin ein Mittel zur Steuerung der variablen thermischen Linse. Bei dem Mittel zur Steuerung kann es sich insbesondere um eine Vorrichtung zur Steuerung eines Stromflusses, einer einzustrahlenden optischen Strahlung oder eine sonstige Vorrichtung zur Beeinflussung des Wärmeeintrags in den Zwischenbereich hinsichtlich beispielsweise der Form, Verteilung, Stärke und Variationsrichtung handeln. Das Mittel zur Steuerung kann daneben auch eine Logikschaltung zur Auswahl eines zum gewählten Arbeitspunkt des Verstärkers optimal abgestimmten Wärmeeintrags und damit einer optimalen thermischen Linse zur Korrektur entsprechender Abweichungen der räumlich-optischen Eigenschaften an externe Optiken oder Systeme umfassen.

[0021] Ein erfindungsgemäßes Verstärkersystem kann bevorzugt bei Verstärkertypen mit einer entlang der optischen Achse lateral in der Breite variablen, insbesondere sich in Richtung Facette aufweitenden oder verbreiternden, Struktur eingesetzt werden.

[0022] Ein zweiter Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine Laseranordnung umfassend ein erfindungsgemäßes Laserverstärkersystem; und eine Laserstrahlungsquelle, wobei die von der Laserstrahlungsquelle emittierte Laserstrahlung zur Verstärkung im Laserverstärker in ein zweites Ende des Wellenleiters eingekoppelt wird. Eine erfindungsgemäße Laseranordnung besteht somit aus einer mittels des besagten Wellenleiters an den Verstärker (z. B. einen Trapezverstärker) angekoppelten Laserstrahlungsquelle.

[0023] Ein erfindungsgemäßes Laserverstärkersystem umfasst somit mindestens drei Bereiche, einen Wellenleiterbereich, einen Zwischenbereich sowie

einen Verstärkerbereich mit veränderlichem lateralen Querschnitt (z. B. einen Trapezverstärkerbereich mit einem Trapezverstärker). Der Verstärker kann Teil eines vollständigen Lasers sein, in dem weitere technische Elemente (z. B. Bragg-Reflektoren oder Facettenbeschichtungen) integriert sind. Der erfindungsgemäße neuartige Zwischenbereich wird als Refraktionselement mit steuerbarer Brechkraft genutzt. Dieser Bereich wird bevorzugt monolithisch in das erfindungsgemäße Laserverstärkersystem integriert.

[0024] Vorzugsweise kann in diesem Bereich ein metallischer Heizstreifen ausgebildet werden, welcher über metallische Leiterbahnen und Bondpads extern elektrisch kontaktierbar ist. Der Heizstreifen kann in einer bevorzugten Ausführungsform als einfacher gerader Metallstreifen ausgeführt sein. Der Heizstreifen selbst kann eine genau definierte Breite und Länge aufweisen. Zusätzlich sollte die Position des Heizstreifens auf dem Zwischenbereich, in Abhängigkeit von der Form des Verstärkers, exakt festgelegt sein. Mittels integrierter Schaltelementen können jedoch auch unterschiedliche Streifenlayouts adressiert werden. Der Heizstreifen kann elektrisch vom Verstärker isoliert sein und eigenständig über das Mittel zur Steuerung betrieben werden.

[0025] Der Heizstreifen sollte derart ausgebildet und angesteuert werden, dass ein zur bevorzugten longitudinalen Ausbreitungsrichtung der verstärkten Laserstrahlung laterales Temperaturgefälle erzeugt wird. Durch das laterale Temperaturgefälle kann vorteilhaft ein thermooptischer Linseneffekt auf die longitudinal im Zwischenbereich propagierende Laserstrahlung erzielt werden. Durch die longitudinale Ausdehnung des Heizelementes kann die erreichbare Brechkraft der thermischen Linse vorgesteuert oder eingestellt werden. Die Richtung der elektrischen Durchströmung (longitudinal oder lateral) ist dabei für die Ausbildung der thermischen Linse an sich nicht wesentlich. Allerdings ist die longitudinale Richtung aufgrund einer potentiell größeren Wechselwirkungsstrecke bevorzugt.

[0026] Die Wirkung des Heizelementes kann durch die angelegte elektrische Spannung gesteuert werden. Die Wirkung des Heizelementes wird dabei bevorzugt derart eingestellt, dass die räumliche Charakteristik der Ausgangsstrahlung hinter dem Verstärker auch bei einem veränderten Arbeitspunkt möglichst unverändert bleibt. Dies bezieht sich insbesondere auf die longitudinale Position der lateralen Strahltaille. Bei einer unveränderlichen Kollimationsoptik im Strahlengang nach dem Verstärker kann somit für unterschiedliche Arbeitspunkte eine Gleichrichtung bzw. Kollimation der Strahlung erreicht werden.

[0027] In einer beispielhaften Ausführungsform kann das erfindungsgemäße Verstärkersystem in einem III-V-Halbleitersystem (GaAs) realisiert werden. Auf einem n-dotierten GaAs-Substrat kann hierzu zunächst ein Schichtsystem aufgebaut werden, welches einerseits vertikale Wellenleitung ermöglicht und gleichzeitig eine darin geführte Laserstrahlung verstärken kann. Die aktive Zone (Zone in der Ladungsträger räumlich und energetisch gebunden werden) kann dabei als ein- oder mehrfacher Quantengraben (engl. „quantum well“) ausgeführt werden. Die Materialkomposition des Quantengrabens bestimmt die Emissionswellenlänge, wobei Wellenlängen von ca. 626 nm bis ca. 1180 nm mit unterschiedlichen Materialsysteme (z. B. GaInP) erzeugt werden können. Für eine Emissionswellenlängen von ca. 1120 nm kann InGaAs als optisch aktives Material verwendet werden. Für die angegebene Wellenlänge konnten bereits optische Leistungen von über 10 W aus einem erfindungsgemäßen Verstärkersystem demonstriert werden. Die erreichbare optische Leistung ist jedoch abhängig vom verwendeten Materialsystem und kann im genannten Wellenlängenbereich entsprechend variieren.

[0028] Die vorliegende Erfindung nutzt eine lokale Änderung der Brechzahl zur Anpassung der räumlich-optischen Eigenschaften. Der Ort der gezielten Brechzahländerung beeinflusst die Effizienz des Verstärkersystems. Für eine günstige Positionierung und Ausführung des entsprechenden Mittels zur lokalen Erwärmung kann mit geringem Energieaufwand eine hohe optische Wirkung erzielt werden. Die Position eines Mittels zur lokalen Erwärmung im Zwischenbereich direkt vor einem Verstärkerbereich mit veränderlichem Querschnitt ermöglicht einen besonders hohen Wirkungsgrad der Erfindung. Mit einem möglichst geringem Wärmeeintrag kann somit an der genannten Position die Laserstrahlung besonders stark beeinflusst werden.

[0029] Der Arbeitspunkt des Verstärkers kann dadurch während des Betriebs dynamisch angepasst werden, ohne die räumlichen Strahleigenschaften der emittierten Strahlung zu verändern. Damit lässt sich die optische Ausgangsleistung des Verstärkers variieren, ohne nachfolgende optische Bauelemente anpassen zu müssen. Dies stellt sowohl für makroskopische, als auch mikroskopische Aufbauten (insbesondere solche Aufbauten, bei denen die Platzierung von Optiken nicht mehr per Hand, sondern per Mikroversteller, z. B. mit einem Hexapod, erfolgen müssen) eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem bisherigen Stand der Technik dar.

[0030] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den in den jeweiligen Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0031] Die verschiedenen in dieser Anmeldung genannten Ausführungsformen der Erfindung sind, sofern im Einzelfall nicht anders ausgeführt, mit Vorteil miteinander kombinierbar.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0032] Die Erfindung sowie das technische Umfeld werden nachfolgend anhand der beiliegenden Figuren näher erläutert. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Erfindung durch die angeführten Ausführungsbeispiele nicht beschränkt werden soll. Insbesondere ist es, soweit nicht explizit anders dargestellt, auch möglich, Teilaspekte der in den Figuren erläuterten Sachverhalte zu extrahieren und mit anderen Bestandteilen und Erkenntnissen aus der vorliegenden Beschreibung zu kombinieren. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische isometrische Darstellung einer ersten beispielhaften Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Laserverstärkersystems;

Fig. 2 eine schematische isometrische Darstellung einer zweiten beispielhaften Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Laserverstärkersystems;

Fig. 3 eine schematische Querschnittsdarstellung zur Ausbildung der thermischen Linse in einer Halbleiter-Schichtstruktur unterhalb eines auf den Zwischenbereich aufgetragenen durchgehenden Leiterstreifens eines erfindungsgemäßen ohmschen Widerstandselements; und

Fig. 4 eine schematische Darstellung zur sich in **Fig. 3** einstellenden Verteilung der Temperatur im Halbleitermaterial der Halbleiter-Schichtstruktur.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0033] **Fig. 1** zeigt eine schematische isometrische Darstellung einer ersten beispielhaften Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Laserverstärkersystems. Das gezeigte Laserverstärkersystem umfasst einen Wellenleiterbereich A mit einem Wellenleiter 10 zur Führung von Laserstrahlung; einen Verstärkerbereich B mit einem Verstärker 20, wobei der Verstärkerbereich B derart ausgebildet ist, dass die Laserstrahlung aus einem ersten Ende A1 des Wellenleiters 10 in eine Eingangsseite B1 des Verstärkers 20 eingekoppelt wird; und einen Zwischenbereich C zwischen dem ersten Ende A1 des Wellenleiters 10 und der Eingangsseite B1 des Verstärkers 20, wobei der Zwischenbereich C zur Bereitstellung einer variablen thermischen Linse 30 für eine steuerbare Anpassung der in den Verstärker 20 überkoppelten Laserstrahlung ausgebildet ist. Der Wellenleiter 10 kann dabei als passiver Wellenleiter oder zumindest in einem Abschnitt als aktiver Wellenleiter ausgebildet sein. Über das zweite Ende

A2 des Wellenleiters 10 kann eine Laserstrahlung in den Wellenleiter 10 eingekoppelt werden. Nach der Verstärkung kann diese dann vorzugsweise an der Ausgangsseite B2 des Verstärkers 20 ausgekoppelt werden.

[0034] Der Wellenleiter 10 ist im Wellenleiterbereich A als Rippenwellenleiter ausgebildet. Beim Verstärkerbereich B soll es sich um ein aktives Gebiet mit einer aufliegenden metallischen Kontaktschicht 60 handeln. Bei der Struktur im Zwischenbereich C handelt es sich um ein Mittel zur lokalen Erwärmung des Zwischenbereichs C. Die Bereitstellung der variablen thermischen Linse 30 kann hierbei insbesondere über eine elektrische Erwärmung des Zwischenbereichs C erfolgen. Dazu ist ein ohmsches Widerstandselement 32 als durchgehender Leiterstreifen 34 mit endseitigen Kontakten 36 auf den Zwischenbereich C aufgebracht. Der durchgehende Leiterstreifen 34 weist in der gezeigten Ausführungsform einen zur Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung im Zwischenbereich C passend ausgebildeten geradlinigen Erstreckungsabschnitt auf. Eine erfindungsgemäße variable Anpassung der thermischen Linse 30 an den jeweiligen Arbeitspunkt des Verstärkers 20 kann durch Anlegen einer veränderlichen Betriebsspannung U_{HS} über ein entsprechendes Mittel zur Steuerung der variablen thermischen Linse 30 erfolgen.

[0035] **Fig. 2** zeigt eine schematische isometrische Darstellung einer zweiten beispielhaften Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Laserverstärkersystems. Das gezeigte Laserverstärkersystem entspricht weitgehend dem in **Fig. 1** gezeigten, daher gelten die Bezugszeichen und deren jeweilige Zuordnung zu einzelnen Merkmalen ebenfalls entsprechend. Im Unterschied zur ersten Ausführungsform nach **Fig. 1** ist der durchgehende Leiterstreifen 34 hierbei jedoch zumindest in einem Abschnitt entlang der Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung im Zwischenbereich C meanderförmig ausgebildet. Dadurch kann mit dem durchgehenden Leiterstreifen 34 eine größere Fläche erwärmt werden. Wie in der Darstellung gezeigt, kann der meanderförmige Leiterstreifen mit einem veränderlichen lateralen Querschnitt, beispielsweise mit einer sich aufweitenden oder verbreiternden Struktur, ausgebildet sein. Bei der Entwicklung eines entsprechenden Layouts muss jedoch der darüber in das darunter liegende Halbleitermaterial abgegebene Wärmeeintrag und die Form der sich durch die Erwärmung ausbildenden thermischen Linse 30 berücksichtigt werden.

[0036] **Fig. 3** zeigt eine schematische Querschnittsdarstellung zur Ausbildung der thermischen Linse 30 in einer Halbleiter-Schichtstruktur 50 unterhalb eines auf den Zwischenbereich C aufgetragenen durchgehenden Leiterstreifens 36 eines erfindungsgemäßen ohmschen Widerstandselements 32. Die

Darstellung zeigt ein Substrat 40 und eine auf dem Substrat 40 angeordnete Halbleiter-Schichtstruktur 50, wobei im Zwischenbereich C der durchgehende Leiterstreifen 34 des besagten Mittels zur lokalen Erwärmung des Zwischenbereichs C aufgebracht ist. In der Halbleiter-Schichtstruktur 50 ist weiterhin eine inkludierte aktive Schicht 52 mit eingezeichnet, die im Zwischenbereich C jedoch keine unmittelbare Funktion haben muss. Das erfindungsgemäße Laserverstärkersystem kann wie gezeigt auf einen passenden Submount 70 befestigt werden.

[0037] Bei einem senkrecht zur gezeigten Darstellungsebene erfolgenden Stromfluss durch den durchgehenden Leiterstreifen 34 kommt es zu einer Erwärmung der darunter liegenden Bereiche der Halbleiter-Schichtstruktur 50, wobei sich beispielsweise ein durch die eingezeichneten Pfeile verdeutlichter Wärmestrom 38 einstellen kann. Die sich durch die lokale Erwärmung der Halbleiter-Schichtstruktur 50 einstellende thermische Linse 30 ist lediglich schematisch in etwa auf Höhe der aktiven Schicht 52, d. h. in dem Bereich, in dem sich auch die Laserstrahlung ausbreitet, zusätzlich mit eingezeichnet. Der dadurch in der Halbleiter-Schichtstruktur 50 erzeugte Brechzahlgradient kann dann zur gesteuerten Anpassung der Ausbreitungseigenschaften der Laserstrahlung innerhalb eines erfindungsgemäßen Laserverstärkersystems verwendet werden.

[0038] Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung zur sich in Fig. 3 einstellenden Verteilung der Temperatur im Halbleitermaterial der Halbleiter-Schichtstruktur 50. Entsprechend der Streifenbreite des durchgehenden Leiterstreifens 34 kommt es durch den sich einstellenden Wärmestrom 38 beispielsweise zu der gezeigten annähernd glockenförmigen Temperaturverteilung. Durch die lokale Erwärmung der Halbleiter-Schichtstruktur 50 wird über den thermo-optischen Effekt eine Änderung der Brechzahl in diesem Bereich induziert, wobei über den Gradient des sich einstellenden Wärmestroms 38 unmittelbar auch der räumliche Brechzahlverlauf der sich ausbildenden thermischen Linse 30 bestimmt ist.

Bezugszeichenliste

10	Wellenleiter
20	Verstärker (z. B. Trapezverstärker)
30	thermischen Linse
32	ohmsches Widerstandselement
34	durchgehender Leiterstreifen
36	Kontakte
38	Wärmestrom
40	Substrat

50	Halbleiter-Schichtstruktur
52	aktive Schicht
60	metallische Kontaktschicht
70	Submount
A	Wellenleiterbereich
A1	erstes Ende (des Wellenleiters)
A2	zweites Ende (des Wellenleiters)
B	Verstärkerbereich
B1	Eingangsseite (des Verstärkers)
B2	Ausgangsseite (des Verstärkers)
C	Zwischenbereich

Patentansprüche

1. Laserverstärkersystem, umfassend:
einen Wellenleiterbereich (A) mit einem Wellenleiter (10) zur Führung von Laserstrahlung;
einen Verstärkerbereich (B) mit einem Verstärker (20), wobei der Verstärkerbereich (B) derart ausgebildet ist, dass die Laserstrahlung aus einem ersten Ende (A1) des Wellenleiters (10) in eine Eingangsseite (B1) des Verstärkers (20) eingekoppelt wird; und
einen Zwischenbereich (C) zwischen dem ersten Ende (A1) des Wellenleiters (10) und der Eingangsseite (B1) des Verstärkers (20), wobei der Zwischenbereich (C) zur Bereitstellung einer variablen thermischen Linse (30) für eine steuerbare Anpassung der in den Verstärker (20) überkoppelten Laserstrahlung ausgebildet ist;
wobei die Bereitstellung der variablen thermischen Linse (30) über eine optische Erwärmung des Zwischenbereichs (C) erfolgt oder der Zwischenbereich (C) zur Bereitstellung der variablen thermischen Linse (30) über eine elektrische Erwärmung des Zwischenbereichs (C) ein auf den Zwischenbereich (C) aufgebrachtes ohmsches Widerstandselement (32) als ein Mittel zur lokalen Erwärmung des Zwischenbereichs (C) umfasst.
2. Laserverstärkersystem nach Anspruch 1, weiterhin umfassend:
ein Substrat (40); und
eine auf dem Substrat (40) angeordnete Halbleiter-Schichtstruktur (50), wobei der Wellenleiter (10) im Wellenleiterbereich (A) als Rippenwellenleiter in der Halbleiter-Schichtstruktur (50) ausgebildet ist, und der Verstärkerbereich (B) als aktives Gebiet mit einer aktiven Schicht (52) innerhalb der Halbleiter-Schichtstruktur (50) und einer aufliegenden metallischen Kontaktschicht (60) ausgebildet ist.
3. Laserverstärkersystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei das ohmsche Widerstandselement (32) als

durchgehender Leiterstreifen (34) mit endseitigen Kontakten (36) ausgebildet ist.

4. Laserverstärkersystem nach Anspruch 3, wobei der durchgehende Leiterstreifen einen zur Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung im Zwischenbereich passend ausgebildeten geradlinigen Erstreckungsabschnitt aufweist, der durchgehende Leiterstreifen zumindest in einem Abschnitt entlang der Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung im Zwischenbereich (C) meanderförmig ausgebildet ist, oder der durchgehende Leiterstreifen einen Freiform-Verlauf aufweist.

5. Laserverstärkersystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Wellenleiter (10) als passiver Wellenleiter oder zumindest in einem Abschnitt als aktiver Wellenleiter ausgebildet ist.

6. Laserverstärkersystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend ein Mittel zur Steuerung der variablen thermischen Linse (30).

7. Laseranordnung, umfassend:
ein Laserverstärkersystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche; und
eine Laserstrahlungsquelle, wobei die von der Laserstrahlungsquelle emittierte Laserstrahlung zur Verstärkung im Laserverstärker in ein zweites Ende des Wellenleiters (A2) eingekoppelt wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

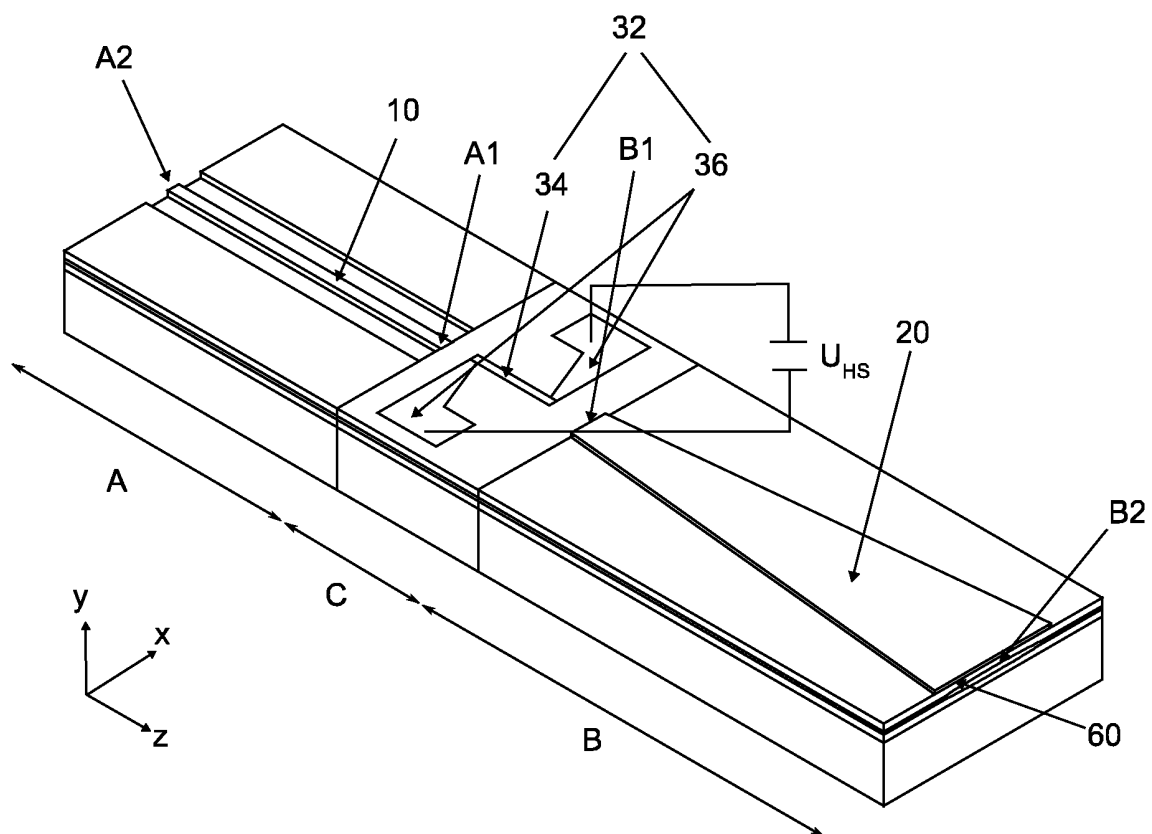


FIG. 1

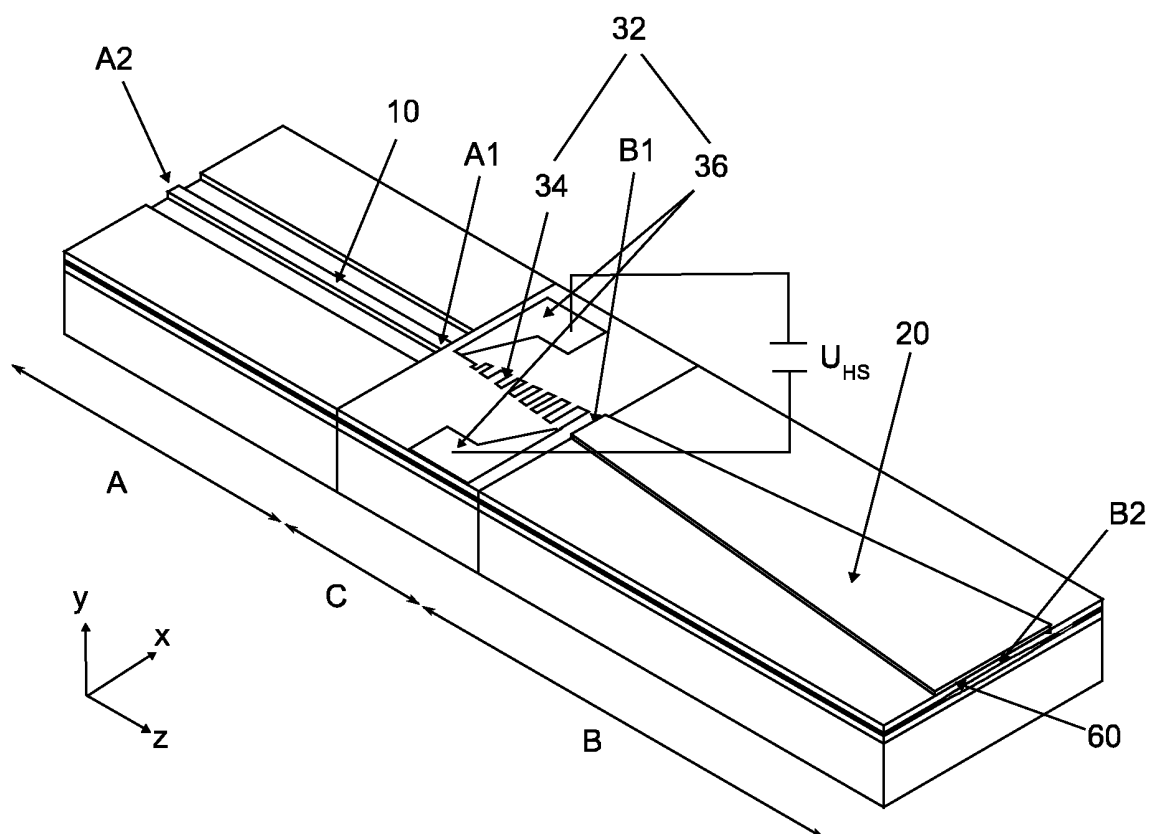


FIG. 2

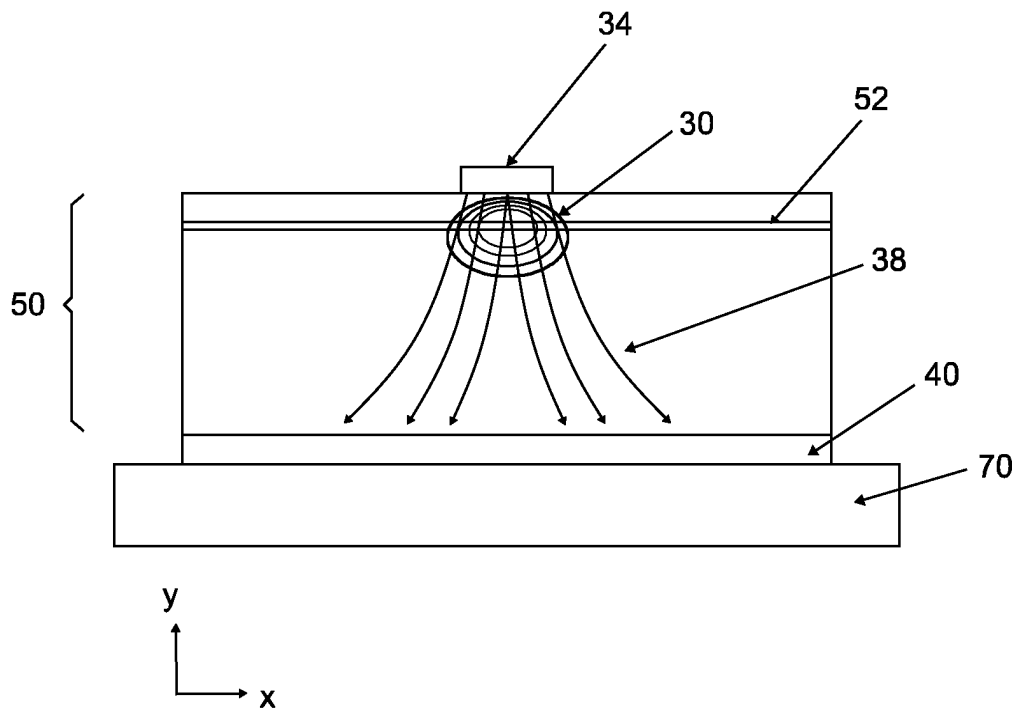


FIG. 3

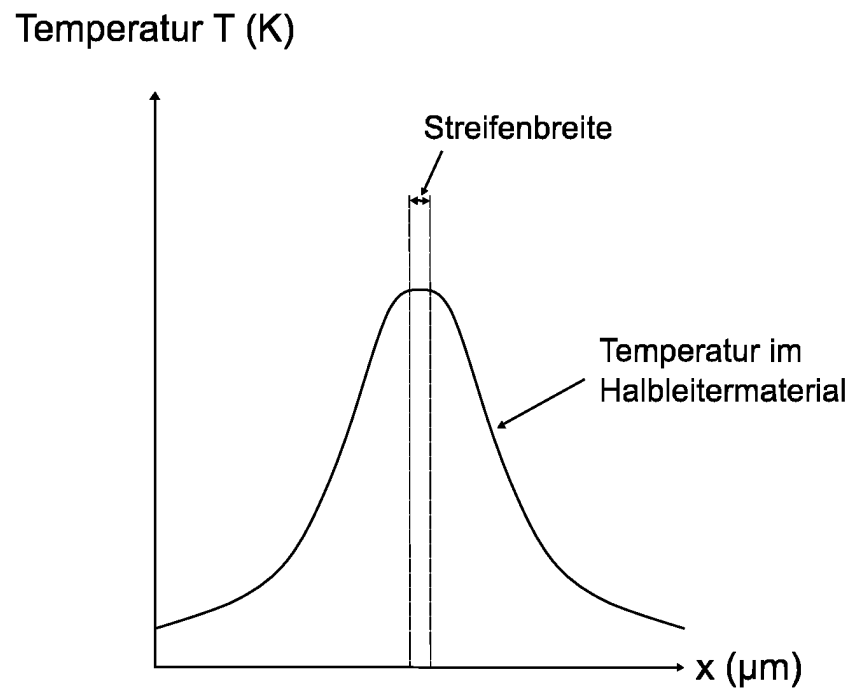


FIG. 4