



(10) **DE 10 2011 006 198 B4** 2012.10.31

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 006 198.3**
(22) Anmeldetag: **28.03.2011**
(43) Offenlegungstag: **04.10.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.10.2012**

(51) Int Cl.: **H01S 5/125** (2006.01)
H01S 5/02 (2006.01)

Innerhalb von drei 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:
Forschungsverbund Berlin e.V., 12489, Berlin, DE

(74) Vertreter:
**Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider, 10179,
Berlin, DE**

(72) Erfinder:
Eppich, Bernd, Dr., 10997, Berlin, DE

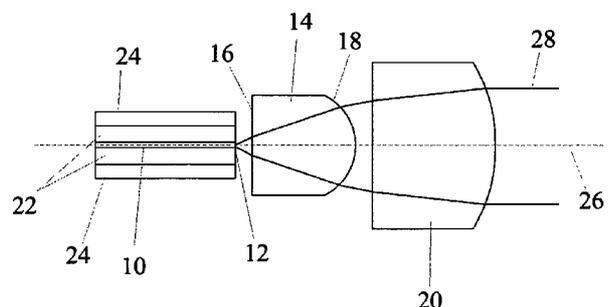
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 10 2008 044 867 A1
US 2005 / 0 270 607 A1
US 2006 / 0 029 120 A1
US 2008 / 0 267 246 A1

**C. Schnitzler et al.: Wavelength Stabilization
of HPDL Array-Fast-Axis Collimation Optic with
integrated VHG. In: Proc. of SPIE, Vol. 6456,
645612, 2007, 1 - 6.**

(54) Bezeichnung: **Diodenlaser mit einem externen frequenzselektiven Element**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen rauscharmen, wellenlängenstabilisierten Diodenlaser mit kollimierter Strahlung und geringem Strahldurchmesser. Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Diodenlaser mit Wellenlängenstabilisierung und vertikaler Kollimation der emittierten Strahlung anzugeben, der einen geringen Abstand des Volumen-Bragg-Gitters zur Emissionsfläche, einen kleinen vertikalen Durchmesser des kollimierten Strahls und außerdem einen Ausgleich von Fertigungstoleranzen bei der Form des Gitters und der Linse ermöglicht. Erfindungsgemäß weist der Diodenlaser ein externes frequenzselektives Element (14) zur Wellenlängenstabilisierung der Laserstrahlung auf, wobei das externe frequenzselektive Element (14) eine der Austrittsfacetten (12) zugewandte Eintrittsfläche (16) und eine der Austrittsfacetten (12) abgewandte Austrittsfläche (18) aufweist und durch ein Volumen-Bragg-Gitter ausgebildet ist; und wobei das externe frequenzselektive Element (14) derart ausgebildet ist, dass die Divergenz der aus der Austrittsfacetten (12) austretenden Strahlung beim Passieren des externen frequenzselektiven Elements (14) verringert wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Diodenlaser mit spektral selektiver Rückkopplung mittels eines Volumen-Bragg-Gitters, insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung einen rauscharmen, wellenlängenstabilisierten Diodenlaser mit kollimierter Strahlung und geringem Strahldurchmesser.

[0002] Die Strahlung von kantenemittierenden Diodenlasern weist eine hohe Divergenz senkrecht zur Wellenleiterebene (vertikale Richtung, „Fast Axis“) und ein vergleichsweise breites Wellenlängenspektrum auf. Das Wellenlängenspektrum hängt darüber hinaus typischerweise von weiteren Parameter, wie beispielsweise der Temperatur ab. Daraus ergibt sich in der Folge eine Abhängigkeit des Wellenlängenspektrums von der Laserleistung.

[0003] Zur Kollimation der Strahlung in vertikaler Richtung werden meist Zylinderlinsen mit kleiner Brennweite benutzt, sogenannte Fast-Axis-Kollimatoren (FACs). Der Strahldurchmesser des kollimierten Strahls ist dabei proportional zur Divergenz der den Diodenlaser verlassenden Strahlung und zur Brennweite der vertikal kollimierenden Linse. Die Wellenlängeneinengung und -stabilisierung kann nach dem Stand der Technik durch interne oder externe wellenlängenselektive Elemente bzw. Strukturen erreicht werden.

[0004] Externe Wellenlängeneinengung und -stabilisierung wird durch spektral selektive Rückkopplung der emittierten Strahlung in den Diodenlaser erreicht. Ein Beispiel hierfür sind sog. External-Cavity-Diodenlaser (ECL), bei denen die Rückkopplung durch die spektral selektive Reflexion an Flächengittern erfolgt. Hierbei werden jedoch nachteilhafterweise zusätzliche optische Elemente benötigt und eine Miniaturisierung erschwert.

[0005] Eine weitere Möglichkeit der spektral selektiven Rückkopplung sind Volumen-Bragg-Gitter. Durch den Einsatz derartiger Volumen-Bragg-Gitter können vorteilhafterweise kompakte, wellenlängenstabilisierte Laserstrahlquellen realisiert werden.

[0006] Es ist beispielsweise aus US 2005/0207466 A1, US 2006/0251143 A1, US 7,298,771 B2, US 7,397,837 B2 und US 7,545,844 B2 bekannt, ein ebenes Volumen-Bragg-Gitter in den vertikal kollimierten oder vertikal und lateral kollimierten Strahl einzubringen.

[0007] Es ist alternativ möglich, ein ebenes Volumen-Bragg-Gitter in den divergenten Strahl vor dem Fast-Axis-Kollimator einzubringen und die vertikale und laterale Kollimation erst nach Transmission der Strahlung durch das Volumen-Bragg-Gitter durchzuführen, wie ebenfalls aus

US 2005/0207466 A1, US 2006/0251143 A1, US 7,298,771 B2, US 7,397,837 B2 und US 7,545,844 B2 bekannt ist.

[0008] Darüber hinaus ist es bekannt, die vertikal kollimierende Zylinderlinse (also den Fast-Axis-Kollimator) selbst aus dem Volumen-Bragg-Gitter zu fertigen, so dass ein einzelnes optisches Element entsteht, das sowohl die vertikale Kollimation der transmittierenden Strahlung bewirkt als auch spektral selektiv rückkoppelt.

[0009] Die Positionierung des Volumen-Bragg-Gitters hinter der vertikal kollimierenden Linse verfehlt nachteilhafterweise das Ziel eines kurzen Abstandes des Gitters zur Emissionsfläche (nachfolgend auch als Austrittsfläche des Diodenlasers bezeichnet) aufgrund der unvermeidlichen axialen Ausdehnung der vertikal kollimierenden Linse. Das nahe Heranführen des Volumen-Bragg-Gitters an die Emissionsfläche hat sich aber als wesentlich für einen rauscharmen Betrieb des Diodenlasers herausgestellt.

[0010] Wird das Volumen-Bragg-Gitter zwischen die Emissionsfläche und die vertikal kollimierende Linse positioniert, kann zwar ein kurzer Abstand zwischen Emissionsfläche und Gitter und damit ein rauscharmer Betrieb erreicht werden. Der vertikale Strahldurchmesser des kollimierten Strahls ist jedoch in diesem Falle durch die axialen Abmessungen des Volumen-Bragg-Gitters und der vertikal kollimierenden Linse nach unten begrenzt. Da die axialen Abmessung des Gitters aus funktionellen und die der Linse aus fertigungstechnischen Gründen eine untere Grenze nicht unterschreiten kann, ergibt sich nachteilhafterweise eine nicht vernachlässigbare Mindestgröße für den vertikalen Durchmesser des kollimierten Strahls.

[0011] Führt man das Volumen-Bragg-Gitter selbst als einzelne vertikal kollimierende Linse aus, muss der gewünschte, geringe Abstand des Gitters zur Emissionsfläche mit dem hinteren Brennweitenabstand (back focal length) der Gitter-Linsen-Einheit übereinstimmen. Für eine korrekte Kollimation muss die Gitter-Linsen-Einheit im hinteren Brennweitenabstand zur Emissionsfläche positioniert werden. Aufgrund von Fertigungstoleranzen unterliegt der hintere Brennweitenabstand jedoch Schwankungen, die deutlich größer sein können, als der gewünschte Abstand des Gitters zur Emissionsfläche. Insbesondere kann der hintere Brennweitenabstand negativ werden, so dass keine Kollimation mehr möglich ist.

[0012] Weitere frequenzselektive Elemente sind aus US 2005/0270607 A1, DE 10 2008 044 867 A1, US 2006/0029120 A1, US 2008/0267246 A1 und Proc. of SPIE, Vol 6456, 645612, 1–6 (2007) bekannt.

[0013] Zusammenfassend ist es mit keiner der oben genannten Methoden und Vorrichtungen möglich, einerseits das Volumen-Bragg-Gitter zur Realisierung eines rauscharmen Betriebs möglichst nahe an die Emissionsfläche und andererseits die vertikal kollimierende Linse zur Realisierung eines ausreichend geringen vertikalen Durchmessers möglichst nahe an die Emissionsfläche heranzuführen. Insbesondere kann bei der Verwendung zweier Komponenten (ebenes Volumen-Bragg-Gitter und Zylinderlinse) jeweils eine der Komponenten nicht ausreichend nahe an die Emissionsfläche herangeführt werden. Bei Verwendung eines einzelnen optischen Elements, das Zylinderlinse und Volumen-Bragg-Gitter vereint, führen die vorhandenen Fertigungstoleranzen bei der Forderung eines sehr geringen vertikalen Strahldurchmessers dazu, dass der hintere Brennweitenabstand negativ werden kann, so dass keine Kollimation mehr möglich ist.

[0014] Die Aufgabe der Erfindung besteht demnach darin, einen Diodenlaser mit Wellenlängenstabilisierung und vertikaler Kollimation der emittierten Strahlung anzugeben, der einen geringen Abstand des Volumen-Bragg-Gitters zur Emissionsfläche, einen kleinen vertikalen Durchmesser des kollimierten Strahls und außerdem einen Ausgleich von Fertigungstoleranzen bei der Form des Gitters und der Linse ermöglicht.

[0015] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten.

[0016] Es wurde gefunden, dass durch die Aufteilung der vertikalen Kollimation auf ein Volumen-Bragg-Gitter und eine vertikal kollimierende Linse ein geringer vertikaler Strahldurchmesser des kollimierten Strahls und ein geringer Abstand des Volumen-Bragg-Gitters zur Emissionsfläche erreicht werden kann, wobei Fertigungstoleranzen bei der Formgebung des Volumen-Bragg-Gitters und der vertikal kollimierende Linse vorteilhafterweise durch Anpassen der axialen Position der vertikal kollimierenden Linse ausgeglichen werden können.

[0017] Mit anderen Worten werden anstatt eines ebenen Volumen-Bragg-Gitters und einer vertikal kollimierende Linse ein Volumen-Bragg-Gitter mit fokussierender Wirkung und eine vertikal kollimierende Linse verwendet. Das heißt, dass sowohl das Volumen-Bragg-Gitter als auch die nachfolgende vertikal kollimierende Linse eine vertikal fokussierende Wirkung besitzen. Daher kann die Brechkraft vorteilhafterweise auf mehrere Elemente aufgeteilt werden.

[0018] Der Vorteil gegenüber der Verwendung eines ebenen Volumen-Bragg-Gitters und einer Zylinderlinse besteht darin, dass sowohl das Volumen-Bragg-Gitter zur Realisierung eines rauscharmen Betriebs

als die erste vertikal kollimierende Linse (das Volumen-Bragg-Gitter) zur Realisierung eines ausreichend geringen vertikalen Durchmessers sehr nahe an die Emissionsfläche herangeführt werden können. Da das Volumen-Bragg-Gitter selbst vertikal kollimiert, kann ein geringerer vertikaler Strahldurchmesser realisiert werden.

[0019] Der Vorteil gegenüber der Verwendung eines einzelnen optischen Elements, das Zylinderlinse und Volumen-Bragg-Gitter vereint, besteht darin, dass die notwendige Brechkraft auf zwei optische Elemente aufgeteilt werden kann, wodurch einerseits eine höhere Strahlqualität realisierbar (bessere Unterdrückung von Aberrationen durch Verwendung zweier optischer Elemente) und andererseits größere Bauteiltoleranzen zulässig sind.

[0020] Der erfindungsgemäße Diodenlaser weist eine aktive Schicht mit einer Austrittsfläche; ein externes frequenzselektives Element zur Wellenlängenstabilisierung der austretenden Strahlung auf, wobei das externe frequenzselektive Element eine der Austrittsfläche zugewandte Eintrittsfläche und eine der Austrittsfläche abgewandte Austrittsfläche aufweist und als ein Volumen-Bragg-Gitter ausgebildet ist; wobei der erfindungsgemäße Diodenlaser weiterhin eine separate Kollimationseinheit zur Kollimation der aus der Austrittsfläche austretenden und das externe frequenzselektive Element divergent passierenden Laserstrahlung aufweist; wobei das externe frequenzselektive Element zwischen der Kollimationseinheit und der Austrittsfläche angeordnet ist, und wobei die Eintrittsfläche und/oder die Austrittsfläche des externen frequenzselektiven Elements derart ausgebildet sind, dass die Divergenz der aus der Austrittsfläche austretenden Laserstrahlung beim Hindurchtreten durch das externe frequenzselektive Element verringert wird.

[0021] Vorzugsweise sind die Eintrittsfläche und/oder die Austrittsfläche des externen frequenzselektiven Elements als nicht-planare Fläche ausgebildet. Dabei können die Eintrittsfläche und/oder die Austrittsfläche vorzugsweise als zylindrische oder azyklindrische Flächen ausgebildet werden. Da die Brechkraft nun sowohl auf das externe frequenzselektive Element als auch auf die separate, hinter dem externen frequenzselektiven Element angeordnete vertikal kollimierende Linse aufgeteilt wird, können die Krümmungsradien der beiden optischen Elemente (externes frequenzselektives Element = 1. Linse und separate vertikal kollimierende Linse = 2. Linse) größer sein. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Fertigungstoleranzen bei der Formgebung des Volumen-Bragg-Gitters (externes frequenzselektives Element) und der vertikal kollimierende Linse (Kollimationseinheit) vorteilhafterweise durch Anpassen der axialen Position der vertikal kollimierenden Linse ausgeglichen werden können. Vorzugsweise befindet sich

zwischen dem Volumen-Bragg-Gitter (externes frequenzselektives Element) und der vertikal kollimierende Linse (Kollimationseinheit) kein weiteres optisches Element. Vorzugsweise befindet sich zwischen dem Volumen-Bragg-Gitter (externes frequenzselektives Element) und der vertikal kollimierende Linse (Kollimationseinheit) Luft.

[0022] Vorzugsweise beträgt das Verhältnis der Brechkraft des externen frequenzselektiven Elements zur Brechkraft der Kollimationseinheit zwischen 0.1 und 10 beträgt, bevorzugter zwischen 0.5 und 2, noch bevorzugter zwischen 0.7 und 1.5, noch bevorzugter zwischen 0.85 und 1.2 und bevorzugter 1.

[0023] Vorzugsweise ist die Kollimationseinheit als Zylinderlinse ausgebildet. Vorzugsweise ist mindestens eine Fläche der Kollimationseinheit und des frequenzselektiven Elements zur Verringerung von Aberrationen als nicht-planare azyklische Fläche ausgebildet. Vorzugsweise beträgt der Abstand zwischen der Austrittsfläche des Diodenlasers und der Eintrittsfläche des externen frequenzselektiven Elements zwischen 10 µm und 500 µm, bevorzugter zwischen 15 µm und 100 µm und noch bevorzugter zwischen 20 µm und 50 µm. Vorzugsweise ist der erfindungsgemäße Diodenlaser als Kantenemitter ausgebildet.

[0024] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Figur näher dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

[0025] Fig. 1 zeigt eine einen erfindungsgemäßen Diodenlaser in schematischer geschnittener Darstellung.

[0026] Der erfindungsgemäße Diodenlaser der Fig. 1 weist eine aktive Schicht 10 mit einer Austrittsfläche 12 und ein externes frequenzselektives Element 14 zur Wellenlängenstabilisierung der Laserstrahlung auf, wobei das externe frequenzselektive Element 14 als Volumen-Bragg-Gitter ausgebildet ist und eine der Austrittsfläche 12 des Diodenlasers zugewandte Eintrittsfläche 16 und eine der Austrittsfläche 12 des Diodenlasers abgewandte Austrittsfläche 18 aufweist. Weiterhin weist der Diodenlaser eine Kollimationseinheit 20 zur Kollimation der aus der Austrittsfläche 12 austretenden und das externe frequenzselektive Element 14 divergent passierenden Laserstrahlung auf, wobei das externe frequenzselektive Element 14 zwischen der Kollimationseinheit 20 und der Austrittsfläche 12 angeordnet ist. Erfindungsgemäß ist das externe frequenzselektive Element 14 derart ausgebildet, dass die Divergenz der aus der Austrittsfläche 12 austretenden Strahlung beim Passieren des externen frequenzselektiven Elements 14 verringert wird.

[0027] Durch die Aufteilung der vertikalen Kollimation auf ein Volumen-Bragg-Gitter und eine vertikal kollimierende Linse kann ein geringer vertikaler Strahldurchmesser des kollimierten Strahls und ein geringer Abstand des Volumen-Bragg-Gitters zur Emissionsfläche erreicht werden, wobei Fertigungstoleranzen bei der Formgebung des Volumen-Bragg-Gitters und der vertikal kollimierende Linse vorteilhafterweise durch Anpassen der axialen Position der vertikal kollimierenden Linse ausgeglichen werden können.

[0028] Es wird daher erfindungsgemäß anstatt eines ebenen Volumen-Bragg-Gitters und einer vertikal kollimierende Linse ein Volumen-Bragg-Gitter mit fokussierender Wirkung und eine vertikal kollimierende Linse verwendet. Das heißt, dass sowohl das Volumen-Bragg-Gitter als auch die nachfolgende vertikal kollimierende Linse eine vertikal fokussierende Wirkung besitzen. Daher kann die Brechkraft vorteilhafterweise auf mehrere Elemente aufgeteilt werden.

Bezugszeichenliste

10	Aktive Schicht
12	Austrittsfläche des Diodenlasers
14	Frequenzselektives Element
16	Eintrittsfläche des frequenzselektiven Elements
18	Austrittsfläche des frequenzselektiven Elements
20	Kollimationseinheit/Zylinderlinse
22	Wellenleiterschicht
24	Mantelschicht
26	Optische Achse
28	Randstrahl

Patentansprüche

1. Diodenlaser, aufweisend:
eine aktive Schicht (10) mit einer Austrittsfläche (12);
ein externes frequenzselektives Element (14) zur Wellenlängenstabilisierung der Laserstrahlung, wobei das externe frequenzselektive Element (14) eine der Austrittsfläche (12) zugewandte Eintrittsfläche (16) und eine der Austrittsfläche (12) abgewandte Austrittsfläche (18) aufweist und durch ein Volumen-Bragg-Gitter ausgebildet ist; und
eine Kollimationseinheit (20) zur Kollimation der aus der Austrittsfläche (12) austretenden und das externe frequenzselektive Element (14) divergent passierenden Laserstrahlung;
wobei das externe frequenzselektive Element (14) zwischen der Kollimationseinheit (20) und der Austrittsfläche (12) angeordnet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
das externe frequenzselektive Element (14) derart ausgebildet ist, dass die Divergenz der aus der Austrittsfläche (12) austretenden Strahlung beim Pas-

sieren des externen frequenzselektiven Elements (14) verringert wird.

2. Diodenlaser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Eintrittsfläche (16) und/oder die Austrittsfläche (18) des externen frequenzselektiven Elements (14) als nicht-planare Fläche ausgebildet sind.

3. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Eintrittsfläche (16) und/oder die Austrittsfläche (18) des externen frequenzselektiven Elements (14) als geschlossene, gekrümmte Fläche ausgebildet sind.

4. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Brechkraft des externen frequenzselektiven Elements (14) zur Brechkraft der Kollimationseinheit (20) zwischen 0.1 und 10 beträgt.

5. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Brechkraft des externen frequenzselektiven Elements (14) zur Brechkraft der Kollimationseinheit (20) zwischen 0.5 und 2 beträgt.

6. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollimationseinheit (20) als Zylinderlinse ausgebildet ist.

7. Diodenlaser nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Fläche der Kollimationseinheit (20) und des frequenzselektiven Elements (14) zur Verringerung von Aberrationen als nicht-planare azyklindrische Fläche ausgebildet ist.

8. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen der Austrittsfläche (12) und der Eintrittsfläche (16) des externen frequenzselektiven Elements (14) zwischen 15 μm und 100 μm beträgt.

9. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Diodenlaser als Kantenemitter ausgebildet ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

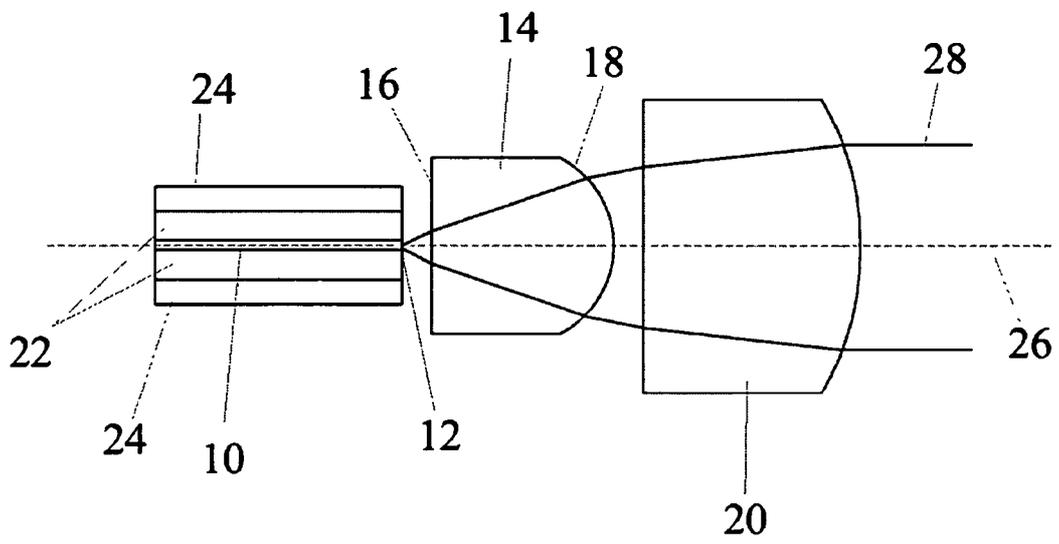


Fig. 1