



(10) **DE 10 2011 114 975 B3** 2013.02.21

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 114 975.2**
(22) Anmeldetag: **06.10.2011**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **21.02.2013**

(51) Int Cl.: **H01S 3/113** (2011.01)
H01S 3/0941 (2011.01)
H01S 3/16 (2011.01)

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:

BATOP GmbH, 07745, Jena, DE

(72) Erfinder:

Richter, Wolfgang, Dr., 99425, Weimar, DE;
Hohmuth, Rico, 07745, Jena, DE

D. Nodop et al.: Low cost 60 ps, 1.33 MW peak power, 50 kHz repetition rate pulsed microchip laser fiber amplifier system. In: Conference Publication: CLEOE-IQEC, Munich, Germany, 17 - 22 June, 2007, --.

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

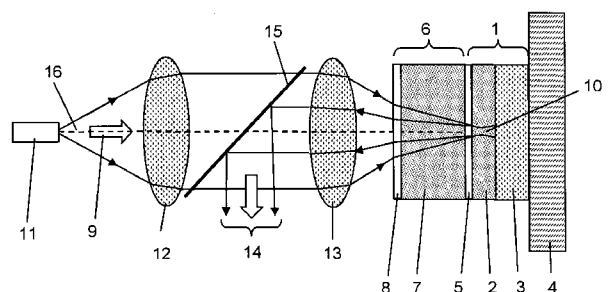
DE 10 2009 042 003 A1
US 6 393 035 B1
US 6 512 630 B1

(54) Bezeichnung: **Passiv gütegeschalteter Mikrochip-Laser mit optischem Verstärker**

(57) Zusammenfassung: Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen passiv gütegeschalteten Mikrochip-Laser mit optischem Verstärker anzugeben, dessen Verstärker mit einer an das Ausgangssignal des Mikrochip-Lasers angepassten Pumpleistung arbeitet und einfach und kostengünstig herzustellen ist.

Erfindungsgemäß besteht der optische Verstärker (6) aus einem vor dem Auskoppelspiegel (5) des gütegeschalteten Mikrochip-Lasers (1) angebrachten Verstärkerchip (7). Die Vorderseite (8) des Verstärkerchips (7) ist sowohl für das Pumplicht (9) als auch für das Laserlicht (10) entspiegelt. Es wird eine gemeinsame Pumplichtquelle (11) für den Verstärkerchip (7) und den Laserchip (2) verwendet. Das Pumplicht (9) erreicht zuerst den Verstärkerchip (7) und danach den Laserchip (2). Die Absorption des Pumplichts (9) im Verstärkerchip (7) ist so bemessen, dass das in den Laserchip (2) gelangende Pumplicht (9) für die passive Güteschaltung des Mikrochip-Lasers (1) ausreicht.

Die erfindungsgemäße Anordnung aus Mikrochip-Laser und optischem Verstärker kann als Pulslichtquelle mit variabler Repetitionsrate beispielsweise in der Materialbearbeitung, in der nichtlinearen Optik, zur Erzeugung eines Superkontinuums, für zeitaufgelöste Fluoreszenzmessungen und für Laser-Abstandsmessung eingesetzt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen passiv gütegeschalteten Mikrochip-Laser mit optischem Verstärker.

[0002] Passiv gütegeschalteter Mikrochip-Laser bestehen aus einem optisch gepumpten Laserkristall und einem sättigbaren Absorber (siehe beispielsweise US Patentschrift 5394413). Solche Laser werden vorwiegend mittels Laserdioden gepumpt und erzeugen infolge des Zusammenwirkens von gepumptem Lasermedium und sättigbarem Absorber gepulste Laserstrahlung. Seit langem bekannt sind Mikrochip-Laser, die aus einem Nd:YVO₄ Laserkristall und einem sättigbaren Absorber aus Cr⁴⁺:YVO₄ bestehen (siehe Optics Letters, Band 18, Seiten 511–512, 1993 oder US Patent 6373864 B1).

[0003] Die Resonatorlänge eines Mikrochip-Lasers wird hauptsächlich durch die Summe der Dicken des Laserkristalls und des sättigbaren Absorbers bestimmt. Um eine hinreichende Absorption des Laserlichts für die Güteschaltung eines Mikrochip-Lasers zu erreichen, ist eine bestimmte Dicke des sättigbaren Absorbers erforderlich. Für das viel genutzte Absorbermaterial Cr⁴⁺:YVO₄ ist eine Mindestdicke von etwa 0,5 mm erforderlich. Zusammen mit der Dicke des Lasermaterials ergibt sich für einen solchen Mikrochip-Laser eine Resonatorlänge L von etwa 1 mm. Um einen longitudinalen Einmodenbetrieb zu erreichen, muss die Resonatordicke L des Mikrochip-Lasers jedoch kleiner sein als $c/(2 \cdot n \cdot dg)$, wobei c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, n die Brechzahl des Materials im Laserresonator und dg die spektrale Breite des Verstärkungsbandes des Lasermediums sind. Für longitudinal einmodige Mikrochip-Laser mit einem Verstärkermaterial aus Nd:YVO₄ darf die Resonatorlänge jedoch nicht größer als etwa 0,5 mm sein.

[0004] Es wurden auch Vorschläge in Patentschriften veröffentlicht, um das Dickenverhältnis von Verstärker und Absorber in einem passiv gütegeschalteten Mikrochip-Laser zu optimieren (JP 07-131102A, US 2005 0078719 A1, EP 1764886 A1).

[0005] Da sich mit solchen Mikrochip-Lasern ein Einmodenbetrieb schwer realisieren lässt, wurden Mikrochip-Laser mit sättigbarem Absorberspiegel (SAM – saturable absorber mirror) aus Halbleitermaterial entwickelt (siehe Optics Letters, Band 22, Seiten 381–383, 1997, Optics Letters Band 32, Seiten 2115–2117, 2007 und Applied Physics B, Band 97, Seiten 317–320, 2009). Infolge der starken Absorption direkter Halbleiter kann eine sehr dünne Absorberschicht der Dicke von etwa 1 µm verwendet werden. Deshalb können Mikrochip-Laser mit einem SAM im Einmodenbetrieb arbeiten. Wegen der Verwendung eines sättigbaren Absorberspiegels arbeitet ein solcher Mikrochip-Laser in Reflexion. Dabei wird das Ausgangssignal entgegengesetzt zur Richtung des ein-

fallenden Pumplichts abgestrahlt. Um auch einen lateralen Einmodenbetrieb solcher Mikrochip-Laser zu erreichen, darf der Durchmesser des gepumpten Bereichs im Lasermaterial nicht zu groß sein. Experimentelle Ergebnisse zeigen, dass mit einem Pumpdurchmesser < 100 µm infolge der Ausbildung einer thermischen Linse im Lasermaterial lateraler Einmodenbetrieb möglich ist.

[0006] Die Repetitionsrate eines Mikrochip-Lasers wächst oberhalb der Laserschwelle proportional mit der optischen Pumpleistung an. Bei geringen Pumpleistungen besitzt die Repetitionsrate einen erheblichen Jitter, der bei der Verwendung des Laserlichtes bei der Materialbearbeitung oder in der Messtechnik stört. In der Patentschrift DE 10 2009 042 003 A1 wird eine Anordnung beschrieben, die eine sehr stabile, nahezu Jitter-freie Repetitionsrate ermöglicht. Dazu wird mittels einer optischen Verzögerungsstrecke der Start des jeweils folgenden Laserpulses durch den verzögerten vorherigen Puls initiiert. Nachteilig an dieser Anordnung ist jedoch, dass die optische Verzögerungsstrecke nur in geringem Maße eine Variation der Repetitionsrate zulässt.

[0007] Wegen des geringen Volumens des optisch gepumpten Lasermaterials in einem Mikrochip-Laser im Einmodenbetrieb reicht die Pulsenergie, die im Bereich von etwa 100 nJ liegt, für die meisten Anwendungen in der Materialbearbeitung nicht aus. Deshalb müssen die Pulse eines solchen Mikrochip-Lasers verstärkt werden. Solche in der Literatur beschriebenen Oszillator-Verstärker Anordnungen sind wegen ihrer vielen optischen Komponenten relativ komplex (siehe beispielsweise US 6373864 B1). Ein weiteres Beispiel ist eine Kombination aus einem Mikrochip-Laser mit einem nachfolgenden Faserverstärker im Konferenzbericht CLEOE/QEC 2007, 17–22 June, Munich, Germany von Nodop et al. Der dort beschriebene Faserverstärker benötigt ein separates Pump-Laser-Modul und weitere optische Komponenten wie einen Isolator und Linsen zur Strahleinkopplung in den Verstärker.

[0008] Eine Kombination eines Mikrochip-Lasers in Transmission mit einem nachfolgenden Verstärker mit einer geringeren Anzahl optischer Bauelemente als in üblichen Oszillator-Verstärker Anordnungen ist in der Patentschrift US 6512630 B1 beschrieben. Als zusätzliches optisches Bauteil wird zwischen dem Mikrochip-Laser und dem Verstärker nur eine Sammellinse benötigt. Allerdings muss auch diese Sammellinse exakt justiert werden, um den erforderlichen Überlapp zwischen gepumptem Verstärkervolumen und Laserlicht zu gewährleisten.

[0009] Die Repetitionsrate eines passiv gütegeschalteten Mikrochip-Lasers ist eine nahezu lineare Funktion der Pumpleistung und kann deshalb über die Pumpleistung für die jeweilige Anwendung ein-

gestellt werden. Bei der Variation der Pumpleistung und damit der Repetitionsrate des Mikrochip-Lasers können die Pausen zwischen den Pulsen um mindestens eine Größenordnung, beispielsweise zwischen 1 μ s und 10 μ s variiert werden. Dadurch ergibt sich jedoch für den nachfolgenden optischen Verstärker das Problem der Anpassung von dessen Pumpleistung an die jeweilige Repetitionsrate des Eingangssignals. Bei einer hohen Repetitionsrate des Eingangssignals ist eine hohe Pumpleistung erforderlich, um eine ausreichende Signalverstärkung zu gewährleisten. Wird aber bei einer geringen Repetitionsrate des Eingangssignals die Pumpleistung des Verstärkers nicht gedrosselt, so wird zwischen den Pulsen durch Verstärkung spontan emittierten Lichtes (ASE – amplified spontaneous emission) ein erheblicher optischer Rauschuntergrund erzeugt, dessen mittlere Leistung derjenigen des verstärkten Eingangssignals gleich kommen kann.

[0010] Da das verstärkte spontan emittierte Licht die praktische Anwendung eines solchen Oszillator-Verstärker-Systems wesentlich erschwert, müssen geeignete Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Die wirksamste Methode zur Beschränkung des ASE im Verstärker ist die Anpassung von dessen Pumpleistung an das jeweils vom Mikrochip-Laser gelieferte Eingangssignal. Um das zu erreichen, muss ein geeigneter Regelmechanismus für die Pumpleistung des Verstärkers unter Berücksichtigung der Schwellen-Pumpleistung realisiert werden.

[0011] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen passiv gütegeschalteten Mikrochip-Laser mit optischem Verstärker anzugeben, dessen Verstärker mit einer an das Ausgangssignal des Mikrochip-Lasers angepassten Pumpleistung arbeitet und einfach und kostengünstig herzustellen ist.

[0012] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit der Kombination aus einem Mikrochip-Laser und einem Verstärker mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Den Erfindungsanspruch vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf das Ausführungsbeispiel mit der zugehörigen Abbildung.

[0013] Gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 besteht der optische Verstärker aus einem vor dem Auskoppelspiegel des Laserchips angebrachten Verstärkerchip, dessen Vorderseite sowohl für das Pumplicht als auch für das Laserlicht entspiegelt ist. Dadurch entsteht ein besonders einfacher und kostengünstiger Aufbau für die Kombination aus einem Mikrochip-Laser und einem Verstärker. Die Entspiegelung der Vorderseite des Verstärkerchips für das Pumplicht sichert die verlustfreie Einkopplung des Pumplichts in den Verstärkerchip. Die Entspiegelung der Vorderseite des Verstärker-

chips für das Laserlicht ist erforderlich, um eine Rückkopplung spontan emittierten Lichtes im Verstärkerchip und damit eine Lasertätigkeit des Verstärkerchips zu vermeiden. Durch die erfindungsgemäße Nutzung einer gemeinsamen Pumplichtquelle für den Verstärkerchip und den Laserchip, wobei das Pumplicht zuerst den Verstärkerchip und danach den Laserchip erreicht, entsteht eine kostengünstige Anordnung. Um die beabsichtigte Funktion der Kombination aus Mikrochip-Laser und optischem Verstärker zu ermöglichen, ist erfindungsgemäß die Absorption des Pumplichts im Verstärkerchip so bemessen, dass das in den Laserchip gelangende Pumplicht für die passive Güteschaltung des Mikrochip-Lasers ausreicht.

[0014] Eine zweckmäßige Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung besteht darin, dass das Pumplicht mittels einer Linse durch den Verstärkerchip in den Laserchip fokussiert wird und das verstärkte Licht des Mikrochip-Lasers mittels eines dichroitischen Spiegels aus der optischen Achse des Pumplichts herausgespiegelt wird. Infolge der Verwendung eines Mikrochip-Lasers mit einem sättigbaren Absorberspiegel zur passiven Güteschaltung läuft das Laserlicht entgegengesetzt zur Richtung des Pumplichts und wird mit dem dichroitischen Spiegel vom Pumplicht getrennt. Der dichroitische Spiegel reflektiert das Laserlicht und ist für das Pumplicht transparent. Die Sammellinse vor dem Verstärkerchip wird doppelt genutzt, sowohl zur Fokussierung des Pumplichts in den Laserchip als auch zur Kollimation des divergenten, verstärkten Laserlichts.

[0015] Die optimale Nutzung des Pumplichts und eine Beschränkung der ASE im optischen Verstärker wird erreicht, wenn gemäß Patentanspruch 3 die Pumplichtquelle im Einmodenbetrieb arbeitet. In diesem Fall ist der Fokus des Pumplichts im Laserchip beugungsbegrenzt und das erzeugte, ebenfalls beugungsbegrenzte Laserlicht durchläuft den Verstärkerchip genau im gepumpten Volumen. Dadurch werden die im Verstärkerchip gepumpten Zustände mit jedem Laserpuls wieder entleert und die Wahrscheinlichkeit der spontanen Emission ist gering.

[0016] Wird gemäß Patentanspruch 4 eine übliche Pumplichtquelle im Mehrmodenbetrieb verwendet, so ist der Durchmesser des im Mikrochip entstehenden Kanals mit Laserbetrieb durch die Abbildung der Austrittsöffnung der Pumplichtquelle bestimmt. In diesem Fall ist die beugungsbegrenzte Divergenz des Laserlichts im Verstärkerchip gering und der Durchmesser des verstärkten Lichts ist geringer als der gepumpte Querschnitt. Dadurch kann nicht die gesamte Pumpleistung zur Verstärkung genutzt werden und die Wahrscheinlichkeit der spontanen Emission im Verstärker ist größer als bei der Verwendung einer Pumplichtquelle im Einmodenbetrieb gemäß Anspruch 3.

[0017] Eine zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, dass gemäß Anspruch 5 als Pumplichtquelle ein Halbleiterlaser verwendet wird. Die Vorteile des Halbleiterlasers bestehen in seinem einfachen und kostengünstigen Aufbau sowie in der Anpassungsmöglichkeit der Pumpwellenlänge an das Absorptionsspektrum des Laserchips.

[0018] Wegen der geringen spektralen Breite des Verstärkungsbandes eines Laserkristalls aus Nd:YVO₄ ist die maximale Resonatorlänge für einen longitudinalen Einmodenbetrieb eines Mikrochip-Lasers mit diesem Laserkristall relativ groß. Deshalb ist es gemäß Anspruch 6 zweckmäßig, wenn sowohl der Laserchip als auch der Verstärkerchip aus dem Laserkristall Nd:YVO₄ besteht. Auf diese Weise lässt sich ein Mikrochip-Laser im Einmodenbetrieb mit einer Laserwellenlänge von 1064 nm einfach aufbauen. Weil der Verstärkerchip aus dem gleichen Lasermaterial Nd:YVO₄ besteht, kann eine gemeinsame Pumplichtquelle mit einer Wellenlänge von 808 nm verwendet werden, bei der Nd:YVO₄ ein Absorptionsmaximum besitzt. Zweckmäßig wird eine Pumplichtquelle verwendet, die linear polarisiertes Licht emittiert, wobei die Polarisationsrichtung des Pumplichts parallel zur c-Achse des Laserkristalls orientiert ist. In diesem Fall ist die Absorption des Pumplichts im Laserkristall maximal, wodurch eine optimale Nutzung des Pumplichts erreicht wird.

[0019] Eine alternative Ausgestaltung der Erfindung gemäß Anspruch 7 besteht darin, dass sowohl der Laserchip als auch der Verstärkerchip aus dem Laserkristall Yb:Y₃Al₅O₁₂ besteht und die Wellenlänge des Pumplichtes 940 nm beträgt. Der Vorteil der Verwendung des Laserkristalls Yb:Y₃Al₅O₁₂ besteht darin, dass die von einem solchen Mikrochip-Laser erzeugte Wellenlänge bei etwa 1030 nm liegt und eine effiziente Nachverstärkung des Ausgangssignals der erfindungsgemäßen Anordnung mit einem leistungsfähigen Faserverstärker bei dieser Wellenlänge leicht möglich ist. Nachteilig bei der Verwendung von Yb:Y₃Al₅O₁₂ als Lasermaterial ist dessen große spektrale Breite des Verstärkungsbandes. Dadurch ist es schwierig, einen longitudinalen Einmodenbetrieb des Mikrochip-Lasers zu erreichen.

[0020] Eine weitere zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung gemäß Anspruch 8 wird erreicht, wenn das aus dem Verstärkerchip austretende Laserlicht mittels einer fokussierenden Linse in eine Lichtleitfaser eingekoppelt wird. In diesem Fall steht dem Anwender eine Pulslichtquelle zur Verfügung, deren Ausgangssignal in einfacher Weise entweder an eine Applikation herangeführt werden kann oder in einem nachfolgenden Faserverstärker verstärkt werden kann.

[0021] Die Erfindung wird nachfolgend an Hand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

[0022] In der zugehörigen Zeichnung zeigt die **Fig. 1** einen Querschnitt durch die erfindungsgemäße Kombination aus Mikrochip-Laser und Verstärker entlang der optischen Achse des Pumplichts.

[0023] Der Mikrochip-Laser **1** besteht entsprechend dem Stand der Technik aus einem Laserchip **2** und einem sättigbaren Absorberspiegel **3**, welcher auf einer Wärmesenke **4** montiert ist. Der Resonator des Mikrochip-Lasers **1** wird durch den sättigbaren Absorberspiegel **3** und den Auskoppelspiegel **5** gebildet und besitzt eine Länge von 200 Mikrometern.

[0024] Erfindungsgemäß besteht der optische Verstärker **6** aus einem direkt auf dem Auskoppelspiegel **5** des Laserchips **2** angebrachten Verstärkerchip **7** mit einer Dicke von 400 Mikrometern. Die Vorderseite **8** des Verstärkerchips **7** ist sowohl für das Pumplicht **9** als auch für das Laserlicht **10** entspiegelt. Als gemeinsame Pumplichtquelle **11** für den Verstärkerchip **7** und den Laserchip **2** wird eine Laserdiode verwendet, die inkohärentes Licht mit einer Wellenlänge von 808 nm abstrahlt. Das aus der Pumplichtquelle **11** divergent austretende Pumplicht **9** wird mittels einer ersten Sammellinse **12** kollimiert und anschließend gemäß Patentanspruch 2 mit einer zweiten Sammellinse **13** in den Laserchip **2** fokussiert, so dass es zuerst den Verstärkerchip **7** und danach den Laserchip **2** erreicht. Die Absorption des Pumplichts **9** im Verstärkerchip **7** ist so bemessen, dass das in den Laserchip **2** gelangende Pumplicht **9** für die passive Güteschaltung des Mikrochip-Lasers **1** ausreicht. Das wird durch die angegebene Dicke des Verstärkerchips **7** von 400 µm erreicht.

[0025] Das verstärkte Licht **14** des Mikrochip-Lasers **1** wird nach der Kollimation durch die zweite Sammellinse **13** mittels eines dichroitischen Spiegels **15** aus der optischen Achse **16** des Pumplichts **9** herausgespiegelt, um es für die vorgesehene Anwendung nutzen zu können. Der dichroitische Spiegel **15** transmittiert das Pumplicht **9** und reflektiert das verstärkte Licht **14** des Mikrochip-Lasers **1**.

[0026] Der Laserchip **2** und der Verstärkerchip **7** bestehen aus dem Laserkristall Nd:YVO₄. Das Pumplicht **9** der Laserdiode ist linear polarisiert, wobei die Polarisationsrichtung parallel zur c-Achse des Laserkristalls im Verstärkerchip **7** und im Laserchip **2** orientiert ist. Bei dieser Orientierung des Pumplichts **9** ist dessen Absorption im Laserkristall Nd:YVO₄ maximal, was zu einer optimalen Nutzung des Pumplichts **9** führt.

[0027] Die Vorteile des erfindungsgemäßen Aufbaus des Mikrochip-Lasers **1** mit optischem Verstärker **6** bestehen darin, dass infolge der Verwendung nur einer Pumplichtquelle **11** ein einfacher und kostengünstiger Aufbau erreicht wird und dass auch bei einer geringen Repetitionsrate des Mikrochip-Lasers

1 automatisch ein geringer Rauschuntergrund durch ASE entsteht, weil in diesem Fall auch der Verstärkerchip **7** entsprechend schwach gepumpt wird.

[0028] Die erfindungsgemäße Anordnung aus Mikrochip-Laser und optischem Verstärker kann als Pulslichtquelle mit variabler Repetitionsrate beispielsweise in der Materialbearbeitung, in der nicht-linearen Optik, zur Erzeugung eines Superkontinuums, für zeitaufgelöste Fluoreszenzmessungen und für Laser-Abstandsmessung eingesetzt werden.

Bezugszeichenliste

1	Mikrochip-Laser
2	Laserchip
3	sättigbarer Absorberspiegel
4	Wärmesenke
5	Auskoppelspiegel
6	optischer Verstärker
7	Verstärkerchip
8	Vorderseite des Verstärkerchips
9	Pumplicht
10	Laserlicht
11	Pumplichtquelle
12	erste Sammellinse
13	zweite Sammellinse
14	verstärktes Licht
15	dichroitischer Spiegel
16	optische Achse des Pumplichts

Patentansprüche

1. Passiv gütegeschalteter Mikrochip-Laser mit optischem Verstärker, wobei der Resonator des Mikrochip-Lasers aus einem Laserchip mit Auskoppelspiegel und einem sättigbaren Absorberspiegel besteht und der Mikrochip-Laser ebenso wie der Verstärker optisch gepumpt wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- a) der optische Verstärker (**6**) aus einem vor dem Auskoppelspiegel (**5**) des Laserchips (**2**) angebrachten Verstärkerchip (**7**) besteht,
- b) die Vorderseite (**8**) des Verstärkerchips (**7**) sowohl für das Pumplicht (**9**) als auch für das Laserlicht (**10**) entspiegelt ist,
- c) eine gemeinsame Pumplichtquelle (**11**) für den Verstärkerchip (**7**) und den Laserchip (**2**) verwendet wird,
- d) das Pumplicht (**9**) zuerst den Verstärkerchip (**7**) und danach den Laserchip (**2**) erreicht
- e) und die Absorption des Pumplichts (**9**) im Verstärkerchip (**7**) so bemessen ist, dass das in den Laserchip (**2**) gelangende Pumplicht (**9**) für die passive Güteschaltung des Mikrochip-Lasers (**1**) ausreicht.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

a) das Pumplicht (**9**) mittels einer Sammellinse (**13**) durch den Verstärkerchip (**7**) in den Laserchip (**2**) fokussiert wird

b) und dass das verstärkte Laserlicht (**14**) mittels eines dichroitischen Spiegels (**15**) aus der optischen Achse des Pumplichts (**16**) herausgespiegelt wird.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumplichtquelle (**11**) im Einmodenbetrieb arbeitet, wodurch im Laserchip (**2**) ein beugungsbegrenzter Kanal mit Laserbetrieb entsteht und im Verstärkerchip (**7**) der Durchmesser des verstärkten Lichts an jeder Stelle entlang der optischen Achse (**16**) gleich dem des Pumplichts ist.

4. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumplichtquelle (**11**) im Mehrmodenbetrieb arbeitet, wodurch der Durchmesser des im Laserchip (**2**) entstehenden Kanals mit Laserbetrieb durch die Abbildung der Austrittsöffnung der Pumplichtquelle (**11**) bestimmt wird und im Verstärkerchip (**7**) der Durchmesser des verstärkten Lichts geringer ist als der Durchmesser des Pumplichts.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumplichtquelle (**11**) ein Halbleiterlaser ist.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) sowohl der Laserchip (**2**) als auch der Verstärkerchip (**7**) aus dem Laserkristall Nd:YVO₄ besteht,
- b) die Wellenlänge des Pumplichts 808 nm beträgt
- c) das Pumplicht (**9**) linear polarisiert ist
- d) und die Polarisationsrichtung des Pumplichts (**9**) parallel zur c-Achse des Laserkristalls orientiert ist.

7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) sowohl der Laserchip (**2**) als auch der Verstärkerchip (**7**) aus dem Laserkristall Yb:Y₃Al₅O₁₂ besteht
- b) und die Wellenlänge des Pumplichtes 940 nm beträgt.

8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem Verstärkerchip (**7**) austretende verstärkte Licht (**14**) mittels einer fokussierenden Linse in eine Lichtleitfaser eingekoppelt wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

