PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

307 955

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

H01S 3/08	(2006.01)
H01S 3/0941	(2006.01)
H01S 3/16	(2006.01)

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2018-228**
(22) Přihlášeno: **17.05.2018**
(40) Zveřejněno: **11.09.2019**
(Věstník č. 37/2019)
(47) Uděleno: **31.07.2019**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **11.09.2019**
(Věstník č. 37/2019)

(56) Relevantní dokumenty:

WO 2015059630 A; WO 2010125534 A; US 5886972 A; US 5943358 A; GB 2239984 B.

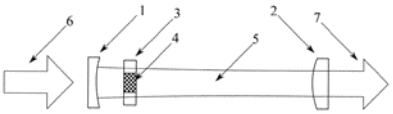
(73) Majitel patentu:
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha 8, Libeň, CZ

(72) Původce:
Dr. Joachim Hein, Magdala 99441, DE
Dr. rer. nat. Jörg Körner, Dolní Břežany, CZ
Antonio Lucianetti, Ph.D., Dolní Břežany, CZ
Ing. Tomáš Mocek, Ph.D., Dolní Břežany, CZ

(74) Zástupce:
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i./CITT, Karel Bauer, Za Radnicí 835, 252 41 Dolní Břežany

(54) Název vynálezu:

Laserový systém v uspořádání nestabilního optického rezonátoru poskytující tvarovaný profil intenzity výstupního svazku a způsob jeho vytvoření



(57) Anotace:
Tento vynález se týká laserového systému a metody pro generování definovaného prostorově tvarovaného laserového svazku v nestabilním laserovém rezonátoru. Laserový systém pro tvarování módu laserového svazku (7) v nestabilním laserovém rezonátoru obsahuje aktivní médium (3), které zahrnuje oblast buzení (4), přičemž distribuce zisku se generuje prostřednictvím prostorového profilu intenzity svazku (7) optického buzení. Příčný rozměr svazku (7) je menší než odpovídající rozměr aktivního laserového média (3). V preferovaném provedení může systém dále zahrnovat koncové buzení za účelem zavedení prostorově tvarovaného svazku optického buzení (6) do aktivního média (3), a/nebo aktivní nebo pasivní prvek pro úpravu ztrát v rezonátoru, a/nebo prostředky výstupního vyvázání laserového svazku z uvedeného nestabilního rezonátoru. Systém dle tohoto vynálezu je schopný generovat homogenní profil svazku.

CZ 307955 B6

Laserový systém v uspořádání nestabilního optického rezonátoru poskytující tvarovaný profil intenzity výstupního svazku a způsob jeho vytvoření

Oblast techniky

Předkládaný vynález se týká laserového systému a metody pro generování definovaného prostorově tvarovaného laserového svazku pomocí nestabilního laserového rezonátoru. Zejména se tento vynález týká laserového systému a metody vhodné pro vytvoření distribuce intenzity výstupního svazku s homogenním profilem (top-hat). Přesněji se využití tohoto vynálezu týká provozu v q-spínaní a/nebo v režimu otevírání dutiny rezonátoru a/nebo jako regenerativního zesilovače a/nebo systému pracujícím v synchronizaci módů.

Dosavadní stav techniky

Generace nanosekundových impulzů v laserovém systému vyžaduje úpravu velikosti paprsku podle výstupní energie, aby se zabránilo laserem indukovanému poškození (LID) na veškeré optice uvnitř systému z důvodu příliš vysoké hustoty záření na těchto optických prvcích. Například typické maximální hodnoty bezpečné hustoty záření pro pulzy o časové délce 10 ns na vlnové délce blízko 1 μm jsou v rozmezí 3 až 10 J/cm². Tudíž, k dosažení energie v rozmezí 1 J, nebo více, se vyžaduje průměr svazku větší než 5 mm. Je však potřeba připomenout, že pro osoby znalé stavu techniky, jsou hodnoty LID známy.

Laser se ve své nejjednodušší podobě skládá z aktivního média, kde dojde ke spontánní emisi, a sady zrcadel odrážejících světlo zpět do aktivního média, což vede k zesílení stimulovanou emisí.

Za účelem generování laserového svazku musejí být zrcadla uspořádána kolem aktivního média tak, aby ztráty světla vyzařovaného laserovým krystalem mezi dvěma zesilujícími průchody byly menší než zisk dosažený při průchodu aktivním médiem. Takové uspořádání se nazývá laserový rezonátor. Laserový rezonátor může být stabilní nebo nestabilní.

Zatímco stabilní rezonátor generuje stejnou distribuci intenzity pro daný prostorový mód rezonátoru po každém průchodu, v případě nestabilního rezonátoru se prostorová distribuce intenzity při každém průchodu mění. To po několika průchodech povede k alespoň částečnému vyvázání generovaného svazku z rezonátoru.

Ve stabilním laserovém rezonátoru obvykle vykazuje generovaný výstupní profil svazku Gaussovu distribuci intenzity odpovídající módu TEM00. Takový profil svazku lze považovat za ideální např. z hlediska schopnosti fokusace. Nicméně takový svazek potřebuje kvůli své velmi nízké strmosti hran relativně velkou aperturu optiky pro jeho přenos prostorem, jakož i s ohledem na velikost excitované oblasti v odpovídajícím aktivním médiu.

Naopak svazek s konstantní úrovní intenzity s poměrně ostrými hranami, takzvaný homogenní profil (EN: top-hat profile), umožňuje výrazně snížit tuto aperturu při zachování stejné maximální úrovně intenzity, obvykle dané prahem poškození optiky. Kromě toho je účinnost laserového systému silně spojena s extrakční intenzitou (nebo s ohledem na pulzní lasery s extrakční hustotou energie), kde vyšší intenzita odpovídá vyšší extrakční účinnosti (W. Koechner, "Solid State Laser Engineering", Springer Science a Business Media, 1999). Proto je možné dosáhnout maximální efektivitu omezenou LID při svazku TEM00 pouze v centru svazku, zatímco se svazkem s homogenním profilem toho lze dosáhnout v celé oblasti svazku. Tudíž generace svazku s homogenní distribucí intenzity je v laseru velmi žádoucí.

Uspořádání současných nestabilních rezonátorů umožňuje generování homogenní distribuce intenzity svazku uvnitř laserového rezonátoru. Základní uspořádání takových rezonátorů tvoří dvě zrcadla zvětšující svazek uvnitř rezonátoru při každém průchodu. Tudíž výsledná distribuce intenzity uvnitř rezonátoru zcela zaplní aperturu aktivního média. Výzva v takových systémech pramení ze skutečnosti, že průměr svazku by rostl, dokud by nedosáhl apertury systémové optiky. Tudíž je nutné do takového uspořádání implementovat metodu omezení velikosti svazku. Absorpční apertury by vedly k plýtvání s energií laseru, proto je velikost paprsku v nestabilních rezonátorech převážně řízena vyvázáním vnější části (geometrický přístup) svazku uvnitř rezonátoru z rezonátoru (tzv. výstupní vyvazování).

V mnoha předchozích provedeních bylo dosaženo prostorově závislého výstupního vyvázání tvrdou aperturou na jednom z optických prvků rezonátorů pomocí přeplnění apertury jednoho z rezonátorových zrcadel nebo pomocí speciálních rozřezaných zrcadel (angl. scraper mirror). Velikost módu rezonátoru je takto účinně omezena, a proto se efektivně eliminuje oříznutí na apertuře aktivního média. Podrobnosti o těchto systémech lze nalézt v nepatentové literatuře (W. Koechner, "Solid State Laser Engineering", Springer Science a Business Media, 1999). Nevýhodou takového schématu je, že výstupní svazek se nepodobá módu v rezonátoru, protože jeho část je zakryta například jedním ze zrcadel rezonátoru. Tudíž má tvar profilu výstupní intenzity často nežádoucí geometrický tvar, například torus. Kromě toho zakrytí vytváří velmi strmé hrany v profilu svazku, a proto významné difrakční efekty narušují šířící se výstupní svazek. Aby dále nedošlo k oříznutí na apertuře aktivního média, nemůže intenzita uvnitř rezonátoru vyplnit jeho aperturu úplně, neboť musí být zachována určitá vůle mezi svazkem a aperturou aktivního média, čímž se omezuje extrakční účinnost.

Aby se zabránilo takovému zakrytí, bylo navrženo US 4096447 A zahrnutí částečného reflexního zrcadla jako jednoho z koncových zrcadel. Tento přístup eliminuje zakrytí svazku, ale mód rezonátoru musí být omezen ve své velikosti vnitřní aperturou např. laserového média. Podle zvětšení módu rezonátoru absorbuje tato apertura jakékoliv množství energie v rezonátoru, která není vyvázána z rezonátoru, a prostřednictvím vnitřního zvětšení rezonátoru svazek překročí průměr této apertury. Podobné přístupy byly hlášeny již předtím a používali polarizátor a vlnové desky umístěné uvnitř rezonátoru, a tudíž umožnili vyvázání svazku při každém oběhu. I když tato nastavení řeší problém zakrytí a také do jisté míry vyplnění apertury laserového krystalu, je účinnost stále omezená, jelikož část energie uložená v rezonátoru není vyvázána ze systému, ale absorbována aperturou. Protože apertura zdůrazní strmé hrany, difrakční efekty mohou znovu narušit profil svazku.

Tudíž se vynakládá obrovské úsilí k nalezení způsobu, jak efektivně omezit velikost svazku v nestabilním rezonátoru bez generování ostrých hran, krytí nebo ztrát, které nepřispívají k výstupní energii.

V EP 0231050 B1, se používá zrcadlo s radiálně se měnícím profilem odrazivosti, také nazývané zrcadlo s Gaussovým profilem odrazivosti (dále jen GRM), které řeší většinu těchto problémů. Umožňuje generovat definovanou distribuci výstupní intenzity pomocí super Gaussovského profilu, který je zejména při vyšších řádech blízko ke skutečnému homogennímu profilu. Tato technika se používá u mnoha průmyslových laserů o vysokých energiích. Avšak jak bude dále ukázáno, tato technika má stále i nevýhody, které omezují extrakční účinnost a také nedovolují její používání v kombinaci s nízko ziskovým médiem, jako například ytterbiem dopovaná aktivní média, která vzbudila velký zájem v posledních dvou desetiletích díky velmi dobré kompatibilitě s buzením laserovými diodami a vysokou vlastní účinností.

Podrobně lze teoreticky odvodit uspořádání systému založeného na GRM a vypočtení profilu paprsku v nepatentové literatuře. Komplexním článkem shrnujícím předchozí práce je "Graded reflectivity mirror unstable laser resonators", M. Morin, v Journal of Optical and Quantum Electronics 29 (1997), str. 819-866. Podle tohoto článku, homogenní nebo super Gaussovské distribuce svazku bez nízkointenzivní oblasti uprostřed lze dosáhnout pouze v provedení, když

ρ_{GRM} maximální odrazivosti (podle amplitudy elektrického pole) v centru GRM splňuje tuto podmínku:

$$\rho_{GRM}^2 \leq \frac{1}{|M|^{PW}}$$

M je zde zvětšení geometrického oběhu rezonátoru a *PW* je požadovaný řád super Gaussovského výstupního profilu. Kromě toho je zpětná vazba γ rezonátoru (opět z hlediska elektrického pole amplitudy) dána:

$$|\gamma|^2 = \frac{\rho_{GRM}^2}{M^2}$$

Tyto dvě konstrukční pravidla určují, že příslušné provedení laseru musí vykazovat vysoký zisk za účelem kompenzace nízké zpětné vazby nebo jinak je silně omezen řád super Gaussovského výstupního svazku, nebo alternativně že je rezonátor omezen na nízké zvětšení, což zvyšuje citlivost nastavení. To doposud omezovalo použití těchto rezonátorů jen s materiály dopovanými neodymem a dalšími materiály s vysokým ziskem.

Další nevýhodou tohoto přístupu je, že buzenou oblast laseru nelze použít zcela, jelikož kompletní mód rezonátoru se musí vejít do aktivního média, což omezuje extrakční účinnost ve vnějších oblastech profilu svazku. Jelikož je navíc výstupní vyvazování realizováno prostřednictvím GRM a uvolňuje zlomek prostorově tvarované intenzity uvnitř rezonátoru v každém oběhu, takové lasery nelze provozovat v režimu otevírání dutiny rezonátoru, který by umožnil kratší délky impulzů, nebo používat jako regenerativní zesilovač.

Následující dokumenty popisují obdobná technické řešení s nevýhodami, které jsou zmíněny výše.

Dokument WO 2015059630 popisuje řešení s Gaussovským budicím paprskem, který je transformován pomocí radiální a podélné změny dopování aktivního laserového media na homogenní profil intenzity výstupního svazku.

Dokument WO 2010125534 popisuje řešení s Gaussovským budicím paprskem, který je transformován pomocí difrakčních optických prvků na homogenní profil intenzity výstupního svazku.

Dokument US 5886972 popisuje řešení laserového zdroje v podstatě s plochým profilem intenzity výstupního paprsku.

Podstata vynálezu

Úlohou předkládaného vynálezu je překonání výše uvedených nevýhod představením systému a metody tvarování módů (EN: mode shaping) laserového svazku v nestabilním optickém rezonátoru bez zavedení apertur, což zmírní difrakční efekty a další aperturami způsobené oběhové ztráty. Profil výstupního svazku generovaný z navrženého uspořádání, bude dle tohoto vynálezu připomínat homogenní distribuci intenzity uvnitř rezonátoru, a tedy homogenní profil svazku.

Dalším aspekt výhod tohoto vynálezu je, že umožňuje také použití nízkoziskového média, jako materiálů dopovaných ytterbiem, a proto vynález umožňuje využívat širší škálu laserových materiálů spolu s nestabilním provedením laserového rezonátoru, a tudíž získat nové vlnové délky, jakož i vyšší účinnost laseru.

Kromě toho, vynález umožňuje generovat profily svazku s homogenním profilem bez nutnosti užití GRM, které obecně lze považovat za složité na výrobu a nastavení.

V jistém provedení tohoto vynálezu je uveden laserový systém pro tvarování módů laserového svazku v nestabilním laserovém rezonátoru obsahující aktivní médium, přičemž aktivní médium zahrnuje oblast buzení, kde se generuje distribuce zisku prostřednictvím prostorového profilu intenzity svazku optického buzení, přičemž příčný rozměr svazku je menší než odpovídající rozměr aktivního laserového média.

Profil intenzity svazku optického buzení v aktivním médiu je realizován v rámci tzv. koncového buzení, což znamená, že se svazek optického buzení spolu-šíří skrze aktivní médium současně a paralelně se svazkem uvnitř nestabilního optického rezonátoru.

Prostorový profil výstupní intenzity navrženého uspořádání laseru může nabývat jakéhokoli geometrického tvaru, přednostně kruhového, eliptického, obdélníkového, čtvercového nebo hexagonálního. Podle tohoto provedení poskytuje vynález přibližně homogenní distribuci intenzity v libovolném geometrickém tvaru.

Tento vynález překonává dosavadní stav techniky tím, že zvětšující se mód rezonátoru je zesílen pouze ve stanovené části aktivního média, kde prostorově tvarovaný svazek optického buzení generuje inverzi a tudíž zisk.

Zdrojem svazku optického buzení může být jakýkoliv vhodný budicí zdroj, nejlépe diodová budicí jednotka, déle i světlo vyzařující diody, výbojky nebo jiný laserový zdroj.

V preferovaném provedení vynálezu je svazek optického buzení charakterizován homogenní distribucí intenzity. Strmost hran distribuce intenzity se může lišit podle požadované strmosti hrany v profilu intenzity generovaného výstupního svazku.

Díky prostorově definované distribuci zisku v aktivním médiu se nebudou zesilovat části svazku uvnitř rezonátoru, které jsou mimo oblast zisku generované budicím svazkem. Z důvodu ztrát v rezonátoru (vyvstávajících například z běžných mechanismů ztrát a výstupního vyvazování) a zvětšení při každém oběhu se bude intenzita této části svazku uvnitř rezonátoru neustále snižovat a tedy omezovat průměr svazku. Jelikož nejsou potřebné žádné apertury, nedochází k dalším ztrátám v dutině a ořezání svazku na ostrých hranách. Jelikož je svazek uvnitř rezonátoru větší než svazek optického buzení, používá se celková oblast buzení k extrakci, což umožní vysokou extrakční účinnost laseru.

V preferovaném provedení vynálezu systém dále zahrnuje koncové buzení za účelem dodání prostorově tvarovaného svazku optického buzení do aktivního média.

V provedení vynálezu je aktivní médium vyrobeno z materiálu s nízkým ziskem, výhodně z pevnolátkového média, lépe z materiálu dopovaného vzácnou zeminou, jako např. aktivního média dopovaného ionty neodymu, erbia, ytterbia nebo thulia.

Tato média jsou dobře známá, protože vykazují fluorescenci s dlouhou dobou života luminiscenčního centra na vybuzené hladině, která je ideální pro diodové buzení, a relativně velkou šířku pásma, což je činí vhodnými pro použití v ultra krátkých pulzních laserech, jakož i v přeladitelných laserových zdrojích. Využití těchto médií v konceptu rezonátoru založeném na GRM bylo zatím silně omezeno, jelikož v tomto konceptu je potřeba minimálního zisku v závislosti na strmosti hran distribuce intenzity výstupního svazku. Tato nevýhoda je široce eliminována v rámci systému tohoto vynálezu, kde je kompenzováno pouze snížení intenzity uvnitř rezonátoru v důsledku zvětšování svazku v rezonátoru, zatímco ztráty vzniklé výstupním vyvazováním mohou být malé.

V dalším preferovaném provedení, systém dále zahrnuje aktivní a/nebo pasivní prvek pro úpravu ztrát v rezonátoru v čase.

Aktivní prvky jsou elektronicky řízené modulátory, které mohou být realizovány v některých provedeních pomocí: akustooptických modulátorů, elektrooptických modulátorů (např. Pockelsova cela v kombinaci s polarizační optikou), mechanických modulátorů (klapka, otočné zrcadlo).

Pasivní prvky modulují ztráty v rezonátoru na základě intenzity uvnitř rezonátoru. Takové prvky jsou například realizovány pomocí: saturovatelných absorbérů (např. objemové absorbéry nebo zrcadla), nelineárních efektů (např. Kerrův efekt generující další čočku při vysokých intenzitách).

V některých provedeních systém obsahuje výstupní vyvazování, které může být realizováno částečně odrazným zrcadlem, nebo děličem svazku, nebo polarizátorem a polarizaci otáčejícím prvkem.

V upřednostňovaném provedení vynálezu lze dosáhnout oddělení laserového svazku uvnitř rezonátoru a svazku optického buzení pomocí dichroického zrcadla.

Podle dalšího aspektu vynálezu lze použít výše uvedený systém, tedy provozovat v režimu q-spínaní a/nebo režimu otevírání dutiny rezonátoru a/nebo jako regenerativní zesilovač a/nebo v režimu synchronizace módů.

Podle jiného aspektu tohoto vynálezu je uveden způsob tvarování módu laserového svazku v nestabilním laserového rezonátoru obsahující aktivní médium, přičemž způsob zahrnuje krok zavedení svazku optického buzení do oblasti v aktivním médiu, přičemž distribuce zisku se generuje prostřednictvím prostorového profilu intenzity svazku optického buzení.

V některých provedeních jsou rezonátorové ztráty upraveny pomocí alespoň jednoho aktivního prvku a/anebo alespoň jednoho pasivního prvku. Takové metody umožňují generovat krátké pulzy z laseru s využitím některé z těchto technik nebo použití takového rezonátoru jako regenerativního zesilovače.

V některých provedeních se laserový paprsek vyváže za pomocí prostředků ze skupiny sestávající z: částečně odrazného zrcadla, děliče svazku, polarizátoru a polarizaci otáčejícího prvku.

V některých provedeních se svazek optického buzení naváže do uspořádání rezonátoru pomocí dichroického zrcadla.

Objasnění výkresů

Obrázek 1 představuje základní uspořádání rezonátoru podle tohoto vynálezu.

Obrázek 2 představuje normalizovanou distribuci zisku dosaženou systémem zveřejněným v upřednostňovaném provedení.

Obrázek 3 představuje profily výstupního svazku pro různou odrazivost výstupního vyvazujícího prvku.

Obrázek 4 představuje uspořádání rezonátoru s proměnným výstupním vyvazováním.

Obrázek 5 představuje uspořádání rezonátoru pro provoz v režimu q-spínaní nebo provoz v režimu otevírání dutiny rezonátoru.

Příklady uskutečnění vynálezu

Následující podrobný popis provedení je stručným přehledem systému, na kterém se uplatňují nároky. Detailní a vyčerpávající popis zveřejněný v této části nemá vynález omezit v žádném ohledu. Podobně vynález nebude omezen číselnými hodnotami, výrobními zařízeními, provozními podmínkami a dalšími proměnnými, pokud zde není uvedeno jinak.

Podle preferovaného provedení vynálezu je laserový systém založen na nestabilním uspořádání rezonátoru. Nestabilní uspořádání rezonátoru může být pozitivní větev uspořádání rezonátoru, jak je uvedeno na obrázku 1.

Uvedené uspořádání se skládá z dvou sférických zrcadel, zejména z konkávního zrcadla 1, reflexního pro laserové a antireflexního pro budicí záření, a konvexního výstupního vyvazujícího zrcadla 2 a aktivního média 3. Distribuce zisku v aktivním médiu 3 je generována svazkem optického buzení 6. Svazek optického buzení 6 může být poskytován jiným laserovým systémem nebo diodovým laserovým zdrojem, přičemž provedení zahrnuje prostředek tvarování svazku.

Dále může mít svazek optického buzení 6 přibližně čtvercový homogenní tvar.

Aktivní médium 3 obsahuje buzenou oblast 4 v aktivním médiu 3, do něhož směřuje svazek optického buzení 6. Z oblasti 4 se generuje svazek uvnitř rezonátoru 5 tak, že profil připomíná distribuci zisku generovanou svazkem optického buzení 6.

V provedení zveřejněném výše a zobrazeném na obrázku 1 se realizuje vstupní vyvazování svazku optického buzení 6 do laserového rezonátoru pomocí konkávního dichroického zrcadla 1.

Ve stejném provedení lze výstupní vyvazování provádět pomocí částečně reflexního konvexního výstupního vyvazovacího zrcadla 2. Část svazku z rezonátoru 5 prošlá tímto zrcadlem představuje laserový výstupní svazek 7.

Podle uvedeného provedení je dána vzdálenost L mezi konkávním zrcadlem 1 o poloměru R_1 a částečně reflexním konvexním výstupním navazovacím zrcadlem 2 o poloměru R_2.

$$2L = R_1 + R_2$$

Oběhové zvětšení se vypočítá pomocí

$$M = \left|\frac{R_1}{R_2}\right|$$

2-rozměrné pole módu uvnitř laserového rezonátoru se vypočítá přibližně pomocí

$$V(x,y) = V(0,0)\prod_{k=1}^{\infty}\frac{\rho\left(\frac{x}{M^k},\frac{y}{M^k}\right)}{\rho(0,0)},$$

kde $V(x, y)$ je amplituda intenzity elektrického pole módu rezonátoru podle souřadnic x a y kolmých k optické ose. V předchozím stavu techniky se $\rho(x, y)$ vždy uvažuje s hodnotu menší než 1, představující prostorově závislé ztráty v rezonátoru (týkající se síly pole), například profil odrazivosti GRM. Způsob tvarování je založen na prostorové modulaci ztrát v rezonátoru, dále

bude označován jako modulace ztrát. V provedení podle tohoto vynálezu má $\rho(x, y)$ hodnotu větší než 1, kvůli modulaci zisku, dále označován jako modulace zisku.

Obrázek 1 představuje preferované provedení, v případě kterého byly použity následující parametry: R_1 = 5000 mm, R_2 = -4000 mm, M = 1.25.

Obrázek 2 představuje normalizovanou distribuci zisku, kde distribuce zisku je obdélníkovou super Gaussovou distribucí 8. řádu o šířce 4 mm. Výše uvedená normalizovaná distribuce zisku byla vypočtena pro modelový systém podle výše popsaného systému znázorněného na obrázku 1.

Obrázek 3 zobrazuje normalizovaný profil módu výstupního tvarovaného laserového svazku 7 pro různé hodnoty odrazivosti částečně reflexního konvexního výstupního vyvazovacího zrcadla 2. Příslušná odrazivost *R* (z hlediska intenzity) částečně reflexního konvexního výstupního vyvazovacího zrcadla 2 a minimální oběhový zisk *g*, které jsou nezbytné pro kompenzaci ztrát v rezonátoru, generovaných zvětšením a výstupním vyvazováním, jsou uvedeny nad jednotlivými grafy.

Lze prokázat, že v důsledku modulace zisku módu rezonátoru není generovaná žádná díra uprostřed tvarovaného laserového svazku 7, ani pro velmi nízké výstupní vyvazování, což umožňuje dosažení vysoké zpětné vazby pro podporu materiálů s nízkým ziskem. Jediným viditelným účinkem pro nízké výstupní vyvazování je, že křídla profilu tvarovaného laserového svazku 7 jsou rozmazána. To je v nastavení laseru obvykle přijatelné, pokud má optika náležité rozměry. Protože je navíc ustálená úroveň intenzity extraktovaného módu vždy větší nebo rovna oblasti buzené 4, extrakční účinnost je vždy homogenně distribuována po celé oblasti buzení 4 a proto není geometricky omezena.

Kromě toho profil svazku optického buzení 6 i generovaný profil výstupního svazku 7 jsou kvadratické. Ve skutečnosti bude profil intenzity výstupního laserového svazku 7 připomínat profil svazku uvnitř rezonátoru 5, který je podobný distribuci zisku odpovídající profilu intenzity svazku optického buzení 6.

V jiném provedení podle obrázků 4 a 5 bylo v systému popsaném výše nahrazeno konvexní výstupní vyvazovací zrcadlo 2 konvexním zrcadlem 10, které je vysoce reflexní. Výstupní vyvazování se realizuje pomocí změny polarizace, zařízení na změnu polarizace je nejlépe vybrat ze skupiny uvedené v popisu, výhodně zmíněného zde, polarizátoru 8 a čtvrtvlnové destičky 9, která umožňuje nastavit výstupní vyvazování za účelem optimalizace daného systému, jak je například znázorněn na obrázku 4.

Dodatečným zavedením Pockelsovy cely 11 do rezonátoru, jak znázorněno na obrázku 5, lze použít uspořádání pro provoz v režimu q-spínání. Na rozdíl od systémů založených na GRM je výstupní svazek 7 vyvázán polarizátorem 8. V případě Pockelsovy cely 11 je to výhodné, neboť Pockelsovu celu 11 lze v režimu q-spínání provozovat při méně než čtvrtvlnovém napětí. Úpravou napětí Pockelsovy cely 11 lze v zapnutém stavu upravit výstupní vyvázání za jeden oběh, což umožní optimalizovat tvar a energii výstupního pulzu.

Kromě toho umožňuje stejné schéma jako na obrázku 4 také provoz v režimu otevírání dutiny rezonátoru, pokud je Pockelsova cela 11 přepnuta do režimu čtvrtvlnného provozu. Ačkoliv profil svazku bude mít v tomto případě delší hrany (provedení výstupního vyvazování na obrázku 3), je to stále ve většině případů přijatelné. V tomto provozním režimu bude doba trvání pulzu v rozmezí oběhového času rezonátoru, tedy kratší než v režimu q-spínání. Aktuální strmost hran v tomto provozním režimu bude souviset s dostupným ziskem laserového systému a se ztrátami, které jsou přítomny v rezonátoru, zejména mimo zesilující oblast 4 (např. zpětná absorpce).

Toto schéma rezonátoru lze provozovat v režimu otevírání dutiny, takže je možné též zavést (angl. seed) mód do rezonátoru a využit ho jako regenerativní zesilovač prostřednictvím zavedení

pulzu do rezonátoru v opačném směru než se šíří výstup v režimu otevírání dutiny. V zásadě je také možná kombinace s modulací ztrát během oběhu nebo s metodou synchronizace módů.

Průmyslová využitelnost

Tento vynález lze průmyslově uplatnit v oblasti optiky, zejména v oblasti laserové technologie určené k modulaci tvaru svazku.

Konkrétněji lze vynález použít k realizaci laserových systémů o vysokém výkonu a/nebo s vysokou energií s širokou škálou parametrů týkajících se pulzního/kontinuálního provozu, parametrů pulzu a vlnové délky. Takové lasery jsou použitelné v široké škále výzkumných, lékařských a průmyslových aplikací, jako lasery s optickým buzením pro jiné laserové systémy, laserové spékání, laserové vyklepávání, zobrazovací diagnostiky, chirurgie atd.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Laserový systém poskytující tvarovaný homogenní profil intenzity laserového svazku (7) v nestabilním laserového rezonátoru obsahující aktivní médium (3), **vyznačující se tím**, že aktivní médium (3) obsahuje oblast buzení (4) uspořádanou pro generaci distribuce zisku prostřednictvím prostorového profilu intenzity svazku optického buzení, přičemž příčný rozměr svazku (7) je menší než odpovídající rozměr aktivního laserového média (3).

2. Laserový systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje koncové buzení uspořádané k dodání prostorově tvarovaného svazku optického buzení (6) do aktivního média (3).

3. Laserový systém podle některého z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že aktivní médium (3) je vyrobeno z materiálu s nízkým ziskem, výhodně z pevnolátkového média, výhodněji z materiálu dopovaného vzácnou zeminou ze skupiny prvků: neodym, erbium, ytterbium, thulium.

4. Laserový systém podle některého z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že systém dále obsahuje alespoň jeden aktivní prvek nebo alespoň jeden pasivní prvek pro úpravu ztrát v rezonátoru.

5. Laserový systém podle některého z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že systém dále obsahuje prvek výstupního vyvazování vybraný z následující skupiny: částečně reflexní zrcadlo (2), dělič svazku, polarizátor (8) a polarizaci otáčející prvek.

6. Laserový systém podle některého z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že svazek optického buzení (6) je zaveden do uspořádání rezonátoru pomocí dichroického zrcadla.

7. Použití systému podle některého z předcházejících nároků v režimu q-spínání nebo v režimu otevírání dutiny nebo jako regenerativní zesilovač nebo v režimu synchronizace módu.

8. Způsob tvarování módu laserového svazku (7) v nestabilním provedení laserového rezonátoru obsahující aktivní médium (3), **vyznačující se tím**, že způsob obsahuje krok zavedení prostorově tvarovaného svazku (6) optického buzení do aktivního média (3), kde se distribuce

zisku generuje prostřednictvím prostorového profilu intenzity svazku optického buzení, přičemž příčný rozměr svazku (7) je menší než odpovídající rozměr aktivního laserového média (3).

9. Způsob podle nároku 8, **vyznačující se tím**, že ztráty v rezonátoru se modifikují pomocí alespoň jednoho aktivního prvku a/nebo alespoň jednoho pasivního prvku.

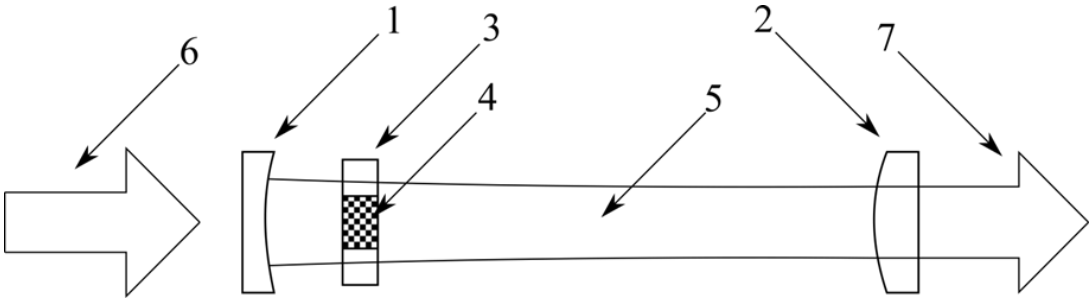
10. Způsob podle některého z nároků 8 nebo 9, **vyznačující se tím**, že laserový svazek (7) je vyvázán pomocí prostředku z následující skupiny: částečně reflexní zrcadlo (2), dělič svazku, polarizátor (8) a polarizaci otáčející prvek.

11. Způsob podle některého z nároků 8 až 10, **vyznačující se tím**, že svazek optického buzení (6) je navázán do uspořádání rezonátoru pomocí dichroického zrcadla.

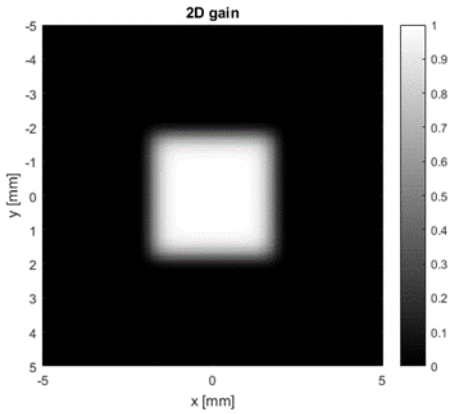
3 výkresy

Seznam vztahových značek

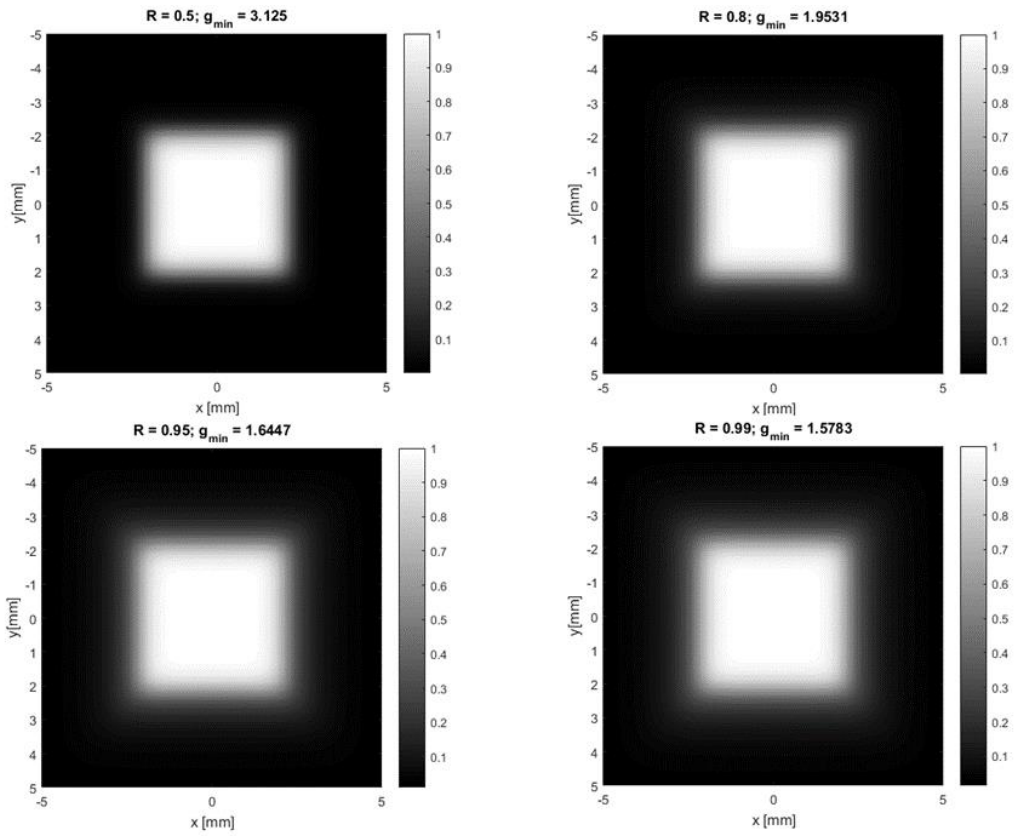
1 duté zrcadlo, reflexní pro laserové a antireflexní pro budicí záření
2 částečně reflexní konvexní výstupní navazovací zrcadlo
3 aktivní médium
4 buzená oblast v aktivním médiu
5 svazek uvnitř rezonátoru
6 svazek optického buzení
7 tvarovaný laserový svazek
8 polarizátor
9 čtvrtvlnná destička
10 konvexní zrcadlo
11 Pockelsova cela


6
1
3
4
5
2
7

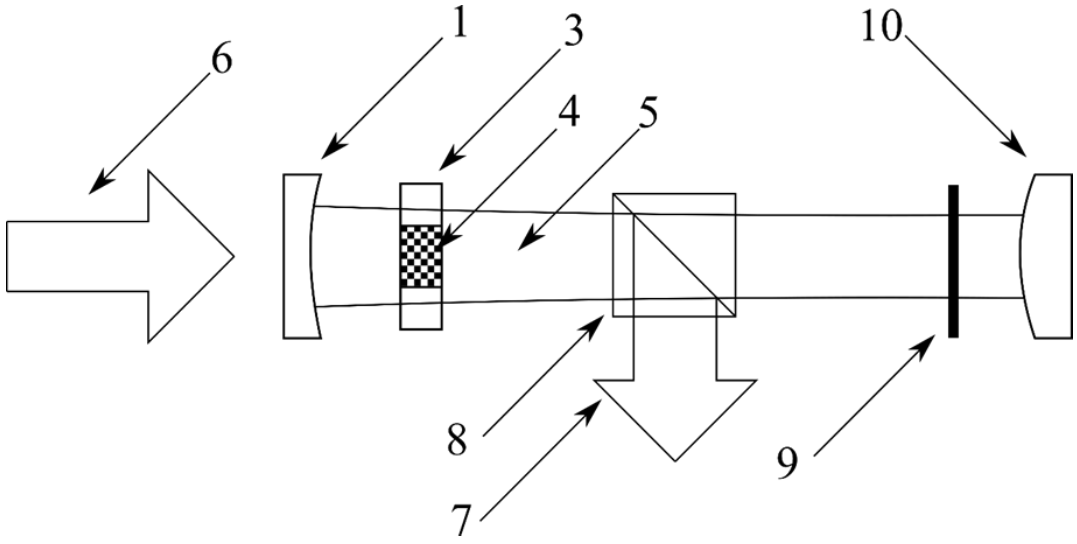
Obr. 1


2D gain
y [mm]
x [mm]
-5
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0

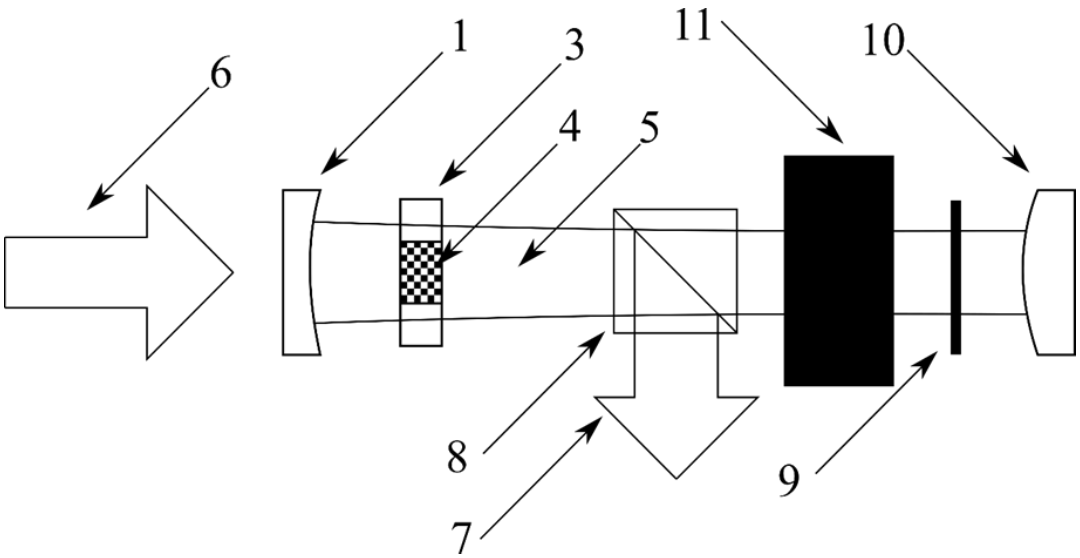
Obr. 2


R = 0.5; g_min = 3.125
R = 0.8; g_min = 1.9531
R = 0.95; g_min = 1.6447
R = 0.99; g_min = 1.5783
y[mm]
x [mm]

Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5