

G02B 27/09 (2006.01)
H01S 3/02 (2006.01)

 (19)
 ČESKÁ
 REPUBLIKA

 ÚŘAD
 PRŮMYSLOVÉHO
 VLASTNICTVÍ

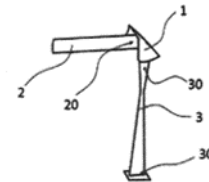
(21) Číslo přihlášky: **2018-708**
 (22) Přihlášeno: **17.12.2018**
 (40) Zveřejněno: **24.06.2020**
(Věstník č. 26/2020)
 (47) Uděleno: **26.11.2020**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **06.01.2021**
(Věstník č. 1/2021)

(56) Relevantní dokumenty:
 S. Avino, E. Calloni, L. Milano, L. Di Fiore, R. De Rosa, A. Tierno: Generation of non-Gaussian flat laser beams, Physics Letters A, Physics Letters A, Volume 355, Issues 4–5, Pages 258-261, 10 July 2006, <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2006.03.010>.
 EP 3214477 A; WO 2006066687 A.

(73) Majitel patentu:
 Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i., Praha 8,
 Libeň, CZ

(72) Původce:
 RNDr. Pavel Pintr, Ph.D., Žatec, CZ
 Ing. Jan Václavík, Liberec, Liberec VI-Rochlice,
 CZ
 Ing. Martin Veselý, Turnov, CZ
 David Macner, Dis., Jičín, Nové Město, CZ

(74) Zástupce:
 Ing. Dobroslav Musil, patentová kancelář, Ing.
 Dobroslav Musil, Zábrdovická 801/11, 615 00
 Brno, Zábrdovice



$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=1}^N A_i E_i(x, y)$$

(54) Název vynálezu:
**Zrcadlový konvertor vysokovýkonového
 laserového svazku**

(57) Anotace:
 Vynález se týká zrcadlového konvertoru (1) vysokovýkonového laserového svazku, který obsahuje zrcadlo s tvarovou odraznou plochou. Tvarová odrazná plocha zrcadla má tvar určený rozvinutým polynomem vyššího stupně, viz vzorec v obrázku k anotaci, kde k je kónická konstanta, c je křivost, A_i je koeficient i -tého členu polynomického rozvoje, N je počet polynomických koeficientů v rozvoji, r je poloměr zakřivení plochy, E_i je rozvinutý polynom i -tého řádu a x , y , z jsou souřadnice bodu tvarové odrazné plochy v pravouhlém souřadném systému. Zrcadlo je výhodně z hliníku nebo mědi, případně je opatřeno dielektrickými vrstvami uzpůsobenými pro zvýšení odrazivosti.

Zrcadlový konvertor vysokovýkonového laserového svazkuOblast techniky

5

Vynález se týká zrcadlového konvertoru vysokovýkonového laserového svazku, který obsahuje zrcadlo s tvarovou odraznou plochou.

10 Dosavadní stav techniky

Zrcadlový konvertor vysokovýkonového laserového svazku je optické zařízení, které upravuje prostorové i výkonové vlastnosti laserového svazku. Využití konvertoru je zejména v průmyslových aplikacích k laserovému zušlechťování povrchů, jako je laserové svařování, navařování i kalení atd., a to v pracovní oblasti UV, VIS, IR zejména však pro vlnové délky 900 nm až 1070 nm, ve které pracuje většina průmyslových laserů.

Jsou známa řešení využívající pro konverzi vysokovýkonových laserových svazků refraktivní a reflektivní elementy s difrakčním povrchem, sadou zrcadel nebo hranolů, případně obsahující asférické povrchy optických čoček. Dále jsou známa řešení využívající kombinace 2 cylindrických optických čoček, které jsou vzájemně posunuty o 90 stupňů. Také jsou známa řešení využívající kombinace 2 cylindrických mikročočkových polí (LIMO) vzájemně posunutých o 90 stupňů a fokusační čočky.

25 Známá řešení pracují v rozsahu vlnových délek od 380 nm až 1100 nm, ojediněle až do 20 μm . Jako materiál čoček se používají běžné materiály a skla BK7, UVFS (Fused Silica) atd., přičemž konvertované svazky mají běžné tvary, jako je čtverec, kruh, úsečka.

Z EP 3214477 je známo zařízení pro tvarování laserového záření, obsahující první pole optických prvků pro vychylování a/nebo zobrazování a/nebo kolimaci laserového záření, které má množinu optických prvků uspořádaných vedle sebe v prvním směru a druhé pole optických prvků pro vychylování a/nebo zobrazování a/nebo kolimaci laserového záření mající množství optických prvků uspořádaných vedle sebe ve druhém směru, přičemž optické prvky jsou alespoň jedním z prvků jsou zrcadlové prvky.

35

Z WO 2006 066 687 je znám optický systém pro vytvoření liniového ostření vstupního světelného paprsku, který zahrnuje světelný zdroj emitující vstupní světelný paprsek šířící se ve směru šíření, přičemž světelný paprsek má prodloužení v první dimenzi příčné ke směru šíření a prodloužení ve druhé dimenzi příčné ke směru šíření. Systém dále má alespoň první zrcadlo, které je zakřivené ve druhém rozměru, takže světelný paprsek je zaostřen ve druhém rozměru na liniové zaostření.

40

Z S. Avino, E. Calloni, L. Milano, L. Di Fiore, R. De Rosa, A. Tierno: Generation of non-Gaussian flat laser beams, Physics Letters A, Volume 355, Issues 4 až 5, 10 July 2006, Pages 258-261, je známa studie použití ne-gaussovských plochých laserových paprsků ke snížení termoelastického šumu v pokročilých interferometrech gravitačních vln. Tato práce představuje systém založený na dvou deformovatelných zrcadlech pro transformaci gaussovského paprsku na ne-Gaussovský plochý paprsek. Řešení používá přibližné znázornění plochého paprsku založeného na obvyklých Hermite-Gaussových režimech, což je zvláště užitečné, když je plochý paprsek generován pomocí deformovatelných zrcadel. Tento systém lze použít buď pro generování plochých paprsků nebo pro přizpůsobení paprsků v mexických kloboučích zrcadel Fabry-Perotových dutin navržených pro příští generaci interferometrů gravitačních vln.

50

Nevýhodou dosavadního stavu techniky je použití většího počtu optických prvků (nejméně 3 a více), k zajištění požadovaného tvaru spotů nebo nízká energetická účinnost mikročočkových polí.

55

Cílem vynálezu je odstranit nebo alespoň minimalizovat nevýhody dosavadního stavu techniky.

Podstata vynálezu

5

Cíle vynálezu je dosaženo zrcadlovým konvertorem vysokovýkonového laserového svazku, jehož podstata spočívá v tom, že tvarová odrazná plocha zrcadla má tvar určený rozvinutým polynomem vyššího stupně $z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=1}^N A_i E_i(x, y)$, k je kónická konstanta, c je křivost, A_i je koeficient i -tého členu polynomického rozvoje, N je počet polynomických koeficientů v rozvoji, r je poloměr zakřivení plochy, E_i je rozvinutý polynom i -tého řádu a x, y, z jsou souřadnice bodu tvarové odrazné plochy v pravoúhlém souřadném systému.

10

15

Výhodou řešení podle vynálezu je, že umožňuje vytvořit požadovaný laserový spot (obdélník, čtverec, úsečka) pouze za pomoci jednoho zrcadla bez potřeby dalších optických elementů, což značně zjednodušuje celé zařízení. Navrhovaný tvar zrcadla je přitom využitelný v oblasti vlnových délek UV, VIS, IR, zejména však 900 nm až 1070 nm pro procesy laserového kalení, svařování i navařování, přičemž zrcadlo je možno vyrobit z hliníku nebo mědi, tedy materiálů s vysokou teplotní vodivostí a je tak možno zrcadlo dobře chladit, zejména pak aktivním chlazením, což umožňuje použít vysokých pracovních výkonů laserového záření do 20 kW, ojedinele až do 50 kW. Navrhovaný tvar zrcadla lze přitom dobře vyrobit obráběním, např. technologií SPDT (Single Point Diamond Turning).

20

Objasnění výkresů

25

Vynález je schematicky znázorněn na výkrese, kde ukazuje obr. 1 uspořádání zrcadlového konvertoru ve formě homogenizačního fokusačního hliníkového nebo měděného konvertoru, obr. 2 uspořádání zrcadlového konvertoru podle vynálezu ve formě homogenizačního paprskového hliníkového nebo měděného konvertoru, obr. 3 tvar spotu na vstupu do laserové hlavičky podle obr. 1, obr. 4 tvar spotu na výstupu z laserové hlavičky podle obr. 1, obr. 5 tvar spotu na vstupu do konvertoru podle obr. 2 a obr. 6 tvar spotu na výstupu z konvertoru podle obr. 2.

30

Příklady uskutečnění vynálezu

35

Vynález bude popsán na příkladu uskutečnění zrcadlového konvertoru 1 vysokovýkonového laserového svazku 2, s výhodou kolimovaného laserového svazku, do konvertovaného svazku 3, kde konvertor 1 je tvořen zrcadlem, jehož odrazná plocha má tvar určený rozvinutým polynomem vyššího stupně

40

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=1}^N A_i E_i(x, y)$$

(1)

kde

45

k kónická konstanta,
 c křivost
 A_i koeficient i -tého členu polynomického rozvoje,
 N počet polynomických koeficientů v rozvoji
 R poloměr zakřivení plochy
 E_i rozvinutý polynom i -tého řádu

50

x, y, z souřadnice bodu odrazné plochy v pravoúhlém souřadném systému.

Na obr. 1 je znázorněn konvertor 1 podle vynálezu ve formě homogenizačního fokusačního hliníkového nebo měděného konvertoru 1 se zrcadlem o průměru = 90 mm, s poloměrem křivosti $R = 30$ mm, kónickou konstantou $k = -1$ a ohniskovou vzdáleností $F = 300$ mm.

Koeficienty polynomického rozvoje tohoto konvertoru 1 jsou:

Koeficienty polynomického rozvoje					
X2Y0	X0Y2	X4Y0	X0Y4	X6Y0	X0Y6
-37.564	-37.568	8.400	3.525	-40.504	-1.252

Takový konvertor 1 je určen pro konverzi kruhového Gaussova kolimovaného laserového svazku s výkonem 10 kW (ojediněle až 50 kW) na obdélníkový spot o rozměru 8 mm x 32 mm se stejným plošným výkonem, kdy je potřeba konvertovat zdrojový kruhový svazek 2 s kruhovým vstupním spotem 20, viz. obr. 3, na konvertovaný svazek 3 s jiným tvarem výstupního spotu 30, např. viz. obr. 4. Jak je vidět z porovnání obr. 3 a 4, dochází díky konvertoru 1 k přeměně tvaru a velikosti laserového svazku nebo k přeměně intenzity laserového světla.

Na obr. 2 je znázorněn konvertor 1 podle vynálezu ve formě homogenizačního paprskového hliníkového nebo měděného konvertoru 1 se zrcadlem o průměru = 90 mm, s poloměrem křivosti $R = \infty$, s kónickou konstantou $k = 0$ a ohniskovou vzdáleností $F = \infty$ mm.

Koeficienty polynomického rozvoje tohoto konvertoru 1 jsou:

Koeficienty polynomického rozvoje							
X2Y0	X0Y2	X4Y0	X0Y4	X6Y0	X4Y2	X2Y4	X0Y6
0.085	0.35	-1.835	-0.828	0.992	-1.829	0.014	0.143

Takový konvertor 1 je určen pro konverzi kruhového Gaussova kolimovaného laserového svazku s výkonem 10 kW (ojediněle až 50 kW) na homogenní obdélníkový spot, kdy je potřeba konvertovat zdrojový kruhový svazek 2 s kruhovým vstupním spotem 20, viz. obr. 5, na konvertovaný svazek 3 s jiným tvarem výstupního spotu 30, např. viz. obr. 6. Jak je vidět z porovnání obr. 5 a 6, dochází díky konvertoru 1 k přeměně distribuované intenzity na homogennější tvar.

Konvertor 1 podle vynálezu, resp. zrcadlo, je vytvořen z vhodného materiálu s vysokou odrazivostí, jako je např. hliník nebo měď, který zároveň vykazuje i vysokou tepelnou vodivost, což je výhodné hlavně pro chlazení zrcadla, např. některým z aktivních chladicích prostředků, ať už vzduchových nebo kapalinových. Konvertor 1 je výhodně kombinován s fokusačním cylindrickým objektivem, nebo sadou cylindrických čoček, které umožňují dále zlepšit tvorbu výsledného (konvertovaného) spotu 30 požadovaných rozměrů. Pro zvýšení odrazivosti zrcadla je zrcadlo opatřeno dielektrickými vrstvami, což společně s SPDT obráběcím procesem umožňuje dosáhnout vysoké odrazivosti zrcadla.

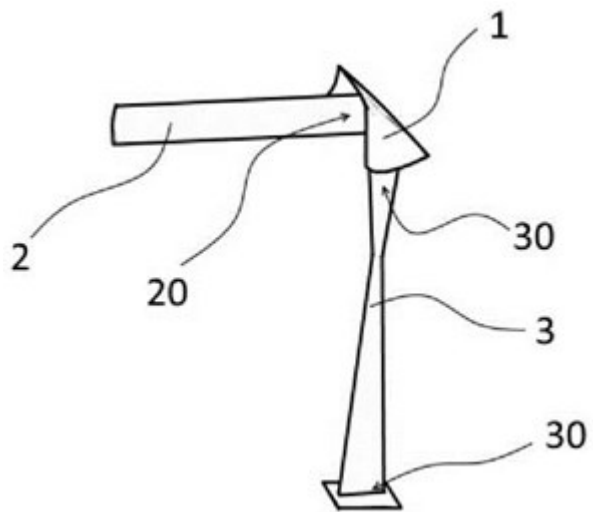
Průmyslová využitelnost

Zrcadlový konvertor vysokovýkonového laserového svazku podle vynálezu je využitelný zejména pro transformaci Gaussovského svazku na homogenní svazek TOP – HAT, pro změnu kruhového svazku na požadovaný výstupní tvar (čtverec, obdélník, úsečka, atd...) a pro změnu výkonového profilu svazku. Vynález je využitelný zejména v průmyslových aplikacích k laserovému zušlechťování povrchů, jako je laserové svařování, navařování i kalení atd.

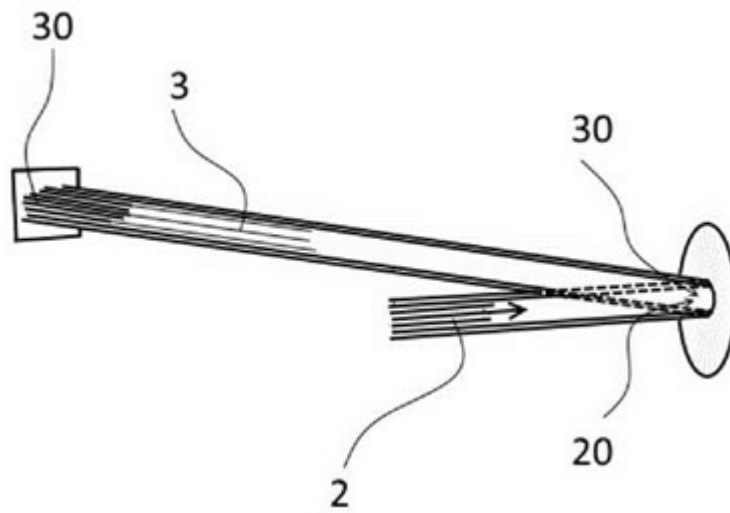
PATENTOVÉ NÁROKY

- 5 1. Zrcadlový konvertor (1) vysokovýkonového laserového svazku, který obsahuje zrcadlo s tvarovou odraznou plochou, **vyznačující se tím**, že tvarová odrazná plocha zrcadla má tvar určený rozvinutým polynomem vyššího stupně $z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=1}^N A_i E_i(x, y)$, k je kónická konstanta, c je křivost, A_i je koeficient i -tého členu polynomického rozvoje, N je počet polynomických koeficientů v rozvoji, r je poloměr zakřivení plochy, E_i je rozvinutý polynom i -tého řádu a x, y, z jsou souřadnice bodu tvarové odrazné plochy v pravoúhlém souřadném systému.
- 10 2. Zrcadlový konvertor (1) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že zrcadlo je z hliníku nebo mědi.
3. Zrcadlový konvertor (1) podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že zrcadlo je opatřeno dielektrickými vrstvami uzpůsobenými pro zvýšení odrazivosti.
- 15 4. Zrcadlový konvertor (1) podle kteréhokoliv z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že tvarová odrazná plocha je vytvořena opracováním technologií Single Point Diamond Turning (SPDT).
5. Zrcadlový konvertor (1) podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že zrcadlu je
- 20 přiřazen systém chlazení.
6. Zrcadlový konvertor (1) podle kteréhokoliv z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že zrcadlo má průměr 90 mm, poloměr křivosti 30 mm, kónickou konstantu $k = -1$ a ohniskovou vzdálenost 300 mm, přičemž koeficienty polynomického rozvoje jsou $X_2Y_0 = -37.564$, $X_0Y_2 = -37.568$, $X_4Y_0 = 8.400$, $X_0Y_4 = 3.525$, $X_6Y_0 = -40.504$ a $X_0Y_6 = -1.252$.
- 25 7. Zrcadlový konvertor (1) podle kteréhokoliv z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že zrcadlo má průměr 90 mm, poloměr křivosti ∞ , kónickou konstantu $k = 0$ a ohniskovou vzdálenosti ∞ mm, přičemž koeficienty polynomického rozvoje jsou $X_2Y_0 = 0.085$, $X_0Y_2 = 0.35$, $X_4Y_0 = -1.835$, $X_0Y_4 = -0.828$, $X_6Y_0 = 0.992$, $X_0Y_6 = 0.143$, $X_4Y_2 = -1.829$ a $X_2Y_4 = 0.014$.
- 30

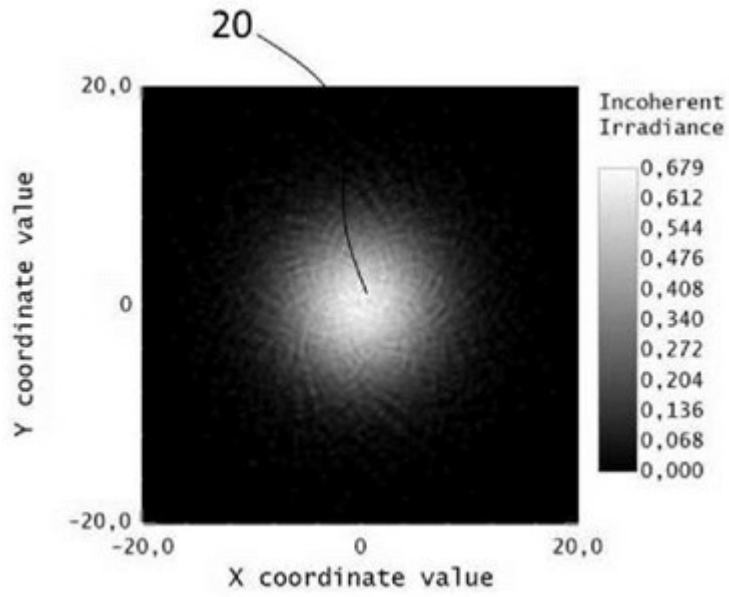
3 výkresy



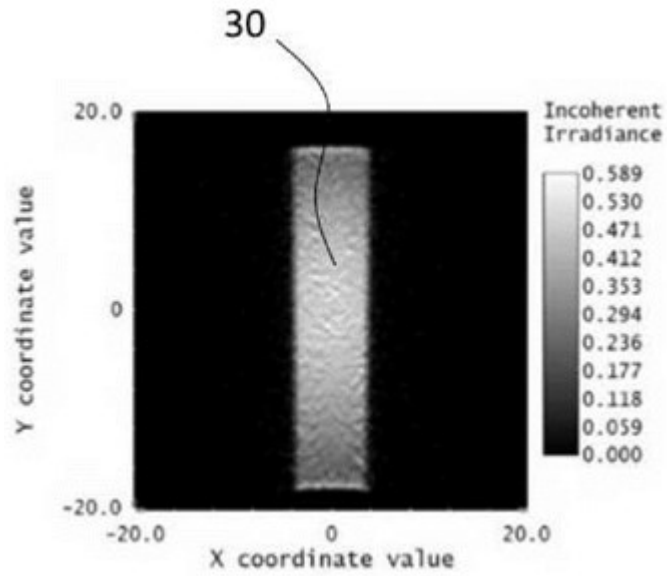
Obr. 1



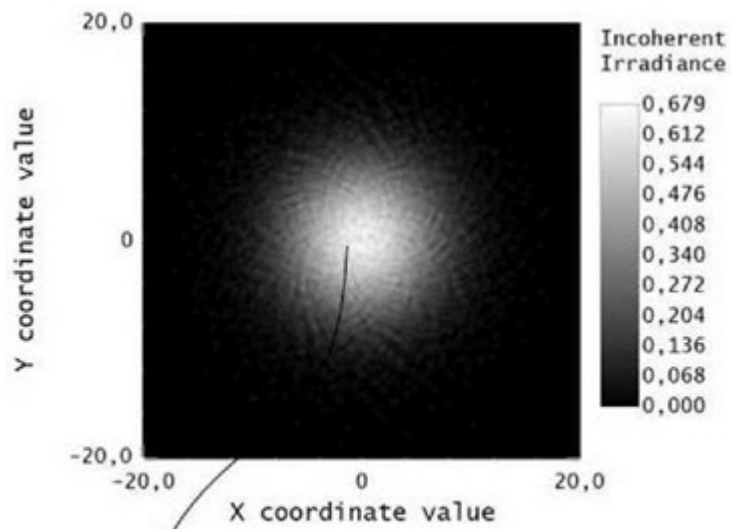
Obr. 2



Obr. 3

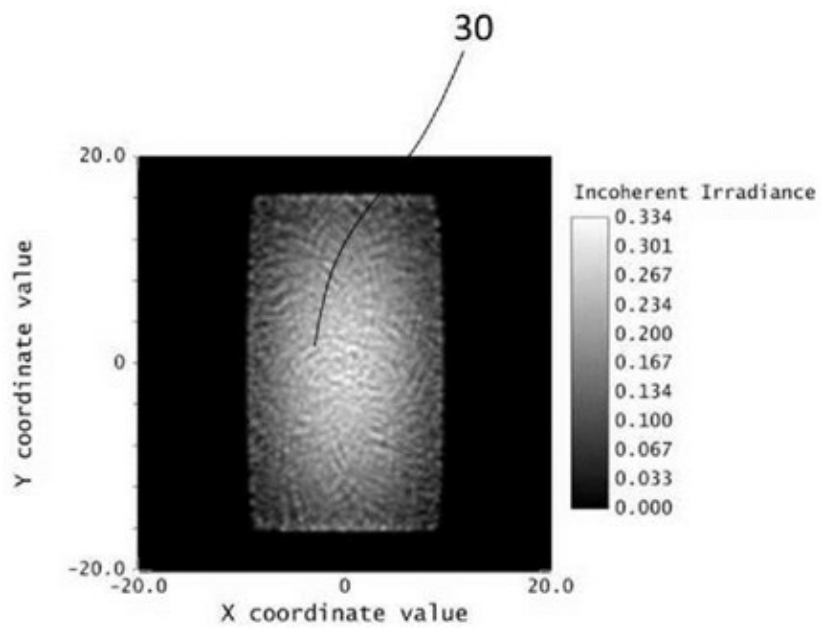


Obr. 4



20

Obr. 5



30

Obr. 6