

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01S 3/08 (2006.01)

H01S 3/109 (2006.01)

G02F 1/37 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410060302.4

[45] 授权公告日 2007 年 9 月 12 日

[11] 授权公告号 CN 100337373C

[22] 申请日 2004.12.1

[21] 申请号 200410060302.4

[73] 专利权人 郑州大学

地址 450052 河南省郑州市大学路

[72] 发明人 郑 义 姚建铨 张玉萍 梁兰菊

刘 群 张会云

[56] 参考文献

CN2583844Y 2003.10.29

JP7-131101A 1995.5.19

US6744803B2 2004.6.1

审查员 任晓东

[74] 专利代理机构 郑州中民专利代理有限公司

代理人 郭中民

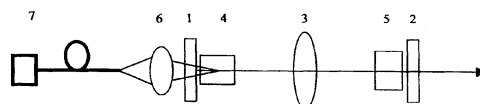
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

激光二极管泵浦的内腔倍频激光器

[57] 摘要

一种激光二极管泵浦的内腔倍频激光器，包括泵浦源，光学耦合系统，由全反镜、输出镜和插入其间的透镜组成的热稳定谐振腔，以及放置在腔内的激光介质和倍频晶体，其特征是：全反镜、输出镜均为平平镜；透镜为凸透镜；激光介质位于全反镜和凸透镜之间，且在振荡光的一个束腰处放置；倍频晶体位于凸透镜和输出镜之间，且在振荡光的另一个束腰处放置。本发明的两个平平镜和一个凸透镜组成的热稳定谐振腔有效地克服了大变化范围内的不同泵浦功率所产生的不同焦距的热透镜效应、倍频激光器的“绿光问题”（即倍频光功率不稳定问题），以及泵浦光和振荡光之间的模式失配问题，显著地提高了激光器的输出功率及其稳定性、光-光转换效率和光束质量等。



1. 一种激光二极管泵浦的内腔倍频激光器, 它包括泵浦源(7), 光学耦合系统(6), 由全反镜(1)、输出镜(2)和透镜(3)组成的热稳定谐振腔, 以及放置在热稳定谐振腔内的激光介质(4)和倍频晶体(5), 其特征在于:

a. 全反镜(1)为平平镜;

b. 输出镜(2)为平平镜;

c. 透镜(3)为凸透镜;

d. 激光介质(4)位于全反镜(1)与透镜(3)之间, 且紧靠全反镜(1), 即在振荡光的一个束腰处放置;

e. 倍频晶体(5)位于透镜(3)与输出镜(2)之间, 且紧靠输出镜(2), 即在振荡光的另一个束腰处放置。

2. 根据权利要求 1 所述的内腔倍频激光器, 其特征在于: 凸透镜(3)的焦距和放在腔内的位置, 以及热稳定谐振腔几何长度等参数的设计, 要根据泵浦功率的范围、激光介质和倍频晶体的热透镜焦距 f_{L1} 和 f_{L2} 、泵浦光聚焦光斑半径 w_p 、振荡光在全反镜(1)和输出镜(2)上的光斑束腰半径 w_1 和 w_2 等参数进行计算, 设计 requirements 是, 在热透镜焦距 f_{L1} 和 f_{L2} 大幅度变化时, 谐振腔处于稳区, w_1 和 w_2 仍能基本保持不变; 同时, 保证谐振腔内振荡光与泵浦光之间的模式匹配。

3. 根据权利要求 1 所述的内腔倍频激光器, 其特征在于: 热稳定谐振腔是由全反镜(1)、输出镜(2)和插入其间的凸透镜(3)组成的适用于单端泵浦、侧面泵浦和闪光灯泵浦的平平腔。

4. 根据权利要求 1 所述的内腔倍频激光器, 其特征在于: 热稳定谐振腔是由全反镜(1)、输出镜(2)和插入其间的凸透镜(3), 以及设置在激光介质与凸透镜之间的斜入射反射镜组成的且适用于双端泵浦的 V 型或 L 型变形平-平腔。

5. 根据权利要求 1 所述的内腔倍频激光器, 其特征在于: 热稳定谐振腔是由全反镜(1)、输出镜(2)和插入其间的凸透镜(3), 以及设置在激光介质

与凸透镜之间的斜入射反射镜组成的且采用双通倍频技术的适用于双端泵浦的V型或L型变形平-平腔。

6. 根据权利要求1所述的内腔倍频激光器, 其特征在于: 凸透镜(3)的两通光面有相应的基频光和倍频光增透膜。

7. 根据权利要求1所述的内腔倍频激光器, 其特征在于: 全反镜(1)至少里通光面有相应的基频光和倍频光增反膜。

激光二极管泵浦的内腔倍频激光器

(一) 技术领域

本发明属于激光技术领域,特别是一种激光二极管泵浦的内腔倍频激光器,它适于激光全色显示、其它激光器的泵浦源、光储存、激光打标、激光划片、印刷板的热成像、激光医疗、科研和娱乐等领域的应用。

(二) 背景技术

瓦级连续红光、绿光、蓝光激光器在激光全色显示、其它激光器的泵浦源、光储存、激光打标、激光划片、印刷板的热成像、激光医疗、科研和娱乐等领域有重要的应用。激光二极管泵浦的连续内腔倍频激光器因其高功率、高效率、高光束质量、高稳定性(功率和频率)、结构紧凑等优点而成为实现上述红光、绿光、蓝光激光器的最理想的技术。目前,随着商品化激光二极管的激光功率的提高,国际上激光二极管泵浦的连续内腔倍频激光器的输出功率也越来越高。对于该类激光器存在的,诸如激光介质和倍频晶体的热效应(含热透镜效应、热致双折射效应等)、“绿光问题”(即倍频激光功率不稳定)等严重地影响激光器的输出功率及其稳定性、激光光束质量等。现多采用折迭腔内插入凸透镜(见美国专利号5446749,其名称“Diode pumped, Multi Axial Mode, Intracavity Doubled Laser”;中国专利号ZL01225034.1,其名称“大功率半导体激光纵向泵浦内腔倍频激光器”;中国专利申请号99105276.5,其名称“具有光学镇定器的高度稳定性的LD泵浦内腔倍频激光器”)、折迭腔内插入 $\lambda/4$ 波片(C. Czeranowsky, E. Heumann, and G. Huber, All-solid-state continuous-wave frequency-doubled Nd:YAG-BiBO laser with 2.8W output-power at 473nm, Optics Letters, Vol. 28 (6), 432 (2003))、环形腔单频运转(L. Cabaret, J. Philip, and P. Camus, Transient frequency shift in a single-mode quasi-continuous diode-pumped Nd:YAG laser, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 36 (11), 1323 (2000); M.V. Okhapkin, M.N. Skvortsov, A.M. Belkin, N.L. Kvashnin, and S.N. Bagayev, Tunable single-frequency diode-pumped Nd:YAG ring laser at 1064/532 nm for

optical frequency standard applications, Optics Communications, 203, 359(2002)) 等技术进行解决。但是上述措施因光学损耗大,而影响激光器的输出功率和光-光转换效率。并且激光器的结构复杂,不仅生产成本高,而且安装和调试过程复杂,不利于生产安装和非专业人员操作使用。

(三) 发明内容

本发明的目的正是为了解决上述现有技术中所存在的诸如激光介质和倍频晶体的热效应、“绿光问题”,以及谐振腔内的振荡光与泵浦光的模式失配等严重影响激光输出功率及其稳定性、光-光转换效率和激光光束质量的问题,而专门设计出一种新的激光二极管泵浦的内腔倍频激光器。该激光器结构简单紧凑,利用平平全反镜、平平输出镜和插入其间凸透镜组成的热稳定谐振腔有效地克服激光介质和倍频晶体的热透镜效应、“绿光问题”等对激光输出功率及其稳定性、光-光转换效率、激光模式和振荡光(即基频光)与泵浦光之间的模式匹配等影响,极大地提高了激光输出功率及其稳定性、光-光转换效率和激光光束质量,使之在很大的泵浦功率范围内,激光器处于高效高功率 TEM₀₀ 工作状态。

本发明的目的是通过以下方案来实现的:本激光二极管泵浦的内腔倍频激光器包括泵浦源,光学耦合系统,由全反镜、输出镜和插入其间的透镜组成的热稳定谐振腔,以及放置在谐振腔内的激光介质和倍频晶体。其中:全反镜和输出镜均为平平全反镜,透镜为凸透镜;激光介质位于全反镜与凸透镜之间,且紧靠全反镜,即在振荡光的一个束腰处放置;倍频晶体位于凸透镜与输出镜之间,且紧靠输出镜,即在振荡光的另一个束腰处放置。

在本发明中,热稳定谐振腔内的凸透镜的焦距 f 和其在腔内的位置,谐振腔几何长度等参数的设计,要根据泵浦功率的范围、激光介质和倍频晶体的热透镜焦距 f_{L1} 和 f_{L2} 、泵浦光在激光介质上聚焦光斑半径 w_p 和振荡光在全反镜(1)与输出镜(2)上的光斑束腰半径 w_1 与 w_2 等参数,通过计算确定。设计 requirements 是,在热透镜焦距 f_{L1} 和 f_{L2} 大幅度变化时,谐振腔处于稳区, w_1 和 w_2 仍能基本保持不变;同时,保证谐振腔内振荡光与泵浦光之间的模式匹配。

本发明中,所述热稳定谐振腔可以是由平平全反镜、平平输出镜和插入其

间的凸透镜组成的适用于单端泵浦、侧面泵浦和闪光灯泵浦的平平腔。

为了增加泵浦用激光器二极管的数量，即增加泵浦功率，以进一步提高内腔倍频激光器的输出功率；同时能够避免激光介质内泵浦光聚焦光斑处的泵浦光功率密度过大，引起激光介质的光损伤等。所述热稳定谐振腔也可以是由平平全反镜、平平输出镜和插入其间的凸透镜，以及设置在激光介质与凸透镜之间的斜入射反射镜组成的V型或L型变形平平腔。考虑到入射角过大时，振荡光和倍频光的偏振态产生较大的变化，对激光功率及其稳定性产生较大的影响，斜入射反射镜的入射角不大于 45° ，即折迭角不大于 90° 。

上述热稳定谐振腔还可以是由平平全反镜、平平输出镜和插入其间的凸透镜，以及设置在激光介质与凸透镜之间的斜入射反射镜组成的且采用双通倍频技术的适用于双端泵浦的V型或L型变形平平腔。同理，考虑到入射角过大时，振荡光和倍频光的偏振态产生较大的变化，对激光功率及其稳定性产生较大的影响，斜入射反射镜的入射角不大于 45° ，即折迭角不大于 90° 。

在热稳定腔内的凸透镜的两通光面对基频光和倍频光均镀增透膜，该凸透镜可为平凸透镜，也可为双凸透镜。

在本发明中，平平全反镜的两通光面要求对有关泵浦光、基频光和倍频光进行光学镀膜，至少其里通光面（即紧靠激光介质的通光面）镀基频光和倍频光的增反膜；至少外通光面（即靠近光学耦合系统的通光面）镀泵浦光的增透膜。如果激光介质存在多条激光谱线，当要实现激光输出的谱线的受激发射截面小于所存在的某些谱线的受激发射截面时，平平输入镜里通光面或其两通光面或平平输出镜的里通光面（即紧靠倍频晶体的通光面）或其两通光面还要对受激发射截面大于激光输出谱线的所有其它谱线镀增透膜。

在本发明中，平平输出镜要求对基频光和倍频光进行光学镀膜，至少里通光面（即紧靠倍频晶体的通光面）对基频光镀增反膜，对倍频光镀增透膜。

本激光器最突出的技术特征有以下几点：（1）由平平全反镜、平平输出镜和插入其间的凸透镜组成的热稳定谐振腔能够很好地克服随泵浦功率的增加热透镜效应所产生的振荡光模体积的体积减小，提高振荡光的功率及其稳定性。

（2）由平平全反镜、平平输出镜和插入其间的凸透镜组成的热稳定谐振腔能够

很好地克服不同泵浦功率所产生的不同焦距的热透镜效应所导致的振荡光模式变化,使基频光在倍频晶体上光斑束腰半径 w_2 保持基本恒定,从而保证倍频效率。(3)由平平全反镜、平平输出镜和插入其间的凸透镜组成的热稳定谐振腔能够很好地克服不同泵浦功率所产生的不同焦距的热透镜效应所导致的振荡光模式变化,保证振荡光在激光介质上的光斑束腰半径 w_1 基本保持恒定,实现不同泵浦功率下的泵浦光和振荡光之间的模式匹配,提高激光器的输出功率。(4)由平平全反镜、平平输出镜和插入其间的凸透镜组成的热稳定谐振腔能够很好地克服不同泵浦功率所产生的不同焦距的热透镜效应所导致的振荡光模式变化,使基频光在倍频晶体上光斑束腰保持基本恒定,从而保证倍频光光束质量高,实现 TEM_{00} 模输出。(5)与折迭腔相比较,由平平全反镜、平平输出镜和插入其间的凸透镜组成的热稳定谐振腔结构简单,便于生产安装和非专业人员操作使用。

本发明工作原理如下:

泵浦光和振荡光分别对激光介质和倍频晶体产生较严重的热透镜效应,焦距分别为 f_{L1} 和 f_{L2} ,造成振荡光模体积的减小,由平平全反镜、平平输出镜和插入其间的凸透镜组成的热稳定谐振腔中的凸透镜(焦距为 f)能够对热透镜效应进行补偿,使得此时的谐振腔与无热透镜效应时的谐振腔等效。

凸透镜(3)的焦距 f 和其在腔内的位置,以及热稳定谐振腔几何长度 L 等参数的设计,要根据泵浦功率的范围、泵浦光在激光介质上聚焦光斑半径 w_p 、激光介质和倍频晶体的热透镜焦距 f_{L1} 和 f_{L2} 、振荡光在全反镜(1)与输出镜(2)上的光斑束腰半径 w_1 与 w_2 等参数,利用描述高斯光束传输的 ABCD 定律进行计算。实现热稳定谐振腔的条件如下:

1. 由平平全反镜、平平输出镜和插入其间的凸透镜组成的热稳定谐振腔中的平平全反镜和凸透镜保证了激光介质恒定地处在振荡光的一个束腰处,而且其中的凸透镜保证振荡光在激光介质处的束腰半径 w_1 基本恒定。

2. 由平平全反镜、平平输出镜和插入其间的凸透镜组成的热稳定谐振腔中的平平输出镜和凸透镜保证了倍频晶体恒定地处在振荡光的另一个束腰处,而且其中的凸透镜保证振荡光在倍频晶体处的束腰半径 w_2 基本恒定,从而提高倍

频效率和倍频光功率稳定性, 保证高质量的激光模式。

3. 保证振荡光与泵浦光之间的模式匹配。

上述技术方案适合于激光二极管端面泵浦、侧面泵浦, 以及闪光灯泵浦的各类内腔倍频激光器。

本发明的优点在于:

(1) 在较大的泵浦功率范围内, 激光输出功率高。利用本发明研制的激光二极管泵浦的连续 Nd:YVO₄/KTP 内腔倍频 532nm 激光器, 在 808nm 激光二极管尾纤输出功率 30W 泵浦下, 532nm 激光 TEM₀₀ 运转, 输出功率达到 6.21W。

(2) 在较大的泵浦功率范围内, 激光器的输出功率稳定性高。利用本发明研制的激光二极管泵浦的连续 Nd:YVO₄/KTP 内腔倍频 532nm 激光器, 激光输出功率 6.21W 时, 4 小时内激光输出功率不稳定性为 1.1% (均方根)。

(3) 在较大的泵浦功率范围内, 激光器的光-光转换效率高。利用本发明研制的激光二极管泵浦的连续 Nd:YVO₄/KTP 内腔倍频 532nm 激光器的光-光转换效率达到 23.35%。

(4) 在较大的泵浦功率范围内, 激光光束质量高。利用本发明研制的激光二极管泵浦的连续 Nd:YVO₄/KTP 内腔倍频 532nm 激光器, 激光输出功率 6.21W 时, 激光模式为 TEM₀₀ 模。

(5) 激光器使用的光学元件少, 生产成本低。

(6) 激光器的结构简单紧凑, 便于生产安装和非专业人员的操作使用。

该类激光器非常适合于激光全色显示、其它激光器的泵浦源、其它激光器的泵浦源、光储存、激光打标、激光划片、印刷板的热成像、激光医疗、科研和娱乐等领域的应用。

(四) 附图说明

图 1 为本发明激光器的光路示意图。

图 2 为本发明激光器的热稳定谐振腔变形之一。

图 3 为本发明激光器的热稳定谐振腔变形之二。

图 4 为本发明研制的激光二极管泵浦的连续 Nd:YVO₄/KTP 内腔倍频 532nm 激光器的输出功率与泵浦功率关系图。P_{in} 轴表示入射到激光介质的泵浦

光功率, P_{out} 轴表示 532nm 激光输出功率。

图 5 为本发明研制的激光二极管泵浦的连续 Nd:YVO₄/KTP 内腔倍频 532nm 激光器的光-光转换效率与泵浦功率关系图。 P_{in} 轴表示入射到激光介质的泵浦光功率, E 轴表示光-光转换效率。

(五) 具体实施方式

本发明以下结合附图(实施例)做进一步描述, 但并不是限制本发明。

如图 1 所示: 本激光二极管泵浦的内腔倍频激光器包括泵浦源(7), 光学耦合系统(6), 由平平全反镜(1)、平平输出镜(2)和插入两镜之间的凸透镜(3)组成的热稳定谐振腔, 以及放置在谐振腔内的激光介质(4)和倍频晶体(5), 激光介质(4)位于平平全反镜(1)和凸透镜(3)之间, 且紧靠全反镜(1), 即在振荡光的一个束腰处放置; 倍频晶体(5)位于凸透镜(3)和平平输出镜(2)之间, 且紧靠平平输出镜(2), 即在振荡光的另一个束腰处放置。

泵浦源(7)为激光二极管, 输出激光波长 808nm, 激光功率 30W (美国 Coherent 公司产 FAP-Sys-30 型)。光学耦合系统对泵浦光的聚焦光斑直径为 800 μ m, 光学耦合效率为 94.5%。平平全反镜(1)的外通光面镀 808nm 增透膜; 里通光面镀 1064nm 和 532nm 增反膜; 全反镜对泵浦光的透过率为 94%。平平输出镜(2)镀 1064nm 增反膜, 反射率 99%; 镀 532nm 增透膜, 透过率 95%。谐振腔的几何长度为 220mm。谐振腔内的凸透镜为平凸透镜, 焦距 50mm; 凸透镜距离平平全反镜(1)为 135mm; 凸透镜的两通光面镀 1064nm 和 532nm 增透膜。激光介质(4)采用 Nd:YVO₄ 晶体, 通光长度为 10mm, 掺 Nd 浓度 0.3at.%; 两通光面镀 1064nm、808nm 和 532nm 增透膜, 其中对 808nm 的透过率为 97.9%。倍频晶体采用 KTP, $\square$ 类角度相位匹配; 通光长度 10mm; 两通光面对 1064nm 和 532nm 镀增透膜。Nd:YVO₄ 和 KTP 晶体的侧面均用铜片包裹后放在紫铜夹中, 用恒温循环器进行温度控制。

用美国 Newport 产的 2835-C 型双通道多功能激光功率/能量计测量本发明的激光二极管泵浦的连续 Nd:YVO₄/KTP 内腔倍频 532nm 激光器的输出功率, 实验结果如图 4 所示。在 26.58W 的 808nm 泵浦光进入激光介质的情况下, 532nm 激光实现 TEM₀₀ 模运转, 输出功率达到 6.21W, 光-光转换效率(激光输出功率

/进入激光介质的泵浦功率)达到 23.76%, 详见图 5 所示。532nm 激光输出功率 6.21W 情况下, 4 小时内输出功率不稳定性约为 1.1% (均方根)。

为了增加泵浦用激光器二极管的数量, 即增加泵浦功率, 以进一步提高内腔倍频激光器的输出功率, 同时能够避免激光介质内泵浦光聚焦光斑处的泵浦光功率密度过大, 引起激光介质的光损伤等, 本发明的激光器的谐振腔可采用如图 2 和如图 3 所示的 V 型和 L 型变形平平腔。特别是如图 3 所示的双通倍频技术, 可获得更高的倍频激光功率和光-光转换效率。

本发明的图 2 中通过增加一个斜入射反射镜(8), 从而可以方便地增加泵浦用激光二极管(10)和光学耦合系统(9); 其中反射镜要求至少里通光面(即振荡光的第一个反射面)对泵浦光镀增透膜, 对振荡光和倍频光均镀增反膜。其它光学元件与图 1 中的要求相同。

本发明的图 3 中通过增加一个斜入射反射镜(8), 从而可以方便地增加泵浦用激光二极管(10)和光学耦合系统(9); 其中反射镜要求至少里通光面(即振荡光的第一个反射面)对泵浦光和倍频光均镀增透膜, 对振荡光镀增反膜; 平平镜(2)要求至少里通光面对振荡光和倍频光均镀增反膜。

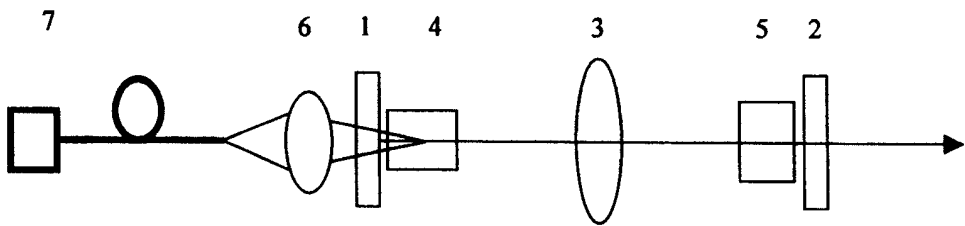


图 1

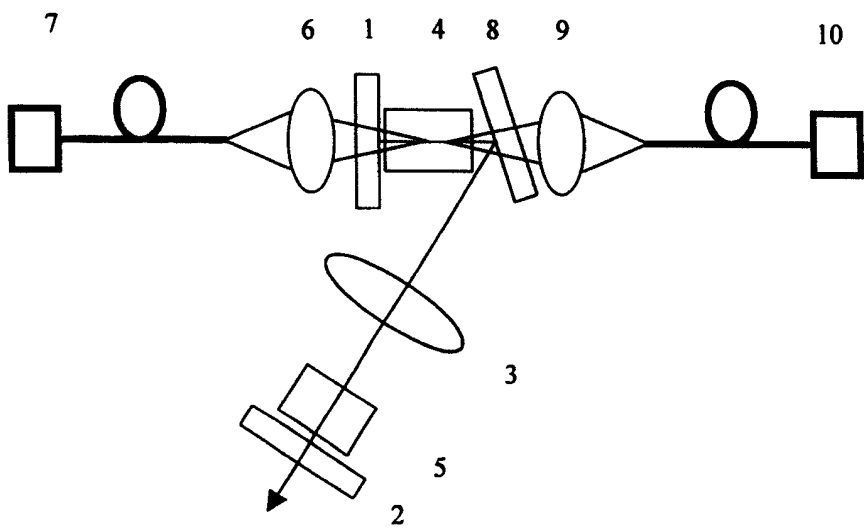


图 2

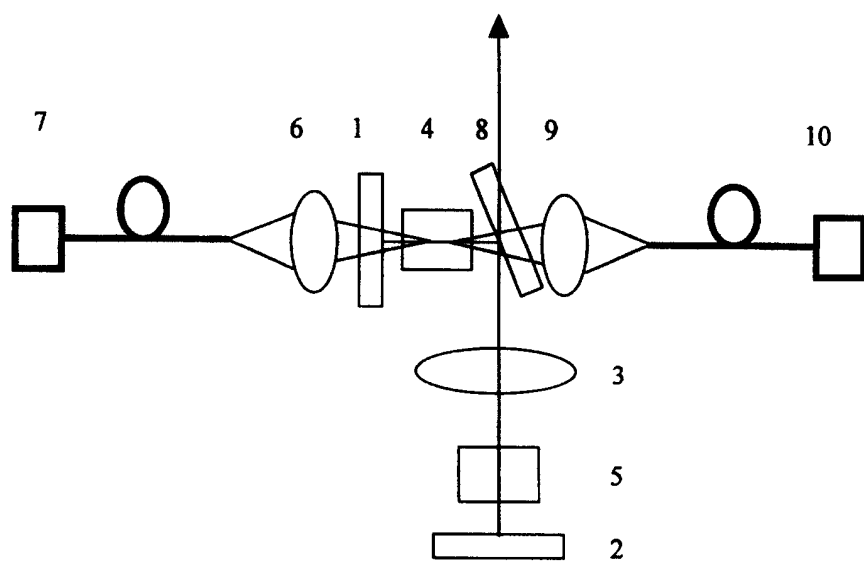


图 3

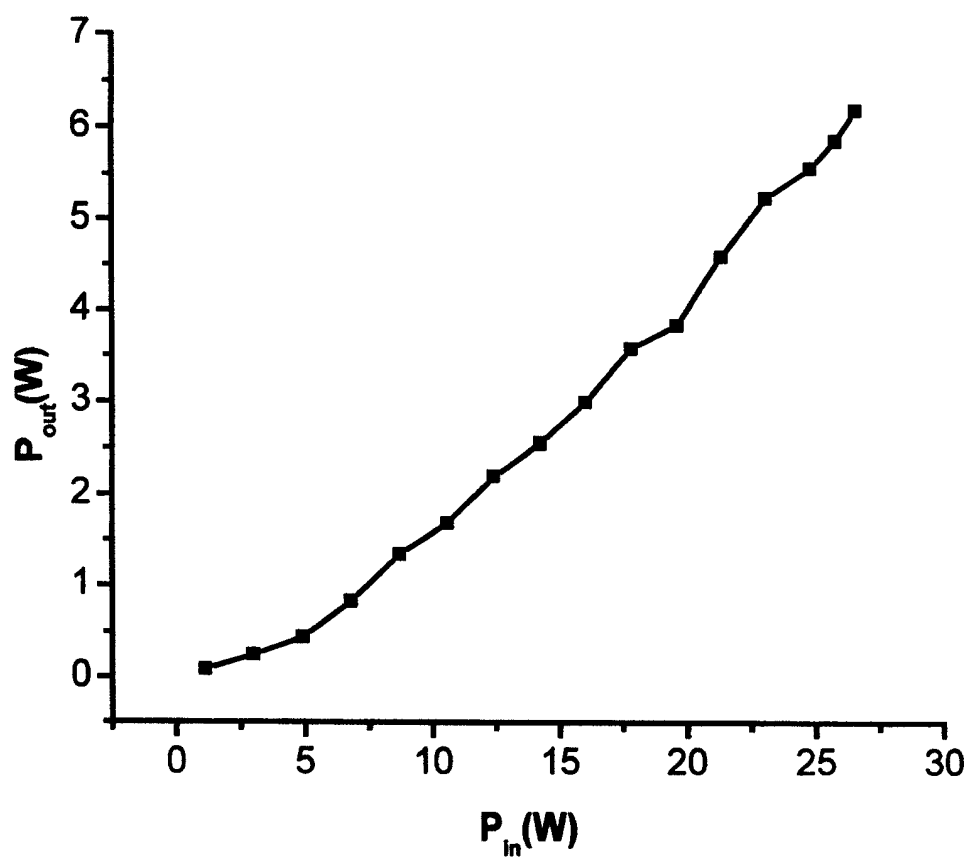


图 4

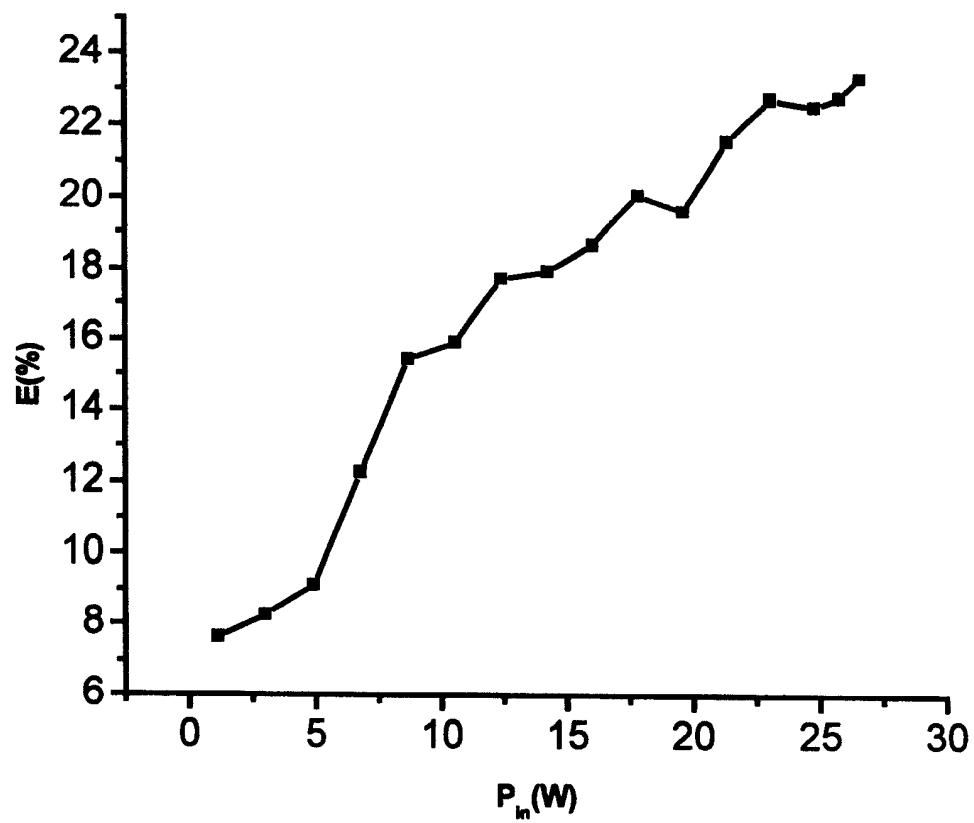


图 5