



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410010917.6

[43] 公开日 2005 年 12 月 14 日

[11] 公开号 CN 1707878A

[22] 申请日 2004.6.8

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司

[21] 申请号 200410010917.6

代理人 梁爱荣

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理
研究所

地址 130031 吉林省长春市东南湖大路 16 号

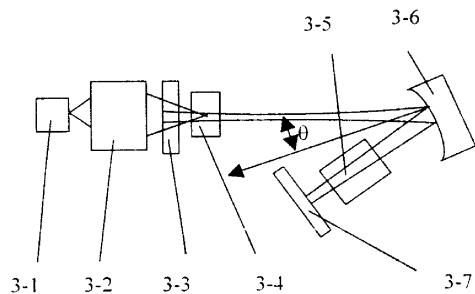
[72] 发明人 檀慧明 高兰兰 吕彦飞

权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 2 页

[54] 发明名称 半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振
腔激光器

[57] 摘要

本发明属于半导体激光泵浦同体激光器，由半导体激光器 3-1、光学耦合系统 3-2、反射腔镜 3-3、增益介质 3-4、和频晶体 3-5、输出耦合镜 3-6 和反射腔镜 3-7 组成。增益介质 3-4 在半导体激光器 3-1 的泵浦下，产生波长 λ_1 和波长 λ_2 的基频光。基频光在和频晶体 3-5 内通过非线性和频产生与波长 λ_1 和 λ_2 不同的波长为 λ_3 的和频光。折叠式激光谐振腔由两个臂组成两个束腰，一个束腰与泵浦光模式匹配获得较大的泵浦效率；另一个较小束腰在和频晶体中，获得高和频效率；本发明基频光双向通过和频晶体产生和频光单向输出，增加和频光的利用率。结构简单、效率高和频光双向输出的折叠式谐振腔半导体激光泵浦腔内和频激光器。



1、半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器，由半导体激光器(3-1)、光学耦合系统(3-2)、由第一反射腔镜(3-3)、增益介质(3-4)、和频晶体(3-5)、输出耦合镜(3-6)和第二反射腔镜(3-7)组成，其特征在于：由第一反射腔镜(3-3)、增益介质(3-4)、和频晶体(3-5)、输出耦合镜(3-6)和第二反射腔镜(3-7)组成腔内和频、折叠式谐振腔；谐振腔由两个臂组成，一个臂按第一反射腔镜(3-3)、增益介质(3-4)和输出耦合镜(3-6)排列，另一个臂按输出耦合镜(3-6)、和频晶体(3-5)和第二反射腔镜(3-7)排列，两个臂在输出耦合镜(3-6)处折叠，折叠角在10°到90°之间；增益介质(3-4)、和频晶体(3-5)和输出耦合镜(3-6)放在激光谐振腔内，选择增益介质(3-4)不同的激光跃迁谱线为波长 λ_1 和波长 λ_2 ；增益介质(3-4)产生的波长 λ_1 和波长 λ_2 基频光束由输出耦合镜(3-6)反射到和频晶体(3-5)内；由和频晶体(3-5)的非线性相互作用，波长为 λ_1 和波长 λ_2 的基频光通过和频转换产生波长为 λ_3 的第一部分和频光，波长为 λ_3 第一部分和频光通过第二反射腔镜(3-7)反射后进入和频晶体(3-5)；未转换的部分波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光通过第二反射腔镜(3-7)反射到和频晶体(3-5)内，由和频晶体(3-5)的非线性相互作用产生波长为 λ_3 的第二部分和频光，波长 λ_3 两部分和频光叠加后由输出耦合镜(3-6)输出到折叠式谐振腔外，得到一个波长 λ_3 和频激光。

2、根据权利要求1所述的半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器，其特征在于：在第一反射腔镜(3-3)靠近光学耦合系统(3-2)的表面镀制泵浦光减反的介质膜；在第一反射腔镜(3-3)靠近增益介质(3-4)的表面

是平面或凹面，并在平面或凹面制备对泵浦光减反和波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光高反的多层介质膜。

3、根据权利要求1所述的半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器，其特征在于：在增益介质（3-4）的两个通光面制备对波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光减反的介质膜。

4、根据权利要求1所述的半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器，其特征在于：在输出耦合镜（3-6）的基频光高反射面制备对波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光高反，波长为 λ_3 的和频光增透的多层介质膜，在输出耦合镜（3-6）的另一面制备对波长 λ_3 的和频光的增透膜。

5、根据权利要求1所述的半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器，其特征在于：在和频晶体（3-5）的两个通光面制备对波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光高反和波长 λ_3 的和频光三波长减反的介质膜。

6、根据权利要求1所述的半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器，其特征在于：在第二反射腔镜（3-7）的反射表面制备对波长 λ_2 、波长 λ_1 的基频光和波长 λ_3 的和频光三波长高反的介质膜。

7、根据权利要求1所述的半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器，其特征在于：把第一反射腔镜（4-3）直接制备在增益介质（4-4）的泵浦光入射面。

8、半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器，由半导体激光器（5-1）、第一反射腔镜（5-3）、增益介质（5-4）、和频晶体（5-5）、输出耦合镜（5-6）和第二反射腔镜（5-7）组成；其特征在于：由第一反射腔镜（5-3）、增益介质（5-4）、和频晶体（5-5），输出耦合镜（5-6）和第二反射腔镜（5-7）组成腔内和频、折叠式谐振腔；谐振腔由两个臂组成，一个臂按第一反射腔镜（5-3）、增益介质（5-4）和输出耦合镜（5-6）排列，另一个臂按输出耦

合镜（5-6）、和频晶体（5-5）和第二反射腔镜（5-7）排列，两个臂在输出耦合镜（5-6）处折叠，折叠角在10°到90°之间。第一反射腔镜（5-3）直接制备在增益介质（5-4）的泵浦光入射面，半导体激光器（5-1）的泵浦光近贴耦合到增益介质（5-4）内；增益介质（5-4）、和频晶体（5-5）和输出耦合镜（5-6）放在激光谐振腔内，选择增益介质（5-4）不同的激光跃迁谱线为波长 λ_1 和波长 λ_2 ；增益介质（5-4）产生的波长 λ_1 和波长 λ_2 基频光束由输出耦合镜（5-6）反射到和频晶体（5-5）内，由和频晶体（5-5）的非线性相互作用，波长为 λ_1 和波长 λ_2 的基频光通过和频产生波长为 λ_3 的第一部分和频光，波长为 λ_3 第一部分和频光通过第二反射腔镜（5-7）反射后进入和频晶体（5-5）；未转换的部分波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光通过第二反射腔镜（5-7）反射到和频晶体（5-5）内，由和频晶体（5-5）的非线性相互作用产生波长为 λ_3 的第二部分和频光，波长 λ_3 两部分和频光叠加后由输出耦合镜（5-6）输出到折叠式谐振腔外，得到一个波长 λ_3 和频激光。

9、根据权利要求1和8所述的半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器，其特征在于：在和频晶体（6-5）上制备对波长 λ_2 、波长 λ_1 的基频光和波长 λ_3 的和频光三波长高反的介质膜。

半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器

技术领域：本发明属于半导体激光泵浦固体激光技术领域，涉及一种获得和频输出的半导体激光泵浦固体激光器的新技术。

背景技术：半导体激光作为泵浦光源从端面聚焦或近贴耦合到激光增益介质内，可以与腔内激发的基频光模式很好的匹配。通过腔内倍频、和频、差频等非线性光学混频效应，可获得其它波长激光器。半导体激光泵浦固体激光器与传统的灯泵浦激光器相比，具有高的转换效率和好的光束质量。目前半导体激光泵浦腔内混频激光器的主要应用是腔内倍频激光器。该技术已被广泛的应用于半导体激光泵浦腔内倍频红、绿和蓝光激光器的产品中。

和频激光器中参与频率变换的两个基频光具有不同的波长，选择确定切割的非线性晶体，可获得和频波长输出。图 1 是具有两个分臂和一个公用臂的复合型谐振腔的和频激光器结构。该结构由半导体激光器 1-1 和 1-8，光学耦合系统 1-2 和 1-9，反射腔镜 1-3 和 1-10，增益介质 1-4 和 1-11，和束镜 1-12，和频晶体 1-5 和输出耦合镜 1-6 组成；两个单独的臂与公共臂分别组成子谐振腔，产生两个不同的波长，在公共臂内放置非线性晶体，通过和频获得新和频波长输出。美国专利 No.5.802.086 提出图 2 所示的采用一个直腔式谐振腔激光器的结构。该结构由半导体激光器 2-1，光学耦合系统 2-2，反射腔镜 2-3，增益介质 2-4，和频晶体 2-5，输出耦合镜 2-6 组成，采用一块具有两个以上跃迁波长的激光增益介质，通过腔内和频，获得新波长输出。

发明的详细内容：

为了解决背景技术如图 1 所示采用复合谐振腔的和频激光器，结构复杂、装调困难，稳定性较差；图 2 所示采用直腔式谐振腔的和频激光器，所获得的和频光是单向输出、效率低问题，本发明的目的是将要提出一种结构

简单的折叠式谐振腔、效率高、和频光双向输出的半导体激光泵浦腔内和频激光器。

本发明的原理与结构如图 3 所示，由半导体激光器、光学耦合系统、第一反射腔镜、增益介质、和频晶体、输出耦合镜和第二反射腔镜组成；由第一反射腔镜、增益介质、和频晶体、输出耦合镜和第二反射腔镜组成腔内和频、折叠式谐振腔；谐振腔由两个臂组成，一个臂按第一反射腔镜、增益介质和输出耦合镜排列，另一个臂按输出耦合镜、和频晶体和第二反射腔镜排列，两个臂在输出耦合镜处折叠，折叠角在 10° 到 90° 之间；增益介质、和频晶体和输出耦合镜放在激光谐振腔内，选择增益介质不同的激光跃迁谱线为波长 λ_1 和波长 λ_2 ；增益介质产生的波长 λ_1 和波长 λ_2 基频光束由输出耦合镜反射到和频晶体内，由和频晶体的非线性相互作用，波长为 λ_1 和波长 λ_2 的基频光通过和频产生波长为 λ_3 的第一部分和频光，波长为 λ_3 第一部分和频光通过第二反射腔镜反射后进入和频晶体；未转换的部分波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光通过第二反射腔镜反射到和频晶体内，由和频晶体的非线性相互作用产生波长为 λ_3 的第二部分和频光，波长 λ_3 两部分和频光叠加后由输出耦合镜输出到折叠式谐振腔外，得到一个波长 λ_3 和频激光。

在第一反射腔镜靠近光学耦合系统的表面镀制泵浦光减反的介质膜；在第一反射腔镜靠近增益介质的表面是平面或凹面，并在平面或凹面制备对泵浦光减反和波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光高反的多层介质膜。

在增益介质的两个通光面制备对波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光减反的介质膜。

在输出耦合镜的基频光高反射面制备对波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光高反，波长为 λ_3 的和频光增透的多层介质膜，在输出耦合镜的另一面制备对波长 λ_3 的和频光的增透膜。

在和频晶体的两个通光面制备对波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光高反和波长

λ_3 的和频光三波长减反的介质膜。

在第二反射腔镜的反射表面制备对波长 λ_2 、波长 λ_1 的基频光和波长 λ_3 的和频光三波长高反的介质膜。

把第一反射腔镜直接制备在增益介质的泵浦光入射面。

如图 5 所示的半导体激光泵浦腔内和频折叠谐振腔激光器，由半导体激光器、第一反射腔镜、增益介质、和频晶体、输出耦合镜和第二反射腔镜组成；由第一反射腔镜、增益介质、和频晶体，输出耦合镜和第二反射腔镜组成腔内和频、折叠式谐振腔；谐振腔由两个臂组成，一个臂按第一反射腔镜、增益介质和输出耦合镜排列，另一个臂按输出耦合镜、和频晶体和第二反射腔镜排列，两个臂在输出耦合镜处折叠，折叠角在 10° 到 90° 之间；第一反射腔镜直接制备在增益介质的泵浦光入射面，半导体激光器的泵浦光近贴耦合到增益介质内；增益介质、和频晶体和输出耦合镜放在激光谐振腔内，选择增益介质不同的激光跃迁谱线为波长 λ_1 和波长 λ_2 ；增益介质产生的波长 λ_1 和波长 λ_2 基频光束由输出耦合镜反射到和频晶体，由和频晶体的非线性相互作用，波长为 λ_1 和波长 λ_2 的基频光通过和频产生波长为 λ_3 的第一部分和频光，波长为 λ_3 第一部分和频光通过第二反射腔镜反射后进入和频晶体；未转换的部分波长 λ_2 和波长 λ_1 的基频光通过第二反射腔镜反射到和频晶体，由和频晶体的非线性相互作用产生波长为 λ_3 的第二部分和频光，波长 λ_3 两部分和频光叠加后由输出耦合镜输出到折叠式谐振腔外，得到一个波长 λ_3 和频激光。

在和频晶体上制备对波长 λ_2 、波长 λ_1 的基频光和波长 λ_3 的和频光三波长高反的介质膜。

其中波长 λ_1 、波长 λ_2 和波长 λ_3 满足和频关系 $1/\lambda_3=1/\lambda_2+1/\lambda_1$ ；和频晶体按波长 λ_2 和波长 λ_1 的和频位相匹配的方向切割，使波长 λ_2 和波长 λ_1 在和频晶体中共线传播时满足位相匹配关系 $n_3/\lambda_3=n_2/\lambda_2+n_1/\lambda_1$ ，其中 n_3 、 n_2 和 n_1 分

别是波长 λ_3 、波长 λ_2 和波长 λ_1 在和频晶体中传播时的折射率。

第一反射腔镜的膜系制备要求对波长 λ_1 和波长 λ_2 两个波长具有高反射率，同时对半导体激光器发出的泵浦波长具有高透过率；输出耦合镜的膜系制备要求对 λ_1 和波长 λ_2 的基频光在激光入射角 θ 的方向上具有的高反射率，同时对和频光的波长 λ_3 具有高透过率；第二反射腔镜的膜系制备要求对波长 λ_1 、波长 λ_2 和波长 λ_3 具有高反射率。

本发明的激光器工作时：作为泵浦光源的半导体激光器发出泵浦光，被光学耦合部件耦合到激光增益介质内；当半导体激光器发出的泵浦光功率超过谐振腔对波长 λ_2 和波长 λ_1 在谐振腔内振荡的阈值功率时，激光增益介质产生了波长 λ_2 和波长 λ_1 等两个不同波长的基频光，在第一反射腔镜和第二反射腔镜之间传播振荡，在激光增益介质内放大；当基频光通过和频晶体时，通过非线性光学和频相互作用，产生了不同于波长 λ_2 和波长 λ_1 的第三个波长为 λ_3 的和频光。一个方向传播的波长为 λ_3 的和频光由第二反射腔镜反射后再次通过和频晶体，与另一方向传播的波长为 λ_3 的和频光组合后，通过输出耦合镜输出到激光谐振腔外。且该谐振腔的结构为图3的折叠式谐振腔。

由于本发明采用折叠式谐振腔结构，解决了图1所示背景技术的复合式谐振腔带来结构复杂、装调困难，稳定性较差的问题，使得本的发明结构简单，装调容易，作为产品稳定性好。

由于本发明采用折叠式谐振腔的结构，解决了图2所示的背景技术采用直腔式谐振腔的和频激光器，所获得的和频光是单向输出、效率低的问题。本发明如图3所示的和频激光器具有两个优点：由于在折叠腔的两个臂上可分别有束腰，经过谐振腔结构设计，可使其中一个束腰在激光增益介质所在的臂内，基模尺寸与入射的泵浦光模式优化匹配，获得最大的泵浦效率；使另一个臂的束腰在和频晶体中，并可在保持激光束的聚焦长度与和频晶体长度匹配和激光功率密度不超过和频晶体及其表面光学薄膜损伤阈值的情况下。

下，有效的降低基频光束腰，提高基频光功率密度，获得高的和频效率；该结构的另一个优点是基频光双向通过晶体产生的和频光都可通过输出耦合镜单向输出，增加了和频光的利用率。为此，本发明可获得结构简单、效率高、折叠式谐振腔的和频光双向输出的半导体激光泵浦腔内和频激光器。

附图说明：

图 1 是背景技术具有两个子谐振腔的复合式谐振腔半导体激光泵浦和频激光器结构图

图 2 是背景技术直腔式谐振腔半导体激光泵浦腔内和频激光器结构图

图 3 是本发明的结构示意图

图 4 是入射面反射腔镜直接制备在激光增益介质上的半导体激光泵浦腔内和频 593.5 nm, 589 nm 和 501nm 激光器采用本发明的实施例四。

图 5 是入射面反射腔镜直接制备在激光增益介质上，近贴耦合的半导体激光泵浦腔内和频 593.5 nm, 589 nm 和 501nm 激光器采用本发明实施例五。

图 6 是反射腔镜直接制备在和频晶体上的半导体激光泵浦腔内和频 593.5 nm, 589 nm 和 501nm 激光器采用本发明的实施例六。

具体实施方式：本发明的结构包括半导体激光器 3-1，光学耦合系统 3-2，第一反射腔镜 3-3，增益介质 3-4，和频晶体 3-5，输出耦合镜 3-6 和第二反射腔镜 3-7。

本发明的实施例一，与图 3 类似：其中半导体激光器 3-1 可采用半导体激光器列阵或采用半导体激光器，光学耦合系统 3-2 通常由球面镜、非球面镜、柱面镜、自聚焦透镜、光纤、棱镜或二元光学透镜等组成，谐振腔由两个臂组成，一个臂按第一反射腔镜 3-3、增益介质 3-4 和输出耦合镜 3-6 排列，另一个臂按输出耦合镜 3-6、和频晶体 3-5 和第二反射腔镜 3-7 排列，两个臂在输出耦合镜处折叠，其折叠角可选择 10°；第一反射腔镜 3-3 的凹面制备对波长 1342nm 和 1064nm 的反射率都大于 99.5%，波长 808nm 的透

过率大于 80% 的多层介质膜。第一反射镜 3-3 的平面制备对波长 808nm 的透过率大于 99% 的增透膜。增益介质 3-4 采用 Nd:YVO₄ 激光晶体，其激光跃迁波长为 1342nm 和 1064nm，所对应的能级跃迁分别为 ⁴F_{3/2} 到 ⁴I_{13/2} 和 ⁴F_{3/2} 到 ⁴I_{11/2}。Nd:YVO₄ 激光晶体的两个通光面制备对 1342nm 和 1064nm 双波长增透膜，透过率大于 99%。和频晶体 3-5 为 LBO，KTP 或其它非线性晶体，其中 LBO 和 KTP 分别按波长 1342nm 和波长 1064nm 的和频 I 类相位匹配和 II 类相位匹配方向切割，该晶体的两个通光面都制备对 1342nm、1064nm 和 593.5nm 的三波长增透膜，透过率大于 99%。输出耦合镜 3-6 的凹面制备对波长 1342nm 和 1064nm 的反射率都大于 99.5%，对波长 593.5nm 的透过率大于 80% 的多层介质膜。输出耦合镜 3-6 的平面制备对波长 593.5nm 的透过率大于 99% 的增透膜。第二反射腔镜 3-7 为凹面镜或平面镜，其凹面镜的凹面或平面镜的一个平面制备对波长 1342nm、1064nm 和 593.5nm 等具有高反射率的多层介质膜。其中对波长 1342nm 和 1064nm 的反射率大于 99.5%，对 593.5nm 的反射率大于 95%。

当半导体激光器或半导体激光器列阵 3-1 工作时，随着泵浦功率的增加，在 Nd:YVO₄ 内产生 1342nm 和 1064nm 的两个波长的基频光，在谐振腔内振荡，通过 LBO 或 KTP 时，产生 593.5nm 黄色激光，由输出耦合镜 3-6 输出。

本发明的实施例二与实施例一类似，折叠角可选择 10°；第一反射腔镜 3-3 的平面制备对 808nm 的透过率大于 99% 增透膜。反射腔镜 3-3 的凹面制备对波长 1319nm 和 1064nm 的反射率都大于 99.5%，对波长 808nm 的透过率大于 80% 的多层介质膜。增益介质 3-4 采用为 Nd:YAG 激光晶体，其激光跃迁波长为 1319nm 和 1064nm，所对应的能级跃迁分别为 ⁴F_{3/2} 到 ⁴I_{13/2} 和 ⁴F_{3/2} 到 ⁴I_{11/2}。Nd: YAG 激光晶体的两个通光面制备对 1319nm 和 1064nm 双波长增透膜，透过率大于 99%。和频晶体 3-5 为 LBO 或 KTP 非线性晶体，其中 LBO 和 KTP 分别按波长 1319nm 和波长 1064nm 的 I 类和频位相匹配和 II

类和频位相匹配方向切割，和频晶体 3-5 的两个通光面制备对 1319nm、1064nm 和 589nm 三波长增透膜，透过率大于 99%。输出耦合镜 3-6 的平面膜系制备要求对波长 589nm 的透过率大于 99%。输出耦合镜 3-6 的凹面膜系制备要求对波长 1319nm 和 1064nm 的反射率都大于 99.5%，对波长 589nm 的透过率大于 80%。反射腔镜 3-7 的膜系制备要求对波长 1319nm、1064nm 和 589nm 等三个波长的高反膜。其中对波长 1319nm 和 1064nm 的反射率大于 99.5%，对 589nm 的反射率大于 95%。

当半导体激光器或半导体激光器列阵 3-1 工作时，589nm 的黄色激光由输出耦合镜 3-6 输出。

本发明的实施例三与实施例一类似，折叠角可选择 10°；反射腔镜 3-3 的凹面制备对波长 946nm 和 1064nm 的反射率都大于 99.5%，对波长 808nm 的透过率大于 80%的多层介质膜。反射镜 3-3 的平面制备对 808nm 的透过率大于 99%增透膜。激光晶体 3-4 采用 Nd:YAG 激光晶体的激光跃迁波长为 946nm 和 1064nm，所对应的能级跃迁分别为 $^4F_{3/2}$ 到 $^4I_{9/2}$ 和 $^4F_{3/2}$ 到 $^4I_{11/2}$ 。Nd: YAG 激光晶体的两个通光面制备对 946nm 和 1064nm 双波长增透膜，透过率大于 99%。和频晶体 3-5 为 LBO 或 KTP 非线性晶体，其中 LBO 和 KTP 分别按波长 946nm 和波长 1064nm 的 I 类和频位相匹配和 II 类和频位相匹配方向切割，和频晶体 3-5 的两个通光面制备对 946nm、1064nm 和 501nm 三波长增透膜，透过率大于 99%。输出耦合镜 3-6 的凹面膜系制备要求对波长 946nm 和 1064nm 的反射率都大于 99.5%，对波长 501nm 的透过率大于 80%。输出耦合镜 3-6 的平面膜系制备要求对波长 501nm 的透过率大于 99%。反射腔镜 3-7 的膜系制备要求对波长 946nm、1064nm 和 501nm 等三个波长的高反膜。其中对波长 946nm 和 1064nm 的反射率大于 99.5%，对 501nm 的反射率大于 95%。

当半导体激光器或半导体激光器列阵 3-1 工作时，501nm 的青色激光由

输出耦合镜 3-6 输出。

本发明实施例四如图 4 所示，与实施例一，实施例二和实施例三类似，折叠角可选择 45°；是把第一反射腔镜 4-3 直接镀制在激光增益介质 4-4 的泵浦光入射面。对应于实施例一，Nd:YVO₄ 激光增益介质 4-4 的膜系要求为：泵浦光入射面对波长 1342nm 和 1064nm 的反射率都大于 99.5%，对波长 808nm 的透过率大于 80%；另一面制备对 1342nm 和 1064nm 双波长增透膜，透过率大于 99%。对应于实施例二，Nd:YAG 激光增益介质 4-4 的膜系要求为：泵浦光入射面对波长 1319nm 和波长 1064nm 的反射率都大于 99.5%，对波长 808nm 的透过率大于 80%；另一面对 1319nm 和 1064nm 双波长增透膜，透过率大于 99%。对应于实施例三，Nd:YAG 激光增益介质 4-4 的膜系要求为：泵浦光入射面对波长 946nm 和波长 1064nm 的反射率都大于 99.5%，对波长 808nm 的透过率大于 80%；另一面对 946nm 和 1064nm 双波长增透膜，透过率大于 99%。

本发明实施例五如图 5 所示，与实施例三类似，是把光学耦合系统去掉，并使半导体激光器的发光点靠近激光增益介质 5-4，直接把泵浦光近贴耦合到激光增益介质 5-4 内。其中半导体激光器的发光点到激光增益介质 5-4 的右平面或球面的距离小于 6 微米。折叠角可选择 90°。

本发明实施例六如图 6 所示，与实施例一，实施例二和实施例三类似，只是把第二反射镜 6-7 直接制备在和频晶体 6-5 上，在和频晶体 6-5 的高反射面直接制备对波长 1342nm、1064nm 和 593.5nm（对应于实施例一）或波长 1319nm、1064nm 和 589nm（对应于实施例二）等三个波长的高反射膜或波长 946nm、1064nm 和 501nm（对应于实施例三）等三个波长的高反射膜，另一面的膜系不变。折叠角可选择 30°。

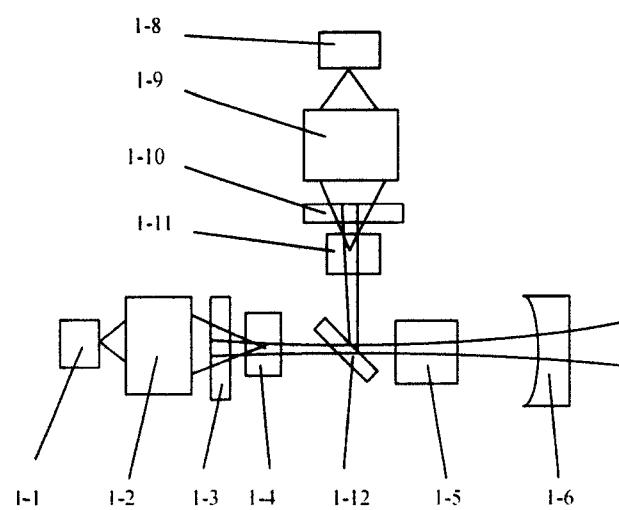


图 1

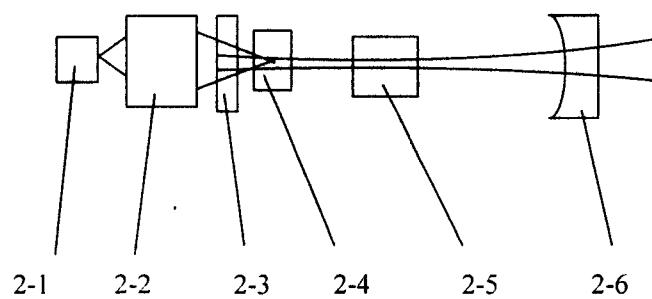


图 2

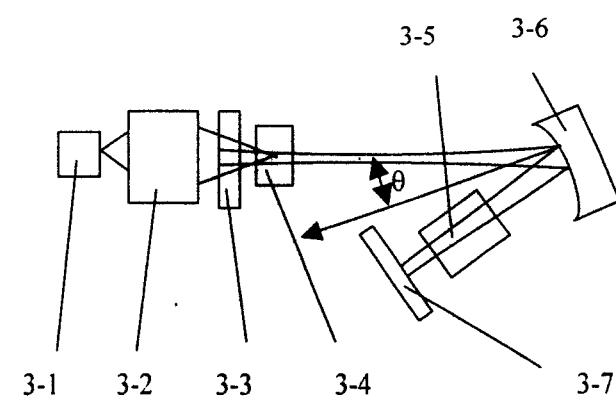


图 3

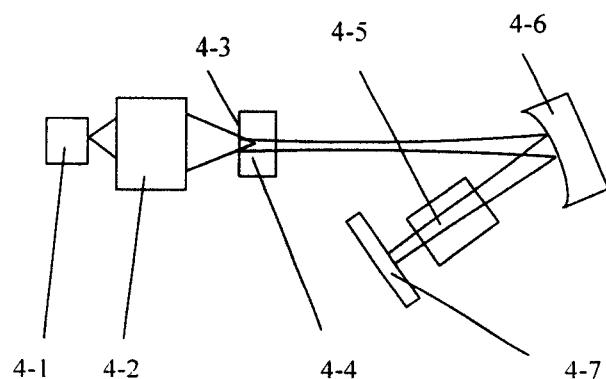


图 4

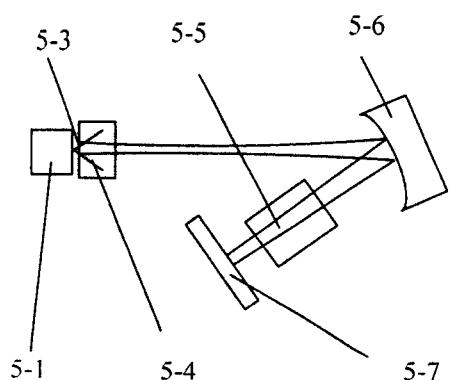


图 5

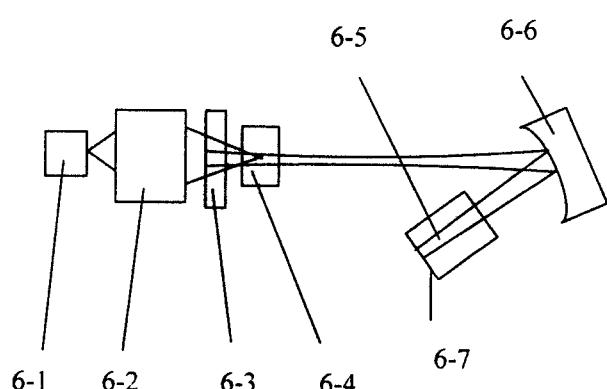


图 6