

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 **98125474.8**

[45] 授权公告日 2002 年 7 月 3 日

[11] 授权公告号 CN 1087115C

[22] 申请日 1998. 12. 10

[21] 申请号 98125474.8

[73] 专利权人 山西大学

地址 030006 山西省太原市坞城路 36 号

[72] 发明人 张宽收 张靖 王润林

郭蕊香 **王军民** 彭莹辉

审查员 杨哲

[74] 专利代理机构 山西五维专利事务所(有限公司)

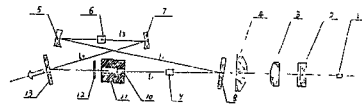
代理人 李毅 魏树巍

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图页数 1 页

[54] 发明名称 **全固化单频倍频激光器**

[57] 摘要

本发明是一种半导体激光(LD)泵浦单频倍频运转的固体激光器。LD 光束整形系统采用一自聚焦透镜和两正交柱面镜及聚焦透镜组成,利用自聚焦透镜对 x,y 方向放大率的差异实现对 LD 光束的最佳整形。腔形采用四镜环形谐振腔,使用不同增益介质 Nd:YAG, Nd:YVO₄, Nd:YAP 晶体实现了内腔倍频单频运转,通过本发明使激光器达到高的倍频转换效率,稳定的单频绿光输出。可广泛应用于光谱,相干通信,激光雷达,引力波探测,二次谐波产生,参量振荡等领域。



权 利 要 求 书

1. 一种全固化单频倍频激光器，由半导体激光器、泵浦光整形系统和环行谐振腔组成，腔内放入激光增益介质(9)和倍频晶体(6)，其特征在于：激光增益介质(9)置于第一、第二平面腔镜(8)、(13)之间腔模腰斑处，倍频晶体(6)置于第一、第二凹面腔镜(5)、(7)之间的腔模腰斑处，整形系统是由一自聚焦透镜(1)、第一柱面镜(2)和第二柱面镜(3)及聚焦透镜(4)组成，自聚焦透镜(1)置于靠近 LD 发光面，第一柱面镜(2)置于自聚焦透镜(1)与第二柱面镜(3)之间，第二柱面镜(3)置于第一柱面镜(2)与聚焦透镜(4)之间，并与第一柱面镜(2)正交放置，聚焦透镜(4)置于第二柱面镜(3)与第一平面腔镜(8)之间，环行谐振腔是由所述的第一、第二平面腔镜(8)、(13)和第一、第二凹面腔镜(5)、(7)组成，四个腔镜按 8 字光路安放，所述的第一平面腔镜(8)为泵浦输入耦合镜。
2. 根据权利要求 1 所述的全固化单频倍频激光器，其特征在于所述的整形系统的自聚焦透镜(1)是一端为凸面，另一端为平面，聚焦透镜(4)是一个大口径的平凸透镜。
3. 根据权利要求 1 所述的全固化单频倍频激光器，其特征在于所述的环行谐振腔第一、第二平面腔镜(8)(13)之间的腔模腰斑和泵浦光的聚焦点重合，且重合点在所述的增益介质(9)中距前端面 $500\ \mu\text{m}\sim 2\text{mm}$ 处，增益介质(9)前端面镀有泵浦光和红外双增透膜，另一端为红外增透膜。
4. 根据权利要求 1 所述的全固化单频倍频激光器，其特征在于所述的环行谐振腔中倍频晶体(6)放置在所述的第一、第二凹面腔镜(5)(7)之间的腔模腰斑的正中，腔模的共焦长度略大于或等于倍频晶体的长度。
5. 根据权利要求 1 所述的全固化单频倍频激光器，其特征在于所述的环行谐振腔考虑了热不灵敏条件，使谐振腔的 $|A+D|=0$ 。
6. 根据权利要求 1 至 5 中任一权利要求所述的全固化单频倍频激光器，其特征在于所述的环行谐振腔中增益介质(9)采用 Nd:YVO_4 晶体，倍频晶体(6)是二类临界相位匹配的 KTP，腔内还放入由外加磁场(11)的 TGG 晶体(10)和二分之一波片(12)组成的光单向器，使倍频绿光单频输出。
7. 根据权利要求 1 至 5 中任一权利要求所述的全固化单频倍频激光器，

权 利 要 求 书

其特征在于所述的环行谐振腔中增益介质(9)采用 Nd:YAP 晶体, 倍频晶体(6)是二类非临界相位匹配的 KTP, 腔内还放入由外加磁场(11)的 TGG 晶体(10)和二分之一波片(12)组成的光单向器, 使倍频绿光单频输出。

8. 根据权利要求 1 至 5 中任一权利要求所述的全固化单频倍频激光器, 其特征在于所述的环行谐振腔中增益介质(9)采用 Nd:YAG 晶体, 倍频晶体(6)是二类临界相位匹配的 KTP, Nd:YAG 晶体加上磁场(11), Nd:YAG 晶体本身的法拉第效应和非平面腔组成光单向器, 使倍频绿光单频输出。

全固化单频倍频激光器

本发明涉及一种激光器，具体是一种半导体激光（LD）泵浦单频倍频运转的连续固体激光器。

八十年代中期以来，随着半导体激光器实用化水平的提高，半导体激光器泵浦的固体激光器得到迅猛发展。该类器件不仅使固体激光器真正实现了全固化，而且具有高效率、长寿命、结构紧凑、频率稳定等其它激光器不可比拟的优点。国内外的研究部门和厂商纷纷研制性能各异的全固化激光器，并迅速在激光器市场上占有一席之地，大有取代其它激光器的趋势。特别是半导体激光泵浦的全固化单频激光器，以其优良的特性广泛应用于光谱，相干通信，激光雷达，引力波探测，二次谐波产生，参量振荡，及压缩态光场产生等领域。

端面泵浦中小功率的 LD 大都采用一维阵列激光二极管，它的发光面长从 $100\ \mu\text{m}$ 到 $500\ \mu\text{m}$ ，宽为 $1\ \mu\text{m}$ ，输出功率从几百毫瓦到四瓦。它的发散角在 x 、 y 不对称，一般垂直于结平面方向发散角为 34° ，平行于结平面方向发散角为 10° 。对 LD 光束整形通常采用一准直透镜和一聚焦透镜，因 LD 发光面和发散角的不对称，使进入增益介质的泵浦光尺寸较大且呈椭圆状，将影响整个激光器的最终转换效率。根据 LD 发光面和发散角的不对称性，可在准直透镜和聚焦透镜之间加一扩束棱镜对，实现整个整形系统的 x 、 y 方向不同的放大倍数，可达到较好的泵浦尺寸，但棱镜对较难调整且损耗较大。

端面纵向泵浦的固体激光器易于实现单横模输出，现已采用多种方法使该器件达到单纵模运转（戴特力 编著 《半导体二极管泵浦固体激光器》 四川大学出版社，1993）。例如用扭转模腔，短腔谐振，利用标准具选模，利用具有高吸收系数的激光介质短程吸收泵浦光等。但只有利用环形谐振腔，通过在谐振腔中插入光学单向器使激光器单向运转，才可以实现精密的选模，从而达到理想的频率稳定性。早期，人们设计出激光二极管泵浦的单块非平面环形激光器，这种设计把单向环行谐振腔做在单块 Nd:YAG 激光晶体内，除输出耦合镜外，其它三个反射面利用内全反射，并利用 Nd:YAG 晶体本身作为法拉弟旋转器。由于该谐振腔的内腔损耗降至最小，因而激光器的泵浦阈值可降至 5mW 以下，并且这种激光器的频率极稳定。但人们逐渐发现由分离元件组成的环形激光器亦有其不可比拟的优点。这种激光器易于构成、调节，而且可以在谐振腔内插入各种元件，使激光器以不同方式运转。环形腔实现稳定的单频输出，高的转换效率，在腔形设计上要求严格，尤其对内腔倍频来说，因腔内加入倍频晶体而引入非线性损耗，偏振光的退偏损耗等，使激光器得到稳定的单频绿光输出相当困难。

本发明的目的在于设计一种整体转换效率高、单频运转稳定的全固化单频倍频固体激光器。

本发明所提供的全固化单频倍频激光器，由半导体激光器、泵浦光整形系统和环行谐振腔组成，腔内放入激光增益介质和倍频晶体，其特征在于：激光增益介质置于第一、第二平面腔镜之间腔模腰斑处，倍频晶体置于第一、第二凹面腔镜之间的腔模腰斑处，整形系统是由一自聚焦透镜、第一柱面镜和第二柱面镜及聚焦透镜组成，自聚焦透镜置于靠近 LD 发光面，第一柱面镜置于自聚焦透镜与第二柱面镜之间，第二柱面镜置于第一柱面镜与聚焦透镜之间，并与第一柱面镜正交放置，聚焦透镜置于第二柱面镜与第一平面腔镜之间，环行谐振腔是由第一、第二平面腔镜和第一、第二凹面腔镜组成，四个腔镜按 8 字光路安放，第一平面腔镜为泵浦输入耦合镜。

所述的整形系统是由一自聚焦透镜、两正交柱面镜及聚焦透镜组成。自聚焦透镜在靠近 LD 一端为凸面，另一端为平面。自聚焦透镜一端的凸面是为了减小透镜的球差，增大收光角，从而增强自聚焦透镜的聚光能力，获得较小聚焦光斑尺寸。自聚焦透镜的放大倍数与距 LD 发射端面的距离有关，而在 LD 发射端面有一镀增透膜的保护窗片，因此窗片的厚度和位置决定了自聚焦透镜的放大倍数。在自聚焦棒输出端面后约 1.3mm 处有一会聚点。对于 4W 激光器，垂直 y 方向由 34° 变为 6° ，水平 x 方向由 12° 变为 28° ，从中算出自聚焦透镜 y 方向放大倍数为 $0.18\times$ ，x 方向 $2.3\times$ 。自聚焦透镜 x、y 方向对称光学元件实现 x、y 方向不同的放大，这与有的整形系统使用一棱镜对扩束实现 x、y 方向不同的放大有着异曲同工之妙。其后使用两个正交放置的柱面镜，将 LD 输出激光的 x、y 方向分别整形为近似平行光，最后通过一大口径的聚焦透镜对泵浦光进行聚焦。

所述的环行谐振腔采用四镜环行腔，由两个平面腔镜和两个凹面腔镜构成，这样光束在腔内可形成两个腰斑，可以分别进行倍频和泵浦模式匹配。两凹面腔镜曲率小，它们之间形成一个较小的腰斑，可使 KTP 晶体达到最大的非线性转换效率。两平面镜之间也存在一个腰斑，此腰斑与泵浦腰斑相匹配达到最佳的模式腰斑尺寸。

在设计半导体激光泵浦的固体激光器中，决定激光效率和输出功率的一个最重要参数是泵浦光束与激光模式在增益介质的交叠度。优化后的腔内激光模式尺寸决定了环行谐振腔结构尺寸。Nd:YVO₄ 晶体的吸收长度约为 1.8mm，Nd:YAG 和 Nd:YAP 吸收长度略长。经过数值计算焦平面应位于进入晶体平面 1mm 处最好。4W LD 经整形系统后最小平均腰斑半径尺寸为 $225\ \mu\text{m}$ ，椭圆度为 0.112。

根据带有空间变量速率方程出发根据稳态条件和一级近似，得到最大的功率输出时最佳的腔内模式腰斑半径尺寸为 $230\mu\text{m}$ 。整形系统最后的聚焦透镜焦距为 50mm ，泵浦光的聚焦点在距输入镜 30mm 处，因此调整四个腔镜的位置使两平面腔镜之间的腔模腰斑和泵浦光的聚焦点重合，且重合点在增益介质中距前端面 $500\mu\text{m}\sim 2\text{mm}$ 处。增益介质前端面镀有泵浦光和红外双增透膜，另一端为红外增透膜。

在一定的内腔功率条件下，倍频转换效率随倍频晶体中的腰斑的减小而增加，当光束腰斑尺寸对应的共焦长度小于等于倍频晶体的长度时，光束在晶体内有很大程度的发散而降低了光强，以及倍频晶体的走离效应，都减弱了二次谐波产生，所以合理的情形是将光束聚焦到光束的腰斑对应的共焦长度等于倍频晶体的长度。在适当的条件下，可以将激光器的全部可应用的功率以频率为 2ω 不是 ω 的波抽取出来。假定在各给定泵浦条件下，当输出腔镜具有（最佳的）百分之三的透射率时，功率输出可达极大值，用一个对 ω 具有百分之百反射率的腔镜取代输出腔镜，并在谐振腔内放置一个非线性晶体，如果此时每穿行一次由 ω 到 2ω 的转换效率是百分之三，该台激光器就又还原到原来那样的最佳状态，只不过以前的损耗是由于功率经过输出腔镜而耦合出去，现在的功率损失是由于二次谐波产生，因而产生的 2ω 功率就等于以前经过腔镜耦合出去的激光功率，这样一来就相当于激光器原来所能供应的总功率完全转换给二次谐波。在设计时合理选择倍频晶体的长度，倍频晶体放置在环行谐振腔两凹面腔镜之间的腔模腰斑的正中，腔模的共焦长度略大于或等于倍频晶体的长度。

当泵浦光激励激光增益介质时，一部分产生了所希望的粒子数反转数，余下部分，由于无辐射跃迁，基质的直接吸收及对粒子数反转无贡献的激活粒子跃迁以热的形式耗散在工作物质中，使工作物质产生温升、热聚焦及双折射等物理效应，这些效应可近似等效为一正的热透镜，这严重地影响了激光器的性能。为了补偿热透镜可在棒端磨成有一定曲率凹面以消除热透镜影响，然而这种方法只有在整个运转中热焦距保持不变的情况下， TEM_{00} 模才能得到改善，但热焦距稍有偏离，光束特性就立刻变坏。在腔形设计时，采用热不灵敏腔，保证在一定腔形时，光束发散角和模体积对于激光棒的平均热焦距的变化是不灵敏的，热不灵敏条件为 $|A+D|=0$ 。所以，在激光器腔形设计时，可适当选取参数，以改善激光器由于泵浦而带来的热效应。

在 Nd:YVO_4 +KTP 单频激光器中倍频晶体选用按二类临界相位匹配方向切割的 KTP 晶体。 Nd:YVO_4 是单轴晶体，其平行与光轴（即 c 轴）方向的激光发射

截面是垂直于光轴方向的 4 倍，输出是平行于光轴的线偏振光。KTP 的快轴与 Nd:YVO₄ 的光轴成 45° 角（二类临界相位匹配 KTP 晶体倍频时的相位匹配的要求）。KTP 是双轴晶体，放在腔内起一个波片的作用，因此必须控制 KTP 晶体的温度使它对基波充当一个全波片的作用，以减小 KTP 晶体对基波退偏而引入的损耗。在设计激光器谐振腔时，要认真选取内腔元件尽量引入小的损耗，使非线性损耗占主导地位。内腔倍频与基波输出在腔形设计上有着很大的不同。设计基频输出谐振腔时，由于输出耦合镜在很宽频段内透射率是不变的，所以对正反方向的光波引入的损耗是相同的，在腔内加入一些元件正反方向引入很小损耗差，腔内就可单向运转单频输出。例如，腔内加一声光调制器正反方向的光波引入的损耗差为 0.02%，这足够使腔内光波单向运转。但内腔倍频却不同，从前面内腔倍频理论分析看出倍频引入的非线性损耗与腔内基波功率有关，腔内起振方向的基波非线性损耗大，另一个方向小，所以非线性损耗也是一种损耗差。腔内总的损耗差=单向器引入损耗差-非线性损耗差。在内腔倍频腔形设计上要使单向器引入损耗差大于非线性损耗差。

Nd:YAP 为双轴晶体，所使用 Nd:YAP 棒为沿 b 轴方向拉制的，对于 b 轴取向的 Nd:YAP 晶体棒而言，偏振方向平行于 c 轴的 1.08 μm 谱线增益最强，因此它与 Nd:YVO₄ 晶体实现单频运转的机理一致。

Nd:YAG 晶体是均匀加宽介质，在环行激光器中，使激光器单向运转，消除空间烧孔效应，使激光器实现单纵模运转，通常在激光器中加入光学单向器，不引入正向传播激光的损耗，而增大反向传播激光的偏振损耗，来迫使激光器单向运转。通常光学单向器由起检偏器，法拉第旋转器，二分之一波片组成，为了尽可能降低激光器的内腔损耗并使激光器结构简单紧凑，我们设计出四镜非平面环形谐振腔，利用正反向传播的激光在腔内传播一周后产生的彼此反向的偏振方向旋转，来代替二分之一波片，并将磁场加在 Nd:YAG 激光晶体上，利用 Nd:YAG 晶体微弱的法拉第效应，使正反向传播的激光产生彼此同向的偏振方向旋转，来代替通常将磁场加在 TGG 旋光晶体上构成的法拉第旋转器。设计中可以通过调节非平面角，降低正向传播激光的偏振损耗，增大反向传播激光的偏振损耗，迫使激光器单向运转，得到单频激光输出。

本发明设计的全固化单频固体激光器与已报道的单频固体激光器相比有以下优点：

1. 由分离元件组成，易构成、易调节。
2. 整形系统对泵浦光束的整形效果好，能与腔模实现最佳空间交叠匹配，提高激光的转换效率且能得到好的激光模式。

3. 本发明采用四镜环行腔，腔内形成两个腰斑，一个进行泵浦光与腔模最大空间交叠匹配，另一个进行最佳倍频转换，使激光器泵浦阈值降低，倍频转换效率提高。

4. 腔形上考虑了热不灵敏条件，使激光器输出更加稳定。

5. 考虑了内腔倍频与红外单频运转的不同，认真设计了内腔倍频的单频输出，实现了长时间稳定的单频绿光输出而不跳模。

总之，该激光器整体转换效率高、单频运转稳定。

附图的简要说明

图 1、本发明 Nd:YVO₄+KTP（二类临界相位匹配）单频倍频激光器的结构示意图。

图 2、本发明 Nd:YAP+KTP（二类非临界相位匹配）单频倍频激光器的结构示意图。

图 3、本发明 Nd:YAG+KTP（二类临界相位匹配）单频倍频激光器的结构示意图。

下面结合附图进一步描述本发明的实施方案。

本发明的实施例一 Nd:YVO₄+KTP（二类临界相位匹配）单频激光器，如图 1 所示。LD 泵浦光束整形系统是由一自聚焦透镜 1、两正交柱面镜 2 和 3 及聚焦透镜 4 组成。自聚焦透镜 1 的数值孔径.N.A=0.6，直径 1.5mm，长 3mm，自聚焦棒在靠近 LD 一端为凸面，另一端为平面。自聚焦透镜一端的凸面是为了减小透镜的球差，增大收光角，从而增强自聚焦透镜的聚光能力，获得较小聚焦光斑尺寸。柱面镜 2 为 15×10mm，焦距为 20mm，柱面镜 3 为 15×10mm，焦距为 40mm，使用这两个正交放置的柱面镜，将 LD 输出激光的 x, y 方向分别整形为近似平行光。聚焦透镜 4 孔径为 Φ20mm，焦距为 50 mm，将平行光束聚焦到距输入耦合腔镜约 30mm 处。

在本发明中使用 1) SLI-CW 1W 的 LD，发光面为 100 μm×1 μm，远场发散角 $\theta_{//}=12^\circ$ ， $\theta_{\perp}=34^\circ$ 。通过测量得到泵浦光束经过整形系统的发散角，来估算出泵浦光在增益介质中的光斑尺寸。在聚焦透镜前平行光束的光斑尺寸 6×5 mm，经过聚焦透镜泵浦光束发散角变为 $\theta_{\perp}=2\arctg(5/(50\times 2))=5.7^\circ$ ， $\theta_{//}=2\arctg(6/(50\times 2))=6.9^\circ$ ，进入增益介质后变为 3.2° 和 3.8°。垂直方向发散角缩小了 6 倍，垂直方向进入增益介质光斑增大为 6 μm，水平方向发散角缩小了 1.7 倍，水平方向进入增益介质光斑为 170 μm。2) 2W 的 LD，发光面为 200 μm×1 μm，远场发散角 $\theta_{//}=12^\circ$ ， $\theta_{\perp}=34^\circ$ 。在聚焦透镜前平行光束的光斑尺寸 6×5 mm，经过聚焦透镜泵浦光束发散角变为 $\theta_{\perp}=5.7^\circ$ ， $\theta_{//}=6.9^\circ$ ，进入增益介质

后变为 3.2° 和 3.8° 。垂直方向发散角缩小了 6 倍，垂直方向进入增益介质光斑增大为 $6\mu\text{m}$ ，水平方向发散角缩小了 1.7 倍，水平方向进入增益介质光斑为 $340\mu\text{m}$ 。3) SDL4W 的 LD，发光面为 $500\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ ，远场发散角 $\theta_{//}=12^\circ$ ， $\theta_{\perp}=34^\circ$ 。在聚焦透镜前平行光束的光斑尺寸 $12\times 3\text{mm}$ ，经过聚焦透镜泵浦光束发散角变为 $\theta_{\perp}=3.4^\circ$ ， $\theta_{//}=13.7^\circ$ ，进入增益介质后变为 1.9° 和 7.7° 。垂直方向发散角缩小了 10 倍，垂直方向进入增益介质光斑增大为 $10\mu\text{m}$ ，水平方向发散角缩小了 1.1 倍，水平方向进入增益介质光斑为 $450\mu\text{m}$ 。

激光器中的增益介质 9 采用 a 轴切割的掺钕钒酸钇 (Nd:YVO_4) 晶体在 $1.064\mu\text{m}$ 波长处的有效受激发射截面为 $15.6\times 10^{-19}\text{cm}^2$ 是 Nd:YAG 晶体 4 倍左右。与相同掺 Nd 浓度的 Nd:YAG 晶体相比，Nd:YVO₄ 在 808nm 波段的吸收系数要高近 5 倍，吸收带宽也较宽，Nd:YVO₄ 掺杂浓度可从 0.1at% 到 3at% 而 Nd:YAG 最高只能到 1.5at%。因此 Nd:YVO₄ 晶体较 Nd:YAG 晶体具有低的泵浦阈值，高的转换效率。实例中 Nd:YVO₄ 晶体的掺杂浓度为 0.5at%，横截面为 $3.0\times 3.0(\text{mm})$ ，a 轴通光，通光方向长度为 $5.0(\text{mm})$ ，晶体的前表面镀 $1.064\mu\text{m}/809\text{nm}$ 双减反膜，剩余反射率 $R_{1.064\mu\text{m}}<0.2\%$ ， $R_{809\text{nm}}<5\%$ ，后表面镀 $1.064\mu\text{m}$ 减反膜，剩余反射率 $R_{1.064\mu\text{m}}<0.2\%$ 。在 809nm 处，晶体对平行于 c 轴的偏振泵浦光的吸收系数为 21.0cm^{-1} ，对平行于 a 轴的偏振泵浦光的吸收系数为 10.4cm^{-1} ，因此我们选用平行于 c 轴的偏振泵浦。

8 为平面输入耦合腔镜，对 $1.064\mu\text{m}$ 高反、809nm 减反， $R_{1.064\mu\text{m}}>99.5\%$ ， $R_{809\text{nm}}<5\%$ ；13 为平面输出耦合腔镜；5、7 为凹面腔镜，5 对 $1.064\mu\text{m}$ 高反，反射率 $R_{1.064\mu\text{m}}>99.5\%$ ，7 对 $1.064\mu\text{m}$ 、 $0.53\mu\text{m}$ 高反，曲率半径都为 50mm；考虑到激光谐振腔结构的紧凑性并保证泵浦光与振荡激光很好重叠以及激光谐振腔能处于稳区，选择 $L_1=114\text{mm}$ ， $L_2=113\text{mm}$ ， $L_3=57\text{mm}$ ， $L_4=63\text{mm}$ 。在此谐振腔结构下，激光谐振腔的稳定性条件 $|A+D|=0$ ，这样可以保证激光器能够稳定运转，即使谐振腔结构稍有变化，也不致于使激光器处于非稳区。需要说明的是，以上讨论是在高斯光束近似，而且不计象散，所以选择 $|A+D|=0$ 就是考虑即使有上述影响的存在，激光器亦能稳定运转。同样可以计算出，腔镜 8 与 13 之间的激光腰斑半径 $w_0=226\mu\text{m}$ ，腰斑距 8 的距离为 30mm。平均泵浦光腰斑半径为 $240\mu\text{m}$ ，在此谐振腔结构下就可以基本保证泵浦光与振荡激光很好重叠，这样泵浦光只能激发基横模，使激光器处于基横模运转，同时最大限度提高能量转换效率。通过腰斑的位置可以确定激光晶体的插入位置。腔镜 5 与 7 之间的腰斑半径为 $29\mu\text{m}$ ，共焦长度为 5mm，正好为 KTP 晶体的长度。腰斑在两腔镜的中间，也在 KTP 晶体的中间。

在设计 Nd:YVO₄+KTP 环形腔时, 利用 Nd:YVO₄ 晶体 c 轴 (光轴) 方向的激发截面是 a 轴的 4 倍, 假设激发截面从 c 轴到 a 轴是线性变化的, 腔内 Φ3×5(mm) 的铽镱石榴石 TGG (Terbium Gallium Garnet) 晶体 10 外加 Φ15×15(mm) 永久磁铁 11, 磁场强度为 5000 高斯, 可对 1.064μm 产生 5° 的偏振旋转, 那么引入正反方向损耗差为 8.3%, 这足以维持腔内单向运转。12 为二分之一波片, 两边都镀有 1.064μm 的增透膜。最大可得单频绿光输出为 200mW, 长期稳定输出为 150mW。

本发明的实施例二 Nd:YAP+KTP (二类非临界相位匹配) 单频激光器如图 2 所示。泵浦光整形系统同实施例一。增益介质 9 Nd:YAP 晶体为双轴晶体, 我们所使用 Nd:YAP 棒为沿 b 轴方向拉制的, 对于 b 轴取向的 Nd:YAP 晶体棒而言, 输出光为偏振方向平行于 c 轴的 1.08 μm 的激光。腔形结构同实施例一。但倍频晶体 6 采用二类非临界相位匹配的 KTP 晶体, 通过一控温精度可达 0.01° 的加热炉 14 把晶体加热到 63° 达到温度匹配。因晶体是温度匹配具有较小的走离效应, 实例中采用 3×3×10mm 的 KTP 晶体, 两边都镀有 1.08μm 的增透膜。该实例得到稳定的 0.54μm 单频绿光输出为 80mW。

本发明的实施例三 Nd:YAG+KTP (二类临界相位匹配) 单频激光器如图 3 所示。泵浦光整形系统同实施例一。5、7 为凹面腔镜, 5 对 1.064μm 高反, 反射率 $R_{1.064\mu m} > 99.5\%$, 7 对 1.064μm、0.53μm 高反, 反射率 $R_{1.064\mu m} > 99.5\%$, 曲率半径分别 40mm、50mm; 通过调节四个腔镜, 使谐振腔的非平面角约为 1.5°; 增益介质 9 为 Nd:YAG 晶体, 尺寸为 φ3×10mm, 前表面镀 1.064μm/809nm 双减反膜, 剩余反射率 $R_{1.064\mu m} < 0.2\%$, $R_{809nm} < 5\%$, 后表面镀 1.064μm 减反膜, 剩余反射率 $R_{1.064\mu m} < 0.2\%$, 晶体置于平面腔镜 8 与 13 之间的腰斑处。腔形选择 $l_1=120\text{mm}$, $l_2=100\text{mm}$, $l_3=49\text{mm}$, $l_4=80\text{mm}$ 。在此谐振腔结构下, 激光谐振腔的稳定性条件 $|A+D|=0$ 。腔镜 8 与 13 之间的激光腰斑半径 $w_0=205\mu\text{m}$, 腰斑距 8 的距离 32mm。腔镜 5 与 7 之间的腰斑半径为 26μm, 腰斑距 5 的距离为 22mm。

在谐振腔中插入光学质量较高的熔融石英薄片 15, 并按布儒斯特角方位放置, 利用光束垂直偏振分量存在一定的反射率使此方向损耗增大, 在谐振腔内垂直偏振不能形成激光, 水平偏振分量的反射率为零, 确保此方向谐振放大。使由谐振腔输出的激光是纯度很高的线偏振光, 布儒斯特角度为 55°。将磁场直接加在 Nd:YAG 激光晶体上, 利用 Nd:YAG 晶体的法拉第效应, 使正反向传播的激光产生彼此同向的偏振面旋转来构成法拉第旋转器。激光波长为 1.06 μm 时, Nd:YAG 晶体的维尔德常数为 $V=105^\circ\text{T}^{-1}\text{m}^{-1}$ 。当 Nd:YAG 晶体长度 $l=10\text{mm}$, 加在 Nd:YAG 晶体上的磁场强度 $B=5000$ 高斯时, 激光经过 Nd:YAG 晶体后偏振

面旋转的角度为 $\psi = \text{VIB} = 0.6^\circ$ 。旋转方向与所加磁场方向有关，设计中要注意 Nd:YAG 棒插入磁铁中的方向。通过调节非平面角 Ω ，使激光器单向运转，并调节 Brewster 窗片及 Nd:YAG 晶体的方位使激光器达最佳状态。该实例得到稳定的 $0.53\mu\text{m}$ 单频绿光输出为 80mW。

说明书附图

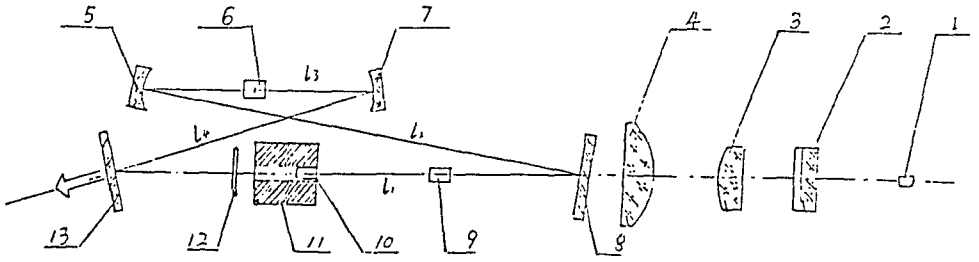


图 1

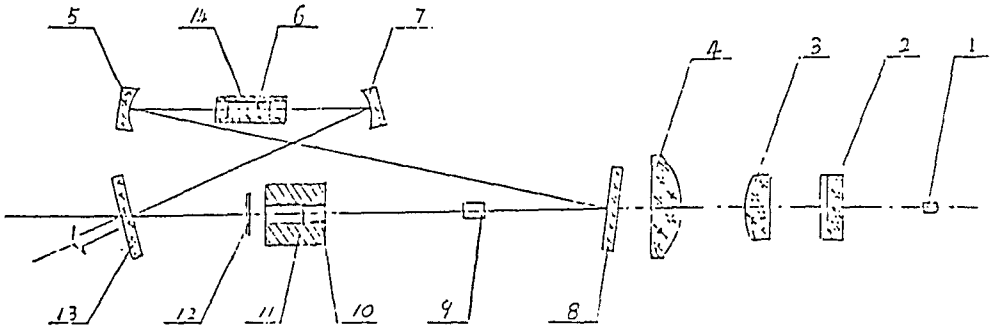


图 2

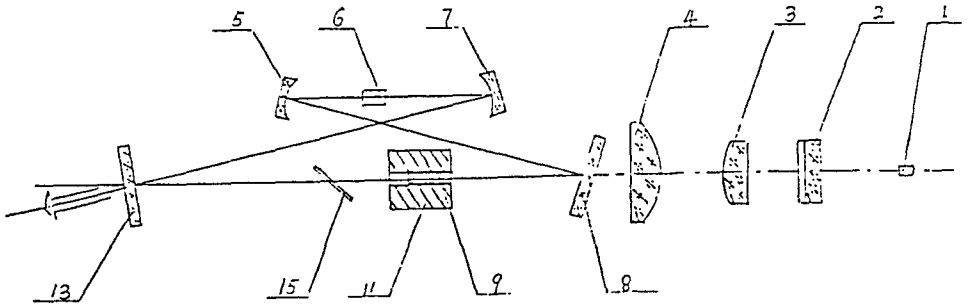


图 3