

1. 人眼安全拉曼激光器，其特征在于由全反镜、泵浦源、激光工作物质组成的固体激光发生装置，电光开关和拉曼频移晶体，用硅酸稼镧 ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) 晶体作为  $1.3\mu\text{m}$  的电光开关，对固体激光进行电光调Q，用于产生脉冲  $1.3\mu\text{m}$  的激光，再通过拉曼频移晶体进行拉曼频移，产生人眼安全  $1.5\mu\text{m}$  激光输出。

2. 如权利要求1所述的人眼安全拉曼激光器，其特征在于所述  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  晶体电光开关的晶体通光面为方形，厚度  $3\text{-}20\text{mm}$ ，通光方向长度  $5\text{-}100\text{mm}$ ；晶体的两个X面镀金电极，以便沿X方向加电场；晶体的两个c面抛光，并对两个c面镀  $1300\text{nm}$  的增透膜。

3. 如权利要求1所述的人眼安全拉曼激光器，其特征在于所述的固体激光发生装置中，用闪光灯或激光二极管侧面或端面泵浦下列激光晶体或透明激光陶瓷： $\text{Nd:YAG}$ ， $\text{Nd:YAP}$ ， $\text{Nd:GdVO}_4$ ， $\text{Nd:Y}_x\text{Gd}_{1-x}\text{VO}_4$  晶体或  $\text{Nd:YAG}$  透明陶瓷，输出固体激光。

4. 如权利要求1所述的人眼安全拉曼激光器，其特征在于所述的拉曼频移晶体可以镀膜，是具有白钨矿结构的拉曼频移晶体  $\text{BaWO}_4$  或  $\text{SrWO}_4$ ，或者具有锆英石结构的拉曼频移晶体  $\text{YVO}_4$ 、 $\text{GdVO}_4$  或  $\text{LuVO}_4$ 。

## 技术领域

本发明涉及一种新型波段的电光开关及拉曼晶体的应用，具体涉及硅酸稼镧电光晶体和具有白钨矿和锆英石结构的拉曼晶体，属于晶体生长与晶体器件技术领域。

## 背景技术

人眼安全激光具有广泛应用。其中 1.5 $\mu\text{m}$  激光是最有代表性的。目前有三大技术途径实现 1.5 $\mu\text{m}$  波长激光：一是直接输出 1.5 $\mu\text{m}$  波长的固体激光器，较成熟的有钕玻璃激光器，直接输出 1.54 $\mu\text{m}$  激光。器件结构紧凑，可靠性好，但受基质玻璃材料热特性的限制，工作重复频率难以大幅度提高，且目前国内基质玻璃材料的质量无法满足实用要求，仍需进口，成本高。二是 Nd:YAG 泵浦的参量振荡(OPO)激光器，采用 KTP 晶体 II 类非临界相位匹配，输出波长 1.57 $\mu\text{m}$ 。OPO 器件的特点是可高重频运转，但束散较大，且光束质量较差，环境温度适应性差，设计时需要特别选择合适的工作参数，以保证输出的稳定与可靠性。三是拉曼频移 Nd:YAG 激光器。过去拉曼介质主要是用气体，大部分采用高压甲烷( $\text{CH}_4$ )对 Nd:YAG 激光进行频移，得到 1.54 $\mu\text{m}$  输出。这类激光器体积较大，工作频率低，容易发生化学击穿，产生的碳化物可能沉积到拉曼盒窗口，高压密封技术要求高，保障困难，且难以进一步提高输出能量。

1.5 $\mu\text{m}$  人眼安全固体拉曼激光器是第三种途径中的新兴技术，自上世纪 90 年代中期逐步发展起来。它是利用拉曼晶体将波长 1.32 $\mu\text{m}$  Nd:YAG 激光转换到 1.5 $\mu\text{m}$  人眼安全波长，同时弥补了气体、液体拉曼激光器的一些缺陷，具有全固化、阈值低、转换效率高、高重频、体积小、重量轻、可靠性高等优点，但是目前 1.3 微米使用的电光开关，存在一定的缺陷，如抗光损伤阈值低，限制了人眼安全激光的功率输出。因此研究实现 1.5 $\mu\text{m}$  人眼安全激光相关的电光调 Q 激光器件设计，获得高效人眼安全激光输出，是本领域技术人员正在努力研究的课题。

## 发明内容

本发明针对现有技术的不足，提供一种基于硅酸稼镧晶体1.3 $\mu\text{m}$ 电光开关的人眼安全拉曼激光器。

## 概述

本发明的人眼安全拉曼激光器，通过闪光灯或激光二极管泵浦Nd:YAG晶体或Nd:YAG透明陶瓷，Nd:YAP晶体，Nd:GVO<sub>4</sub>或Nd:YxGd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>晶体，产生1.3微米的激光，使用La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体的电光效应，使激光形成脉冲激光，再通过白钨矿结构晶体或锆英石结构晶体的拉曼频移效应，产生高效人眼安全的1.5 $\mu\text{m}$ 波长激光。

## 详述

本发明的技术方案如下：

本发明的人眼安全拉曼激光器，包括由全反镜、泵浦源、激光工作物质组成的固体激光发生装置，电光开关和拉曼频移晶体。用硅酸稼镧(La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>)晶体作为1.3 $\mu\text{m}$ 的电光开关，对固体激光进行电光调Q，产生1.3 $\mu\text{m}$ 的脉冲脉冲激光，再通过拉曼频移晶体进行拉曼频移，产生人眼安全1.5 $\mu\text{m}$ 激光输出。

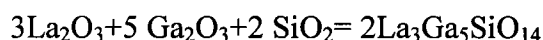
所述的固体激光发生装置中，是用闪光灯或激光二极管侧面或端面泵浦下列晶体激光器件或透明陶瓷：Nd:YAG, Nd:YAP, Nd:GdVO<sub>4</sub>, Nd:YVO<sub>4</sub>, Nd:Y<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>晶体或Nd:YAG透明陶瓷，输出1.3μm固体激光。

上述Nd:YAG, Nd:YAP, Nd:GdVO<sub>4</sub>, Nd:YVO<sub>4</sub>, Nd:Y<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>晶体或Nd:YAG透明陶瓷两个端面可以直接镀适当的介质膜，并选用合适的激光腔镜，

上述La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体电光开关，所述晶体通光面为方形，厚度3-20mm，通光方向长度5-100mm；晶体的两个X面镀金电极，以便沿X方向加电场；晶体的两个c面抛光，并对两个c面镀1300nm的增透膜。

上述的拉曼频移晶体可以镀膜，也可以不镀膜。具体选自具有白钨矿结构的拉曼频移晶体BaWO<sub>4</sub>或SrWO<sub>4</sub>、锆英石结构的拉曼频移晶体YVO<sub>4</sub>、GdVO<sub>4</sub>或LuVO<sub>4</sub>，该拉曼频移晶体通光面为圆形或方形，通光方向厚度可以根据需要设计，一般为1-100mm。

本发明涉及的硅酸稼镧晶体，分子式：La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>，是电光晶体。采用提拉法生长，在加热提拉式单晶炉内进行晶体生长，采用La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>为原料，反应式如下：



按照化学计量比或Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>过量1~2wt.%称量原料并混合均匀，放置到白金坩埚中，在1000~1100°C的温度下烧结8~12小时，然后把烧结的原料研磨，压块，再放置到白金坩埚中，再在1000~1100°C的温度下烧结8~12小时，得到多晶料。将多晶料置于铱金坩埚中，装炉；采用中频加热的方式，下籽晶进行晶体生长(籽晶方向为c方向)；晶体生长完毕降温至室温，出炉；出炉的晶体在1000°C~1100°C的温度下退火。

把生长的所得晶体放置到电阻炉中退火，退火温度为1000~1100°C，退火时间为8~10小时，以释放生长La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体过程中产生的热应力。

最后对生长的晶体进行加工处理、抛光，用以制备晶体器件。

本发明涉及的拉曼晶体材料也优选采用提拉法生长。

本发明的优良效果如下：

1、用提拉法生长，可以在较短时间内获得大尺寸、高质量的电光晶体材料。

2、本发明的电光晶体硅酸稼镧，具有抗光损伤阈值高，激光输出效率高的特点，与相关的拉曼器件相结合产生人眼安全激光器件。在激光技术领域广泛地应用。

3、本发明采用容易制备的白钨矿晶体作为拉曼频移晶体与1.3微米的激光相结合，产生人眼安全的激光器件。白钨矿晶体具有拉曼增益系数大、受激发射截面大、激光输出的量子效率高的特点，因此容易能获得高效率激光输出。

4、本发明采用锆英石结构晶体作为拉曼频移晶体与1.3微米的激光相结合，产生人眼安全的激光器件。锆英石晶体具有拉曼增益系数大、受激发射截面大、激光输出的量子效率高的特点，因此容易能获得高效率激光输出。

5、本方法发明本方法制作的激光器具有简单、紧凑、阈值低、输出功率高、稳定性好、转换效率高、光束质量好、操作简单、成本低，以及便于工业化的大批量制造等特点。

附图说明

图1是本发明人眼安全拉曼激光器的示意图，其中，1. 全反镜，2. 泵浦源，3. 激光工作物质，4. La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>电光开关，5. 1.3μm激光输出镜，6. 拉曼频移晶体，7. 人眼安全激光输出镜。

## 具体实施方式

下面结合实施例对本发明做进一步说明，其中实施例1-6为电光晶体和拉曼晶体的制备，实施例7-20是产生人眼安全激光。这些实施例仅用于说明本发明，并不限于此。

实施例1：La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>电光晶体的制备。

La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>为原料，根据化学方程式： $3\text{La}_2\text{O}_3+5\text{Ga}_2\text{O}_3+2\text{SiO}_2=2\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 按照化学计量比或Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>过量1~2wt.%称量原料，并混合均匀配制的原料放置到白金坩埚中，在1100°C的温度下烧结10小时，然后把烧结的原料再次研磨，然后压块，再次放置到白金坩埚中，在1100°C烧结10小时，就可以得到La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>的多晶料。把配置好的La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>的多晶料放置到铱金坩埚内，单晶炉抽真空、充保护气氮气，升温；采用中频加热的方式，使用c方向的La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>籽晶，晶体生长的提拉速度为0.5~2毫米/小时，转速10~30转/分钟，得到La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体。

把生长的La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体放置到电阻炉中退火，退火温度为1000°C，退火时间为8小时，这样可以部分释放生长La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体过程中产生的热应力。

然后根据需要对生长的晶体进行加工、抛光，并在两个X面上镀金膜，对晶体的两个c面抛光，并对两个c面镀1300nm的增透膜。

实施例2：BaWO<sub>4</sub>晶体的制备。

使用BaCO<sub>3</sub>, WO<sub>3</sub>为初始原料根据化学方程式： $\text{BaCO}_3+\text{WO}_3=\text{BaWO}_4+\text{CO}_2$ ，按化学计量比配制生长BaWO<sub>4</sub>晶体的多晶料(其中WO<sub>3</sub>过量1wt.)，配制的原料放置到白金坩埚中，在1100°C的温度下烧结10小时，然后把烧结的原料再次研磨，然后压块，再次放置到白金坩埚中，在1100°C烧结10小时，就可以得到BaWO<sub>4</sub>的多晶料。把配置好的BaWO<sub>4</sub>的多晶料放置到铱金坩埚内，单晶炉抽真空、充保护气氮气，升温；采用中频加热的方式，使用a方向的BaWO<sub>4</sub>籽晶，晶体生长的提拉速度为0.5~2毫米/小时，转速10~30转/分钟，得到BaWO<sub>4</sub>晶体。

把生长的BaWO<sub>4</sub>晶体放置到电阻炉中退火，退火温度为1000°C，退火时间为8小时，这样可以部分释放生长BaWO<sub>4</sub>晶体过程中产生的热应力。

然后根据需要对生长的晶体进行加工、抛光。

实施例3：SrWO<sub>4</sub>晶体的制备。

使用SrCO<sub>3</sub>, WO<sub>3</sub>为初始原料根据化学方程式： $\text{SrCO}_3+\text{WO}_3=\text{SrWO}_4+\text{CO}_2$ ，按化学计量比配置生长SrWO<sub>4</sub>晶体的多晶料(其中WO<sub>3</sub>过量1wt.)，配置的原料放置到白金坩埚中，在1100°C的温度下烧结10小时，然后把烧结的原料再次研磨，然后压块，再次放置到白金坩埚中，在1100°C烧结10小时，就可以得到SrWO<sub>4</sub>的多晶料。把配置好的SrWO<sub>4</sub>的多晶料放置到铱金坩埚内，单晶炉抽真空、充保护气氮气，升温；采用中频加热的方式，使用c方向的SrWO<sub>4</sub>籽晶，晶体生长的提拉速度为0.5~2毫米/小时，转速10~30转/分钟。得到SrWO<sub>4</sub>晶体。

SrWO<sub>4</sub>晶体退火和加工程序同BaWO<sub>4</sub>晶体。

实施例4：YVO<sub>4</sub>晶体的制备。

使用Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为初始原料根据化学方程式： $\text{Y}_2\text{O}_3+\text{V}_2\text{O}_5=\text{YVO}_4$ ，按化学计量比配置生长YVO<sub>4</sub>晶体的多晶料(其中V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>过量1wt.)，配置的原料放置到白金坩埚中，在1100°C的温度下烧结10小时，然后把烧结的原料再次研磨，然后压块，再次放置到白金坩埚中，在

1100°C烧结10小时，就可以得到YVO<sub>4</sub>的多晶料。把配置好的YVO<sub>4</sub>的多晶料放置到铌金坩埚内，单晶炉抽真空、充保护气氮气，升温；采用中频加热的方式，使用a方向的YVO<sub>4</sub>籽晶，晶体生长的提拉速度为0.5~2毫米/小时，转速10~30转/分钟。得到YVO<sub>4</sub>晶体。

把生长的YVO<sub>4</sub>晶体放置到电阻炉中退火，退火温度为1000°C，退火时间为8小时，这样可以部分释放生长YVO<sub>4</sub>晶体过程中产生的热应力。

然后根据需要对生长的晶体进行加工、抛光。

实施例5: GdVO<sub>4</sub>晶体的制备。

使用Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为初始原料根据化学方程式： $Gd_2O_3+V_2O_5= GdVO_4$ ，按化学计量比配置生长GdVO<sub>4</sub>晶体的多晶料(其中V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>过量1wt.%)，配置的原料放置到白金坩埚中，在1100°C的温度下烧结10小时，然后把烧结的原料再次研磨，然后压块，再次放置到白金坩埚中，在1100°C烧结10小时，就可以得到GdVO<sub>4</sub>的多晶料。把配置好的GdVO<sub>4</sub>的多晶料放置到铌金坩埚内，单晶炉抽真空、充保护气氮气，升温；采用中频加热的方式，使用a方向的YVO<sub>4</sub>籽晶，晶体生长的提拉速度为0.5~2毫米/小时，转速10~30转/分钟。得到GdVO<sub>4</sub>晶体。

GdVO<sub>4</sub>晶体退火和加工程序同YVO<sub>4</sub>晶体。

实施例6: LuVO<sub>4</sub>晶体的制备。

使用Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为初始原料根据化学方程式： $Lu_2O_3+V_2O_5= GdVO_4$ ，按化学计量比配置生长LuVO<sub>4</sub>晶体的多晶料(其中V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>过量1wt.%)，配置的原料放置到白金坩埚中，在1100°C的温度下烧结10小时，然后把烧结的原料再次研磨，然后压块，再次放置到白金坩埚中，在1100°C烧结10小时，就可以得到LuVO<sub>4</sub>的多晶料。把配置好的LuVO<sub>4</sub>的多晶料放置到铌金坩埚内，单晶炉抽真空、充保护气氮气，升温；采用中频加热的方式，使用a方向的YVO<sub>4</sub>籽晶，晶体生长的提拉速度为0.5~2毫米/小时，转速10~30转/分钟。得到LuVO<sub>4</sub>晶体。

LuVO<sub>4</sub>晶体退火和加工程序同YVO<sub>4</sub>晶体。

用提拉法生长实施例2-6的晶体，对晶体进行加工、抛光后，晶体可以镀1300-1600nm的增透膜，也可以不镀膜。

以下实施例7-20是关于人眼安全拉曼激光器的实施例，通过La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体的电光调制1.3μm的脉冲激光，再通过BaWO<sub>4</sub>晶体的拉曼频移产生人眼安全激光。

实施例7: 在泵浦源2和Nd:YAG晶体3前设一全反镜1, 泵浦源2为闪光灯, 用闪光灯泵浦Nd:YAG晶体激光工作物质3实现1319纳米的激光输出, 该1319纳米的激光通过La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>电光开关4进行电光调Q, 通过1.3μm激光输出镜5, 再通过BaWO<sub>4</sub>拉曼频移晶体6, 实现1.5μm人眼安全的激光输出, 通过输出镜7输出。

实施例8: 如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器, 所不同的是用闪光灯泵浦Nd:YAG透明激光陶瓷实现1319纳米的激光输出。

实施例9: 如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器, 所不同的是用发射波长为808纳米的激光二极管侧面泵浦Nd:YAG晶体实现1319纳米的激光输出。

实施例10: 如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器, 所不同的是用发射波长为808纳米的激光二极管侧面泵浦Nd:YAG透明陶瓷实现1319纳米的激光输出。

实施例11: 如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器, 所不同的是用发射波长为808纳米

的激光二极管端面泵浦Nd:YAG晶体实现1319纳米的激光输出,全反镜1为对1319纳米的激光全反射和对808纳米的激光增透。

实施例12:如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器,所不同的是用发射波长为808纳米的激光二极管端面泵浦Nd:YAG透明陶瓷实现1319纳米的激光输出,全反镜1为对1319纳米的激光全反射和对808纳米的激光增透。

实施例13:如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器,所不同的是用发射波长为808纳米的激光二极管侧面泵浦Nd:GdVO<sub>4</sub>晶体实现1342纳米的激光输出。

实施例14:如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器,所不同的是用发射波长为808纳米的激光二极管端面泵浦Nd:GdVO<sub>4</sub>晶体,实现1342纳米的激光输出,全反镜1为对1342纳米的激光全反射和对808纳米的激光增透。

实施例15:如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器,所不同的是用发射波长为808纳米的激光二极管侧面泵浦Nd:YVO<sub>4</sub>晶体实现1342纳米的激光输出。

实施例16:如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器,所不同的是用发射波长为808纳米的激光二极管端面泵浦Nd:YVO<sub>4</sub>晶体,实现1342纳米的激光输出,全反镜1为对1342纳米的激光全反射和对808纳米的激光增透。

实施例17:如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器,所不同的是用发射波长为808纳米的激光二极管侧面泵浦Nd:Y<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>晶体(0<x<1)实现1342纳米的激光输出。

实施例18:如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器,所不同的是用发射波长为808纳米的激光二极管端面泵浦Nd:Y<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>VO<sub>4</sub>晶体(0<x<1)实现1342纳米的激光输出,全反镜1为对1342纳米的激光全反射和对808纳米的激光增透。

实施例19:如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器,所不同的是用发射波长为808纳米的激光二极管端面泵浦Nd:YAP晶体实现1340纳米的激光输出,全反镜1为对1340纳米的激光全反射和对808纳米的激光增透。

实施例20:如实施例7所述的人眼安全拉曼激光器,所不同的是用闪光灯泵浦Nd:YAP晶体实现1340纳米的激光输出。

使用La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体的电光调制1.3μm的脉冲激光,对于拉曼频移晶体SrWO<sub>4</sub>产生人眼安全激光可以重复实施例7-20。

使用La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体的电光调制1.3μm的脉冲激光,对于拉曼频移晶体YVO<sub>4</sub>产生人眼安全激光可以重复实施例7-20。

使用La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体的电光调制1.3μm的脉冲激光,对于拉曼频移晶体GdVO<sub>4</sub>产生人眼安全激光可以重复实施例7-20。

使用La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>晶体的电光调制1.3μm的脉冲激光,对于拉曼频移晶体LuVO<sub>4</sub>产生人眼安全激光可以重复实施例7-20。

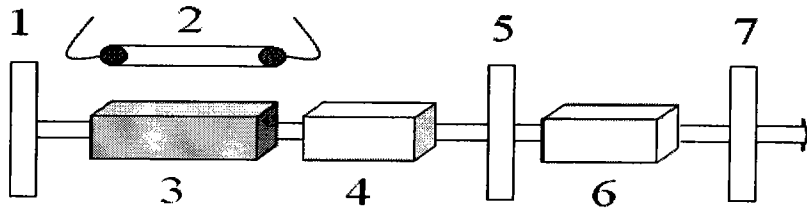


图1