

光电子技术 (4)

结论：实现受激辐射放大，获得稳定的激光输出的充分、必要条件为：

- (1) 必要条件：至少为三能级体系，能够实现粒子数反转。
- (2) 充分条件：光学正反馈和大于阈值的泵浦功率。

激光器的总损耗包括：

- (1) 镜子的透射。输出耦合。
- (2) 镜子的吸收和散射。
- (3) 激光介质中那些不需要的跃迁所产生的吸收、发射。
- (4) 激光介质中各向异性所产生的散射。

通常把除镜子耦合输出损耗外的所有损失用一个有效损耗系数 γ 表示， γ 使有效增益系数 k 下降为 $k-\gamma$ 。激光在谐振腔内往返一周

光电子技术 (4)

所获得的增益为：

$$G = R_1 R_2 e^{2(k-\gamma)L}$$

式中 R_1 ， R_2 分别为谐振腔镜的反射率， L 为增益介质的长度。

$G=1$ 为维持稳定振荡的最小增益，由此可导出增益系数阈值：

$$k_{th} = \gamma - \frac{1}{2L} \ln(R_1 R_2)$$

式中第一项为补偿总的非输出损耗所需的增益，第二项为输出损耗。

谐振腔作用：除了提供光学正反馈外，还具有选频、选择激光的方向的作用。所以激光具有单色性好，方向性好的特点。

三、激光器的模

光电子技术 (4)

1、横模

横模指光束横截面上的能量分布，通常用横电磁模表示为 TEM_{mn} 。对非旋转对称结构系统， m 和 n 分别表示 x 和 y 方向的节点数。如图所示横模分别为： TEM_{00} ， TEM_{21} ， TEM_{32} 。 TEM_{00} 为基横模，是通常所需要的横模。



对旋转对称结构系统中的横模， m 和 n 分别表示极坐标中 r 和 ϕ 的节点数。如图所示的旋转对称横模。



光电子技术 (4)

2、纵模

纵模指激光器振荡的一个频率或该频率电磁波在谐振腔内形成的驻波的能量分布模式。它是由于谐振腔的选频作用引起的。要满足光学正反馈条件，对于给定腔长 L （光程）的激光器，所允许的波长必须满足：

$$2L = m\lambda_m = m \frac{c}{\nu_m}$$

式中 m 为整数， λ_m 为允许的波长。

$$\text{允许纵模的频率间隔为： } \Delta\nu = \nu_m - \nu_{m-1} = \frac{c}{2L}$$

只有落在增益带宽内的纵模 ν_m 才能维持振荡。如果维持振荡的纵模数大于1，则称激光器为多纵模运转。反之，为单纵模运转。



光电子技术 (4)

四、选模

1、选横模

出现高阶横模通常是因为激光器的增益太高，所以可以通过降低增益或增加损耗实现单横模运转。常用在激光器中设置小孔，增加高阶横模的损耗，而使高阶横模得到抑制。实现选横模。

2、选纵模

多纵模是由于激光增益带宽太宽引起的，所以可通过降低增益带宽，限制振荡的纵模数，抑制不需要的纵模。以降低输出功率为代价。

另外，使用输出标准具代替通常的耦合输出镜，标准具起作窄带滤光片的作用，可以只让某一单一纵模运转，而抑制其它纵模。



光电子技术 (4)

§ 2.1、红宝石激光器

它是世界上第一台激光器，1960年由梅曼发明。

一、工作原理

工作物质： $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.05\% \text{Cr}^{3+}$ (重量比)

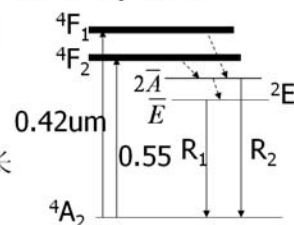
性质：弱双折射，负单轴晶体， $n_e = 1.761$ ， $n_o = 1.769$

能级结构： Cr^{3+} 的三能级系统，如图

$E_3 = {}^4F_1$ ， 4F_2 ， $E_2 = {}^2E$ ， $E_1 = {}^4A_2$ ，

E_2 为亚稳能级，寿命约3毫秒

输出波长： R_1 优先线起振，输出波长6943埃





光电子技术 (4)

激光偏振：若激光不是沿光轴方向，则输出为线偏振，垂直光轴，O光。

二、红宝石激光器的泵浦系统和结构

光泵浦，由于吸收峰在蓝、绿区，用脉冲氙灯泵浦，光谱匹配较好。

低重复率使用时不需要冷却，自然散热。较高重复率使用时，灯和激光棒都需要水冷。

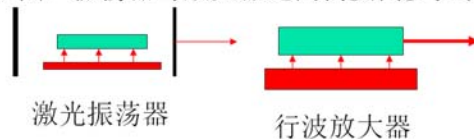
为了提高泵浦效率，通常需要椭圆聚光腔，灯和激光棒分别位于椭圆腔的焦线上。若需大功率，多灯泵浦，可用双椭圆腔。



光电子技术 (4)

三、红宝石激光放大器

红宝石激光放大器用于放大由振荡器产生的激光脉冲，以获得更大的脉冲能量、功率的基横模。红宝石激光放大器通常采用行波放大结构，即光单次通过放大器，放大器中没有谐振腔。如图。振荡器与放大器之间需要同步控制。



四、电路

自己阅读、了解，不做要求



光子电子技术 (4)

§ 2. 2、掺钕钇铝石榴石激光器 (Nd:YAG)

一、工作原理

工作物质: $\text{Nd:YAG} = \text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} + 1.0\text{--}1.2\% \text{Nd}_2\text{O}_3$ (原子百分比)

性质: 各向同性

能级结构: Nd^{3+} 的四能级,

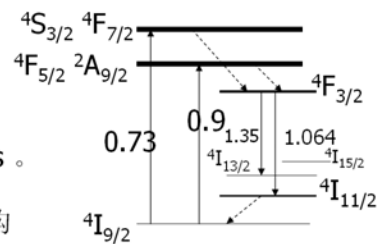
如图, $E_1 = {}^4\text{I}_{9/2}$, $E_2 = {}^4\text{I}_{11/2}$,

$E_3 = {}^4\text{F}_{3/2}$, $E_4 = {}^4\text{S}_{3/2} {}^4\text{F}_{7/2}$,

${}^4\text{F}_{5/2} {}^2\text{A}_{9/2}$

其中 ${}^4\text{F}_{3/2}$ 为亚稳能级, 寿命约 0.3ms。

${}^4\text{I}_{9/2}$, ${}^4\text{I}_{11/2}$, ${}^4\text{I}_{13/2}$, ${}^4\text{I}_{15/2}$ 都有精细结构



光子电子技术 (4)

输出波长: 1.064 μm , 1.35 μm (通讯), 前者辐射强度是后者的4倍

特点: 受激发射截面大, 约为 $9 \times 10^{-19} \text{cm}^2$, 约为红宝石的75倍

阈值低, 约为 0.3J cm^{-3} , 仅为红宝石的1/1000

结论: Nd:YAG 为四能级系统, 阈值比红宝石激光器低得多。所以激光效率比红宝石激光器高得多。



光电子技术 (4)

二、Nd:YAG激光器的泵浦

吸收光谱在近红外波段，通常用**氦**灯泵浦，并用椭圆聚光腔提高泵浦效率。

如今，使用**808nm**半导体激光泵浦，小型化，全固体化。

三、Nd:YAG激光器的高重复率运转

由于Nd:YAG的阈值低，冲放电快，所以可以高重复率调Q运转，高重复率充放电电路需要特殊设计，详细内容阅读P55，并使用预燃电路，使氦灯处于点燃装态，免去高压触发。可以延长灯的寿命。调Q技术以后集中讲述。



光电子技术 (4)

四、Nd:YAG激光器的多纵模运转

Nd:YAG的增益线宽较宽，通常是多纵模运转，所以可以应用锁模技术，在Nd:YAG激光器上获得皮秒量级的窄脉冲。锁模技术也在后面集中讲述。

五、改进

Nd:YVO。YVO是钒酸钇，比YAG传热性更好。

光电子技术 (4)

§ 2.3 掺钕玻璃激光器

一、工作原理

工作物质: 各向同性玻璃+Nd₂O₃
1-5%重量比

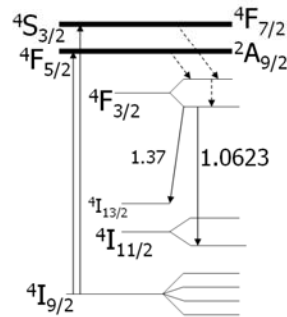
激活介质: Nd³⁺

能级结构: Nd³⁺的四能级, $E_1=^4I_{9/2}$,
 $E_2=^4I_{11/2}$, $E_3=^4F_{3/2}$.

输出波长: 最强辐射1.0627微米

泵浦: 氙灯

与YAG比较: (1) 能级结构基本相同



光电子技术 (4)

(2) 玻璃比YAG晶体传热性差.

(3) 钕玻璃的荧光寿命更长, 锁模能得到更短脉冲, 但阈值较高, 不宜高重复率运转.

(4) 荧光寿命较长, 一般0.6-0.9毫秒, 而YAG约为0.3毫秒

(5) 钕玻璃容易做成大尺寸.

(6) 钕玻璃激光器常用于短脉冲激光放大, 如飞秒脉冲放大.

§ 2.4 氦-氖激光器

世界上第一台连续工作气体激光器, 输出波长有1.15, 3.39和0.6328微米.

一、工作原理

光电子技术 (4)

工作物质: 氦气 (~1 托) + 氖气 (0.1 托) 混合气体

激活介质: 氖原子

能级结构: 四能级系统, 如图:

$E_1=2p^6, E_2=1s, E_3=2p, 3p$

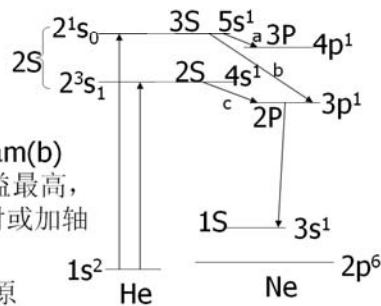
$E_4=2s, 3s$, 这些激发态能

级都有丰富的精细结构。

发射波长: $3.39\mu\text{m}$ (a), $0.6328\mu\text{m}$ (b)

$1.15\mu\text{m}$ (c). 其中 $3.39\mu\text{m}$ 的增益最高, 通常用玻璃窗抑制 $3.39\mu\text{m}$ 发射或加轴向非均匀磁场。

泵浦: 气体辉光放电激励, 氦原子共振能量转移。



复习要点

- 1、产生激光的充要条件?
- 2、激光的纵、横模? 如何选择纵、横模?
- 3、红宝石激光器的能级结构、泵浦方式, 工作特性, 偏振特性, 输出波长?
- 4、YAG激光器的能级结构、泵浦方式, 工作特性, 偏振特性, 输出波长?
- 5、钕玻璃激光器的能级结构、泵浦方式, 工作特性, 偏振特性, 输出波长?
- 6、氦-氖激光器的能级结构, 泵浦方式工作特性, 偏振特性, 输出波长?



作业四

- 1、激光的纵、横模指什么？如何选择单纵、横模？
- 2、比较YAG和红宝石激光器的各自的优、缺点？