



北京大学物理学院 李健

## 半导体激光器谱线测量

吴熙楠

北京大学物理学院 学号：1900011413\*

(日期：2023 年 3 月 5 日)

本实验中得知了一种半导体激光器的波长并测量了线宽, 从而更深入地理解了半导体激光器, 并为以后进行相似的实验提供了经验.

**关键词：**半导体激光器; F-P 标准具; 谱线宽度

---

\* [xinanwu@pku.edu.cn](mailto:xinanwu@pku.edu.cn);

## I. 引言

半导体激光器是一种很常见的激光器, 广泛用于通讯, 打印, 扫描等各个领域, 具有效率高, 便于调制, 价格低等特点. 本实验利用单色仪测量谱线, 并利用 F-P 标准具产生的等倾干涉测量谱线半宽.

## II. 理论

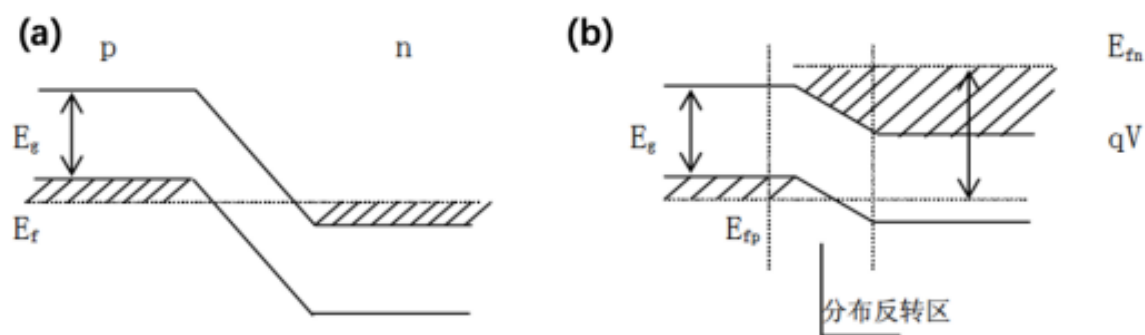


图 1: 半导体激光器能带示意图

有些激光器是通过外加光源来提供能量实现粒子数反转, 有些激光器是通过外加电源注入载流子来实现粒子数反转, 半导体激光器属于后者. 半导体中有若干光跃迁的方式, 而电子-空穴对辐射复合 (激子复合) 是其中主要的一种; 半导体激光器的发光原理就是, 在 p-n 节处产生粒子数反转, 使得大量电子和空穴复合, 从而实现了以半导体为增益介质的激光器. p-n 节的能带如上示意图所示: 在未加外电场的时候, p 区和 n 区费米能相等, 两区在接触的地方能带产生弯曲; p 区空穴更多, 因而费米面在价带以下; n 区电子较多, 因而费米面在导带以上. 而在 n 区被加了负电压, p 区被加了正电压的时候 (如上图右侧图所示; 即向 n 区注入电子, 向 p 区注入空穴), 导带电子数大大增多, 使得粒子数反转, 从而产生大量激子, 形成增益介质.

激光器组成成分中还有谐振腔; 由于半导体的折射率比空气高很多, 而且晶体的解理面很平整, 故半导体材料的解理面可以直接被用来构成激光器的谐振腔中的反射镜.

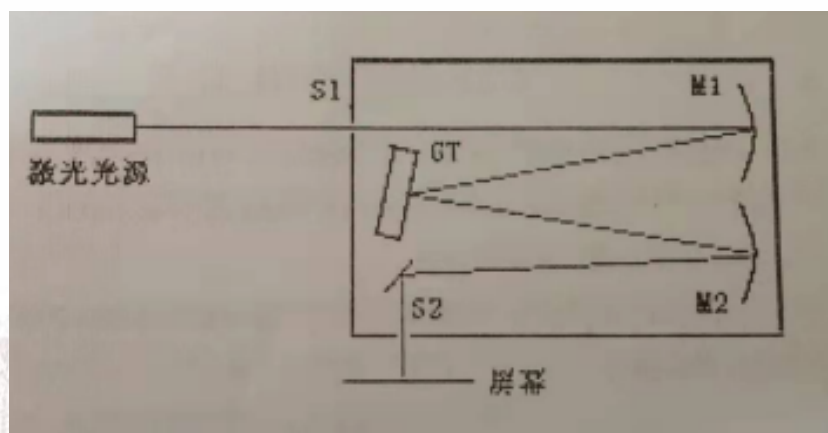


图 2: 单色仪的结构及光路

实验中先通过单色仪 (图 2) 测量半导体激光器的激光中心波长, 不过本次实验省略了这一步; 本实验中采用的半导体激光器波长为 550nm.

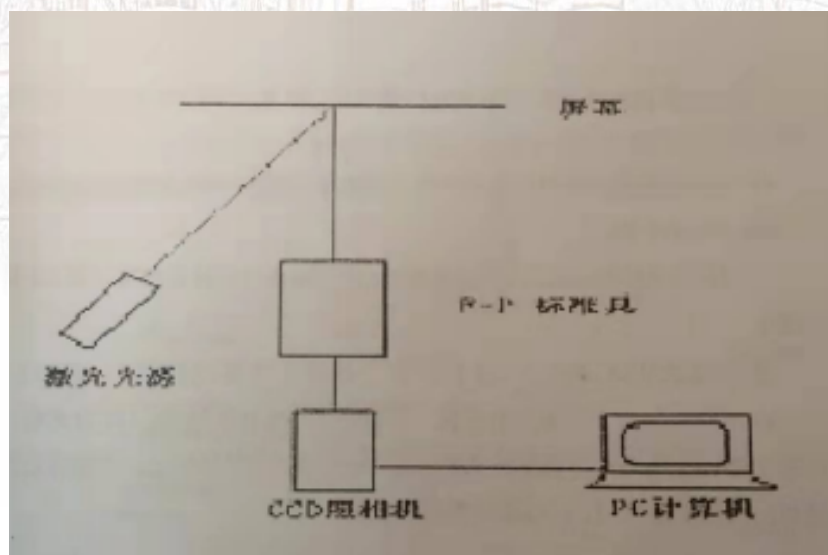


图 3: 测量谱线宽度光路图

第二步是测量半导体激光器谱线的宽度, 实验装置示意图如图 3 所示. 激光打到光屏上形成漫反射, 漫反射的光通过毛玻璃后进入 F-P 标准具形成等倾干涉, 毛玻璃的作用也是为了产生向各个方向传播的光; 在调节 F-P 标准具两个反射面平行之后, 利用得到的等倾干涉图样可以得到激光谱线宽度. 实验中并未使用 CCD, 而是直接利用手机拍摄的等倾干涉图样计算谱线宽度. 具体来说: 标准具产生干涉极大的条件为  $2l\cos\theta = k\lambda$ , 光线经过焦距为  $f$  的透镜后成像在焦平面上, 利用小角近似及  $\theta = D/2f$ ,  $D$  为环的直径; 所以  $2l(1 - \frac{1}{8}(\frac{D}{f})^2) = k\lambda$ ; 同一干涉环的内径和外径分别为  $D_1$  和  $D_2$ ,  $k = 2l/\lambda$ , 则谱线宽度  $\Delta\lambda = \frac{\lambda}{8f^2}(D_2^2 - D_1^2)$ . 而由于记录工具(手机摄像头)的焦距未知, 因而为了计算谱线宽度, 焦距要用其他量来代替. 实际上可以利用前后两个干涉环的数据来计算; 设两相邻的干涉环外径分别为  $D_a, D_b$ , 则  $2l(1 - \frac{1}{8}(\frac{D_a}{f})^2) = (k+1)\lambda$ ,  $2l(1 - \frac{1}{8}(\frac{D_b}{f})^2) = k\lambda$ , 两式相减得  $\frac{2l}{8f^2}(D_b^2 - D_a^2) = \lambda$ , 结合前面谱线宽度的表达式可得:  $\Delta\lambda = \frac{\lambda^2 D_2^2 - D_1^2}{2l D_b^2 - D_a^2}$

实验中由于半导体激光器强度过小使得看不到等倾干涉条纹, 因而换用 He-Ne 激光器(波长为 632.8nm) 来进行实验.

### III. 实验装置

### IV. 结果与分析

### V. 结论

本实验中了解了利用 F-P 标准具测量激光谱线宽度的方法, 由于半导体激光器光强太弱没有测到相应结果; 测量了 He-Ne 激光器的谱线宽度, 为  $(0.034 \pm 0.008)nm$ ; 并分析了误差来源. 本实验为以后进行相似的实验提供了经验.



## VI. 思考题

1. 能否正是在实验中测量的半导体激光器的线宽是真实线宽而不是 F-P 标准具的仪器线宽? 如何得到 F-P 标准具的线宽?

答: 需要测量 F-P 标准具的仪器线宽来确定测量得到的线宽是不是半导体激光器的真实线宽. 得到 F-P 标准具线宽的方法: 白光照明, 用滤光片使得大约只有 630-640nm 的光通过 (范围不能太宽, 不然干涉调纹相互干扰; 不过用宽谱光照明然后将得到的干涉图样用 RGB 分解应该也可以, 只是误差预计会比较大; He-Ne 激光器波长为 632.8nm), 利用同样的方法通过测量干涉环内外径得到相应谱线宽度; 如果 F-P 仪器线宽比测得的半导体激光器线宽小, 则测量到的线宽就是半导体激光器的真实线宽, 反之则与真实线宽之间有误差.

2. 要测量谱线宽度为 0.01 埃的谱线, 本实验装置要做哪些改变?

答: F-P 标准具的能分辨的最小波长差可能大于 0.01 埃, 因而需要将其换成分辨率更高的光谱仪, 或提升其性能.

3. 温度变化对谱线宽度有什么影响? 设想一个观察温度效应的实验方案.

答: 半导体激光器中有声子的热效应, 使得产生辐射的电子空穴对的能量有一定涨落, 因而温度低的时候谱线宽度会更窄. 同时声子的效应可能也会产生一些其他的谱线.

实验方案: 将半导体激光器放在密闭盒子里 (盒子里面盛有液氮), 利用液氮对其降温, 测量不同温度时的激光波长和谱线宽度.

4. 根据光谱线宽度的定义分析实验测量结果的误差. 提出一种精确测量谱线宽度的方案.

答:

1. 如果 F-P 标准具两个平面没有调平行, 则不同位置的光产生干涉极大的条件不同, 会使得总体的干涉情况不如完全平行时理想, 会使得 F-P 标准具分辨本领下降. 实验中假设这一部分没有误差. 2. 前面推导中所用小角近似也会产生误差. 3. 对干涉条纹内

.....

外径判断有偏差会产生误差.

因为 F-P 仪的色分辨能力与反射率  $R$  正相关, 所以采用  $R$  更大的材料或者采用级次更高的腔 (即增大腔长) 能使得分辨率更高. 或者换用光栅分光, 接透镜成像, 扫描像面不同位置光强得到相应的光谱.

## VII. 致谢

感谢我的合作伙伴杨轩同学, 他的工作是不可或缺的; 感谢耐心的胡小永指导老师对我们的巨大帮助。

---

[1] 北京大学物理学院光学所, 激光实验, 第二版, 北京: 北京大学物理学院, 2023.