

## 实验 D2 外腔式半导体激光器 (ECDL) 的相关实验

实验方案	实验记录	分析讨论	总成绩
年级、专业:	17 级物理学	组号:	3
姓名:	徐昊霆	学号:	17353071
日期:	2020 年 3 月 1 日	教师签名:	

### 1. 实验报告由三部分组成:

- 1) 预习报告: (提前一周) 认真研读**实验讲义**, 弄清实验原理; 实验所需的仪器设备、用具及其使用 (强烈建议到实验室预习), 完成讲义中的预习思考题; 了解实验需要测量的物理量, 并根据要求提前准备实验记录表格 (由学生自己在实验前设计好, 可以打印)。预习成绩低于 50% 者不能做实验(**实验 D2 和 D3 需要提前一周的周四完成预习报告交任课老师批改, 批改通过后, 才允许做实验**)。
- 2) 实验记录: 认真、客观记录实验条件、实验过程中的现象以及数据。实验记录请用珠笔或者钢笔书写并签名 (**用铅笔记录的被认为无效**)。**保持原始记录, 包括写错删除部分, 如因误记需要修改记录, 必须按规范修改。** (不得输入电脑打印, 但可扫描手记后打印扫描件); 离开前请实验教师检查记录并签名。
- 3) 分析讨论: 处理实验原始数据 (学习仪器使用类型的实验除外), 对数据的可靠性和合理性进行分析; 按规范呈现数据和结果 (图、表), 包括数据、图表按顺序编号及其引用; 分析物理现象 (含回答实验思考题, 写出问题思考过程, 必要时按规范引用数据); 最后得出结论。

**实验报告**就是预习报告、实验记录、和数据处理与分析合起来, 加上本页封面。

### 2. 每次完成实验后的一周内交**实验报告**。

### 3. 除实验记录外, 实验报告其他部分建议双面打印。

目录

<b>1</b>	<b>实验原理与方案</b>	<b>3</b>
1.1	实验目的	3
1.2	仪器用具	3
1.3	实验安全注意事项	3
1.4	实验原理	3
1.4.1	谐振腔	4
1.4.2	ECDL	4
1.4.3	如何调节	4
<b>2</b>	<b>实验步骤与记录</b>	<b>5</b>
2.1	ECDL 激光器输出频率的单模实现	5
2.2	实验中遇到的问题记录	7
<b>3</b>	<b>分析与讨论</b>	<b>8</b>

# 1 实验原理与方案

## 1.1 实验目的

- 1. 熟悉法布里-珀罗干涉仪的工作原理、结构、特点、调节和使用方法。
- 2. 掌握应用法布里-珀罗干涉仪测量 ECDL 的频率输出模式。
- 3. 熟悉光栅波长计的工作原理, 应用波长计测量 ECDL 的频率输出模式。
- 4. 熟悉锂原子的多普勒吸收, 并运用锂原子的吸收谱线校准波长计。
- 5. 掌握在锂原子吸收谱线附近实现最大的无跳模范围的调节。

## 1.2 仪器用具

表 1: 实验用具

表 D2- 1 实验用具			
编号	仪器用具名称	数量	主要参数（型号，规格等）
1	Thorlabs SA200-5B 法布里-珀罗干涉仪	1	535-820 nm; 自由频谱区 1.5 GHz; Fineness>200
2	可调小孔光阑	2	
3	光功率计	1	量程大于等于 30 mW
4	反射镜	5	671 nm 附近反射率大于 99%
5	双通道示波器	1	带宽大于 100 MHz
6	波长计	1	分辨率 0.1 pm
7	锂原子蒸汽池系统	1	包含 Li-6 和 Li-7 双组分原子 (50%, 50%混合)，光电探测器等
8	单模光纤耦合套件	1	

## 1.3 实验安全注意事项

- 1. 警告: 使用的激光器输出功率达到了 class 3 级, 能够对人眼带来永久的损伤, 严禁任何激光直射入眼睛!! 试验过程中需要佩戴保护眼镜。
- 2. 警告: 在激光器开启后, 严禁眼睛与激光平台同一个高度, 防止激光射入眼睛! 严禁坐着, 务必避免与激光在同一高度!
- 3. 警告: 实验过程中严禁带任何手表、首饰等, 防止激光反射进入眼睛。
- 4. 注意事项: 不能用手触摸反射镜。调节镜座两个螺丝时必须配合一起调, 不可只调一个螺丝, 不可将某一个螺丝拧的过紧, 也不可将螺丝拧的过松。在摆置光路之前, 建议把螺丝的行程调节在中间, 方便实验过程中调节。实验中需尽量避免用手直接触镜片的光学面。若不小心触摸了光学表面, 需尽快用镜头纸或擦镜布擦拭干净。
- 5. 实验结束后将实验器件按照顺序放回原件盒。

## 1.4 实验原理

外腔式半导体激光器 (ECDL) 就是为了获得频宽很窄的激光。如何获得频宽很窄的激光呢? 一共分三步: 第一步, 产生激光; 第二步, 用光学谐振腔和光栅进行选频; 第三步算算中间过程的增益, 让想要的频率光强强一点。

### 1.4.1 谐振腔

谐振腔的原理和我们光学学过的法布里-珀罗干涉仪的原理相同，在实验中，我们也要用到法布里-珀罗干涉仪来探测激光器发出的是否是单模激光。在光轴的方向向 FP 干涉仪入射一束光，经过很多次反射，可以推导出出射的光强为

$$I = \frac{I_0}{1 + F \sin^2(\delta/2)} \quad (1)$$

其中  $F = 4R/(1 - R)^2$  被叫做精细度，其中  $R$  是反射率。当频率和两个反射镜之间的距离合适，光程差  $\delta$  将是  $2\pi$  的整数倍，从而出射光达到最大。

两个极大值对应的频率差定义为 FP 谐振腔的**自由光谱范围**，自由光谱范围由公式  $\nu_{\text{FSR}} = c/4L$  给出 (这里的系数 4 是因为法布里珀罗干涉仪的两块反射镜不是平的)。如果进行仔细地对准，使得入射光沿着 FP 腔的光轴入射，并对入射光进行空间模式匹配，那么就可以接近完美地消除其他高阶模式的光，从而出射光强和 modes 的曲线变成一条条竖线。

### 1.4.2 ECDL

半导体激光器先产生激光，先经过内腔选择模式和出射方向 (腔长 1mm 左右, Internal mode)，再入射到光栅上衍射进行选模 (Grating)，再入射到外腔进行选模 (腔长远大于内腔，所以筛选频率间距远小于内腔, External Mode)。在多个频率限制的激光器中，最后输出的光强还要乘上增益。总增益 = 激光二极管增益 × 二极管内腔选频 × 光栅增益 × 外腔选频。最后的效果达到让想要的频率的光强远远大于其他频率的光强。选频的示意图如图 1 所示。

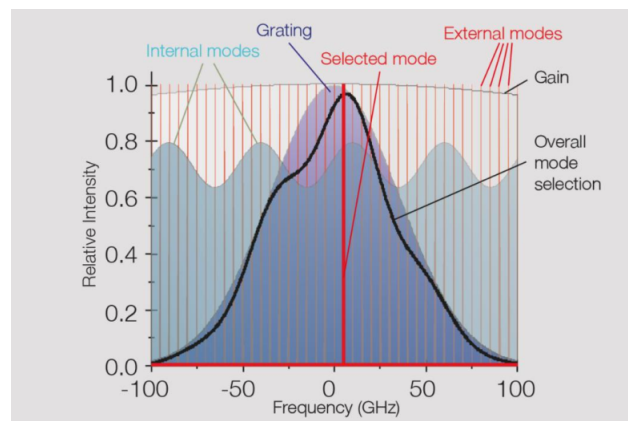


图 1: 选频示意图

### 1.4.3 如何调节

1. 光栅选频 (Grating Profile) 由光栅方程决定，通过调节光栅的角度可实现 grating profile 频率的移动。这个角度又可以通过 PTZ<sup>1</sup> 的电压来调节。
2. 激光器出射的强度 (Medium Gain) 由激光二极管的增益介质决定，它的中心位置可通过**温度**来调节，它的强度可以通过**电流**来调节。
3. Internal mode 的改变是通过腔长的改变实现的，而腔长的改变则通过电流带来的热胀冷缩效应。
4. External mode 的改变也是通过光栅的角度、二极管的温度变化实现

因此我们最后要实现单模运行或者最大无跳模范围，就需要调节激光二极管的电流、温度和光栅的角度。

<sup>1</sup>something we don't understand

## 2 实验步骤与记录

专业:	Physics	年级:	17
姓名:	徐昊霆	学号:	17353071
室温:		实验地点	教学楼
学生签名:	徐昊霆	评分:	
日期:	2020 年 3 月 1 日	教师签名:	

第一次实验内容概括:

1. 打开激光器。
2. 分别用 FP 干涉仪和波长计探测激光器输出的单模。
3. 分别改变温度、PTZ 的 DC 电压、激光器电流, 探究对于激光器输出单模的影响。

### 2.1 ECDL 激光器输出频率的单模实现

1. 按照激光器使用说明书, 先打开激光器电源, 使激光器工作在适合的温度  $20.0^{\circ}\text{C}$ 。
2. 设置激光器的 PZT 控制电压 (DC) 和扫描电压 (AC) 为 0V;
3. 打开激光器 steady 按钮, 将光功率计置于激光器的前方, 从 0mA 缓慢增加激光器的输入电流至激光输出功率为 3 mW 附近 (电流一般为 20 mA 左右)。注意: 电流范围 0-55mA, 严禁超过电流使用激光器!
4. 采用 FP 腔探测激光器输出的单模 耦合激光进入 FP 腔, 调节耦合系统, 实现最佳的耦合。  
(来自说明书的对准步骤) 将输入光圈关闭到最小, 然后将光束对准光圈的中心, 最方便的方法是通过两个折叠镜将光束对准到输入光圈上。保持后光圈完全打开, 然后开始扫描。确保完整扫描在示波器上可见, 并显示来自检测器的信号; 对于 ignition alignment, 调整示波器的灵敏度最大。  
使用反光镜安装座的倾斜/倾斜调节, 直到光束穿过 SA200 的主体居中, 即直到您开始在示波器上看到模式。将反光镜安装座调整至将光束保持在设备的中央。光束居后, 可以使用通过监视示波器上传输模式的形状和大小来控制两个输入镜。的干涉仪将准备好进行测量。
5. 在 FP 腔的输出信号上得到典型的单模输出波形, 记录实验结果。在没有实现最佳的耦合时会出现比  $\text{TEM}_{q00}$  和  $\text{TEM}_{q+1\ 00}$  更高阶的模式。实验中需要记录最佳耦合的结果。并表明哪些是  $\text{TEM}_{q00}$  和  $\text{TEM}_{q+1\ 00}$  模式。
6. 采用波长计探测激光器输出的单模。耦合激光进入波长计的单模光纤, 调节耦合系统, 实现最佳的耦合。备注:1. 这个步骤需要结合预习的内容, 制定相关的实验步骤。2. 在耦合进入光纤的时候最好保留 FP 腔的耦合不变, 因为后面的实验中 FP 腔和波长计都必须同时用到。
7. 在波长计的输出信号上得到典型的单模输出波形, 记录实验结果。
8. 实现激光器的单模输出后, 研究激光器电流、PZT 的 DC 驱动电压对单模输出的影响, 记录数据。然后对数据进行简单的分析。备注:1. 推荐激光器的电流变化的步进值 0.5 mA, 改变范围 10 mA 以内。2. PZT 的 DC 电压的步进值 1 V, 改变范围 15 V 以内。3. 注意改变 PZT 的 DC 电压时, 激光器的电流改变, 记录相关数值。分析为什么。
9. 在做第 8 步的时候需要同时记录波长计的读数, 然后分析激光器的输出波长随激光器电流、PZT 的 DC 驱动电压的变化规律。
10. 改变激光器的温度, 记录波长计的读数变化。温度的改变步进值  $0.1^{\circ}\text{C}$ , 范围  $1^{\circ}\text{C}$ 。温度的最小值  $19^{\circ}\text{C}$ , 最大值  $24^{\circ}\text{C}$ , 激光器的温度不能超过这个数值! 最后分析激光器温度对波长的影响。

11. 结合上面激光器电流、PZT 的 DC 电压以及温度对激光器输出频率模式、波长的影响, 分析应该如何实现激光输出频率的单模变化, 以及如何在指定波长附近实现激光频率单模的调节。(这部分在分析与讨论中)。

表 2: 探究电流对于激光器单模输出的影响 (请在旁边标注电压和温度)

测量次数	电流/mA	波长计读数/nm	测量次数	电流/mA	波长计读数/nm
1			11		
2			12		
3			13		
4			14		
5			15		
6			16		
7			17		
8			18		
9			19		
10			20		

表 3: 探究温度对于激光器单模输出的影响 (请在旁边标注电压和电流)

测量次数	温度/°C	波长计读数/nm
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

表 4: 探究 PTZ 的 DC 电压对于激光器单模输出的影响 (请在旁边标注温度和电流)

测量次数	电压/V	波长计读数/nm
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

2.2 实验中遇到的问题记录

3 分析与讨论

专业:	Physics	年级:	17
姓名:	徐昊霆	学号:	17353071
日期	2020 年 3 月 1 日		
评分		教师签名	