



北京大学物理学院 李健

声光调制锁模激光器

吴熙楠

北京大学物理学院 学号: 1900011413*

(日期: 2023 年 3 月 5 日)

本实验中尝试利用熔石英制作的声光调制器对 He-Ne 激光器输出的多个纵模进行锁模; 这对于理解声光调制的原理以及对声光锁模技术进行应用具有较大意义.

关键词: 声光调制, 锁模, 拉曼-奈斯衍射

* xinanwu@pku.edu.cn;

I. 引言

锁模技术能够使脉冲激光强度增加并使得脉宽减小. 在上世纪 80 年代后期人们便已经利用锁模技术获得了飞秒量级超短超强脉冲. 这对于非线性光学, 时间分辨光谱学以及等离子体物理等等学科的发展起了很大的促进作用. 本实验便利用声光调制的方法对 He-Ne 激光器的纵模进行锁模, 从而加深对于锁模技术和声光调制技术的理解, 掌握相关光路的调节方式, 并观察各个因素对于输出脉冲的影响.

II. 理论

A. 锁模激光器原理

本实验采用的是 He-Ne 激光器, 其相邻纵模圆频率差为 $\Delta\omega = \frac{\pi c}{L}$; 若激光器介质的增益线宽为 $\Delta\omega_G$, 则激光腔内同时有 $N = \frac{\Delta\omega_G}{\Delta\omega}$ 个纵模. 而在自由振荡的激光器中 N 个纵模的初相位之间没有固定的关系, 因而在对时间求平均的过程中激光器总强度正比于各纵模强度之和. 而若让所有纵模初相位之间建立起固定的联系, 即让它们相干叠加, 则光脉冲的峰值光强会变为自由振荡峰值光强的 N 倍. 并且锁住的纵模个数越多, 锁模脉宽就越窄.

激光锁模的方法分为被动锁模和主动锁模. 被动锁模具体来说是在激光腔内放入工作状态不能人为控制的饱和吸收原件; 主动锁模则是在激光腔内放入可以人为调控一些参数的调制元件. 本实验中采用主动锁模技术, 具体来说是让激光纵模强度在腔内受到周期性的调制损耗. 设损耗的函数形式为 $\delta = \delta_0 \cos(\Delta\omega t)$, 则受调制损耗的第 q 个纵模振动表示为: $E_q(t) = E_{0q} \cos(\omega_q t + \phi_q) + 0.5 E_{0q} ((\omega_q + \Delta\omega)t + \phi_q) + 0.5 E_{0q} ((\omega_q - \Delta\omega)t + \phi_q)$

因而当 $\Delta\omega$ 正好等于纵模间隔的时候该频率正好与相邻的两个频率的纵模耦合, 因而迫使所有纵模都以相同的相位振动, 从而实现同步振荡, 达到了锁模的目的.

B. 声光调制器原理

1. 声光衍射效应

介质中有超声波传播的时候, 介质会产生应变, 使得折射率发生周期性的变化. 因而光束通过这个介质之后就会发生衍射. 本实验中采用的声光介质是熔石英, 是各向同性的介质. 根据入射角的不同和声光作用区长度的不同, 声光衍射可以分为拉曼-奈斯衍射和布拉格衍射两种. 而根据声波的传播形式也分为声波是行波和驻波两种类型. 本实验中观察到的衍射现象是拉曼-奈斯衍射现象, 因为能看到多级的衍射光.

2. 驻波型声光器件衍射光强的调制度

驻波型声光衍射器件各级衍射的光强是被调制的, 随时间演化光强会出现极大和极小, 定义光强的调制度为 $M = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max}}$. 在接收器的响应时间比调制光波的周期大很多的时候, 测量的结果反映的是光强的平均值 $\bar{I} = 0.5(I_{max} + I_{min})$. 对于零级衍射光强, $I_{max} = J_0^2(0)$, $I_{min} = J_0^2(\psi)$, 则可以据此计算出 M ; $\psi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \mu l$ 为声制相移, $\mu = \frac{1}{2} n^3 p S_0$ 为折射率变化的振幅. 又声功率 $P_a = \frac{1}{2} \rho V^3 S_0^2 h l$, 可以计算出 ψ , 从而可以得知声光调制度与声功率的关系. 实验中通过测量 0 级衍射的平均衍射效率可以得知调制度的大小, 从而推算出相应的声功率以及电功率转化为声功率的效率.

III. 实验装置

IV. 结果与分析

V. 结论

本实验中尝试使用熔石英制作的声光调制器对 He-Ne 激光的多个纵模进行锁模, 计算了所用激光腔的实际腔长. 虽然在调节光路上没有成功调节出锁模激光, 但本实验加深了对于声光调制锁模技术的理解, 并使实验者掌握了调节相关光路的方法, 从而为以后利用声光锁模技术进行实验提供了基础.

VI. 思考题

1. 锁模用的声光调制器能用行波方式工作吗? 为什么?

答: 不行, 因为行波模式产生拉曼-奈斯衍射的每一级都只存在一个频率, 因而无法形成锁模; 而驻波模式中衍射的每一级都含有多个频率成分, 因而可以锁模.

2. 为什么要把声光调制器安放在尽量靠近谐振腔反射镜的一端?

答: 这样便于调节. 在有 M3 的时候可以直接利用 M1 和 M3 腔中形成的激光对声光调制器以及 M2 的方位进行调节.

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.

