

飞秒激光系统

实验室所用的激光系统是由 Femtopower ®公司生产的 Rainbow®系列激光系统，实物如图 1 所示。

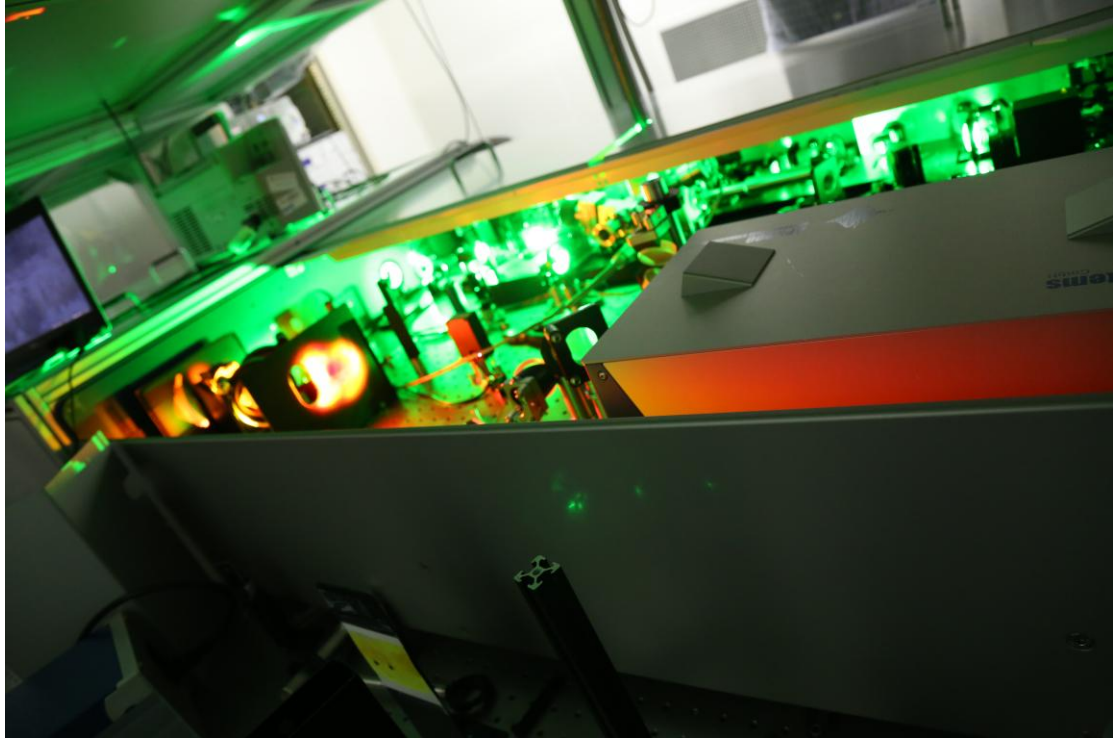


图 1 实验室用飞秒激光系统实物图

该系统主要由振荡级、放大级和水冷机等辅助设备组成，输出的脉冲各项参数如表 1 所示。

表 1 激光系统工作参数

工作中心波长：	795nm
脉冲宽度：	25fs
单脉冲能量：	0.8mJ
重复频率：	10kHz

振荡级中的振荡器光路如上图 2 所示。采用的是波长为 532nm 的绿色泵光

作用于钛蓝宝石使其粒子数发生反转，产生重复频率很高的激光束，然后其会在由多面反射镜组成的谐振腔内来回振荡。每经过一次钛蓝宝石，脉冲能量都会获得一次能量增益。且谐振腔的两块端镜中，一块为高反镜(反射率高于 99.99%)，另一块为输出耦合镜(Output Coupler)，也就是一块部分透射镜，它会将大约 5% 的能量透射出去，剩余的绝大多数能量都留在谐振腔内参与振荡。在图 2 中，P 镜代表 532nm 波长的高反镜，M 为银镜。从振荡器出来的光将被送入 CEP 4 单元进行 CEP 的锁定。

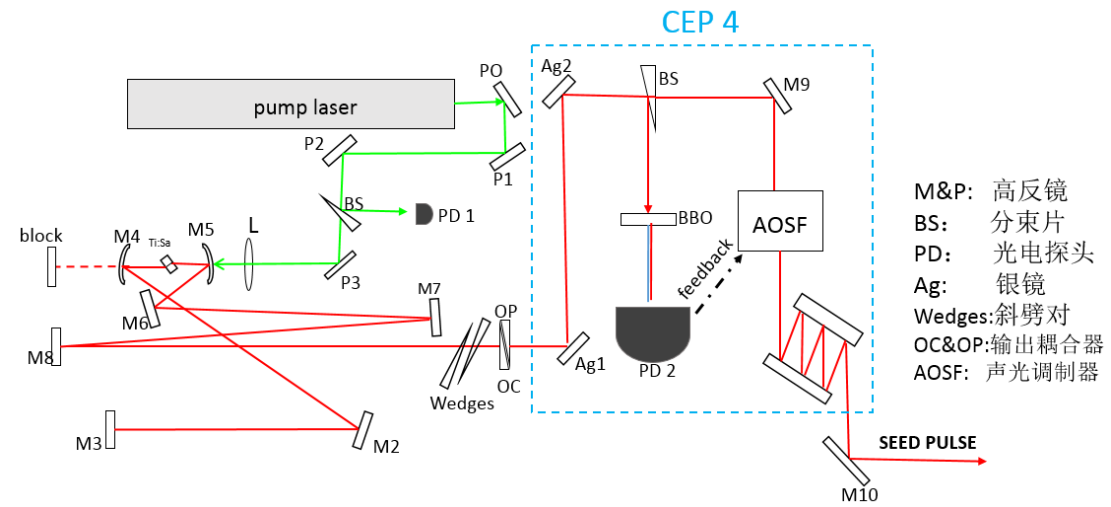


图 2 飞秒激光系统振荡级

对于光学实验而言，电磁波的相位并不是一个便于直接测量的物理量，因为绝大多数情况下我们测量的都是强度值。对于超短激光脉冲，可以将包络的中心定义为零点，此时电场振荡峰值与包络中心的相位差则被称为载波包络相位 (Carrier-Envelope Phase, CEP)。如图 3 所示。对于超短脉冲包络，其仅包含了少数个甚至单个振荡周期，这时，CEP 将极大地影响脉冲强度，且脉冲越短，CEP 的影响就越大。锁定 CEP 的光路如 2 中的 CEP 4 单元所示。

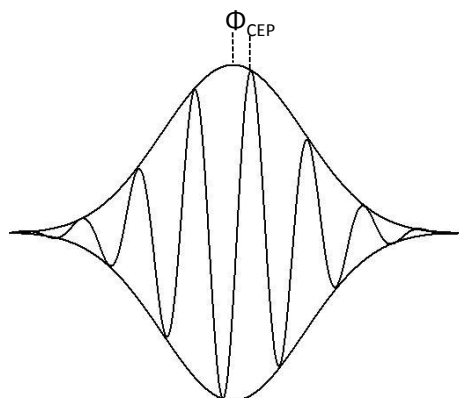


图 3 载波包络相位 (CEP) 定义

从振荡器出来的光被送入 CEP4 进行锁定，其基本原理是：激光在入射后经过分束片分为两束，一束经过 BBO 晶体倍频后与剩余的长波发生干涉产生拍频信号，然后光电二极管传感器上被转化为电信号，从而提取到脉冲的 CEP，最后再将其反馈至由分束得到的另一束光，通过声光移相器稳定其输出的 CEP。这样，从振荡级输出的脉冲就是 CEP 稳定，重复频率为 75MHz 的脉冲序列，也被称为种子光。

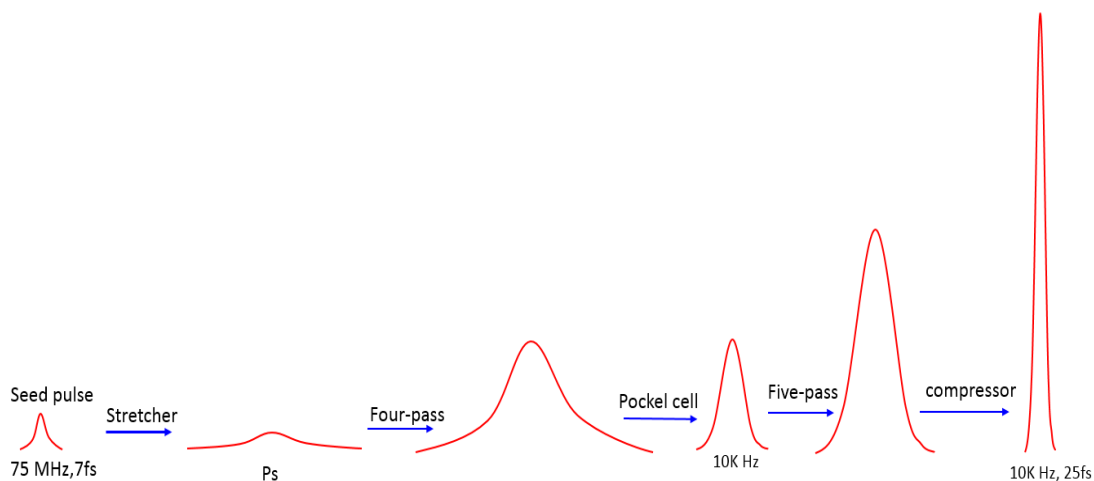


图 4 单脉冲在放大级中的变化

振荡级得到的种子光强度较低，还不能满足强场物理的实验的要求，故还需将种子光送入放大级进行放大。在放大级中泵光依然采用绿光，增益介质仍旧是钛蓝宝石，采用啁啾脉冲放大的方法对脉冲进行放大。啁啾放大技术 (Chirped Pulse Amplification, CPA) 是在 1985 年由罗彻斯特大学的 Mourou 等人首次提出。

CPA 的基本原理是通过光学色散元件（如光栅和棱镜）将种子光脉冲在时域进行展宽，以此将脉冲的峰值功率降低至远小于增益介质损伤阈值的量级，随后将脉冲引入放大器经过多通放大后，最后通过反向设置的光栅对或棱镜对使脉冲宽度压缩，即可得到 25fs 左右的脉冲。在放大级中，单脉冲的变化如图 4 所示。在图 4 中，种子光进入系统后先被展宽器展宽为纳秒(ns)量级的脉冲。在此过程中，单脉冲能量可以视为不变，故经过展宽器后将极大地降低脉冲的峰值功率，防止其突破晶体的损伤阈值。之后脉冲将被送入多通放大光路，来回四次穿过增益介质，获得能量增益，这一过程称为四通放大。之后，脉冲将从四通放大系统中出射，经泡克尔盒(pockel cell)选频后再用脉冲整形器将脉冲变为严格的高斯波包。泡克尔盒本质上是一个光电开关，可以精确地选出脉冲峰值附近的震荡周期。其原理是通过改变内置晶体两端附加的电压实现对晶体偏振方向的改变，从而实现脉冲选频。经过泡克尔盒后，脉冲的重复频率由 75MHz 降为 10KHz 量级，之后再使其经过五通放大，继续增加其单脉冲能量。最后，使脉冲经过光栅对进行压缩，即可得到脉冲宽度为 25fs、单脉冲能量为 0.8mJ 的飞秒脉冲。