

松山湖材料实验室 先进阿秒激光团队 关于采购 飞秒钛宝石放大激光载波相位锁定系统 的需求论证和市场调研报告

1. 需求论证

1.1 购买该仪器或服务的原因

为满足先进超快激光技术、超快物性测量和超快科学研究，建设以超快时间分辨的物质科学研究为突出特点的超快科学与技术研究高地，打造一流水平的学科方向，实验室提出研制 CEP 锁定的高重频少周期钛宝石飞秒激光器，为阿秒科学基础设施提供驱动光源。其关键技术是对色散的精确补偿和对 CEP 的长时间锁定，需要用到尖端的可编程声光色散滤波器和 CEP 测量仪，并且可编程声光色散滤波器可以接受 CEP 测量仪的反馈，组成飞秒钛宝石放大激光载波相位锁定系统，声光可编程色散滤波器和 CEP 测量仪设备是高重频少周期钛宝石飞秒激光器研制过程中的必备仪器设备。目前国内高校、研究所和其它企事业单位并没有找到提供满足精度和质量要求的相关科研服务，考虑到上述需求和实际情况，需要进口购买一套飞秒钛宝石放大激光载波相位锁定系统。

1.2 主要技术指标和质量要求

对飞秒钛宝石放大激光载波相位锁定系统的具体技术要求有：

(1) 可编程声光色散滤波器

- 波长范围：680-920 nm
- 光谱分辨率：0.3 nm@ 800 nm
- 强度动态范围：> 45 dB
- 最大可编程延时：8 ps @ 800 nm
- 衍射效率：~25% @ 100 nm 带宽
- 典型的声波场刷新时间：< 3ms
- 注入要求：最高 30 μ J @ $\phi=2.5$ mm，准直光束
- 光学模块尺寸：48×94×20 mm³
- Low-Jitter: Jitter< 100 as
- 可以调控 CEP，接受 CEP 测量仪的反馈

(2) CEP 测量仪

- CEP 测量速度: ≥ 10 kHz
- 测量精度: 6-10 mrad
- 软件实时分析 PSD、Statistics、Data-logging
- 纯硬件反馈, 软件闭环管理
- 带 $f-2f$ 干涉系统

2. 市场调研

2.1 相关行业分析

阿秒脉冲激光的出现被认为是激光科学历史上最重要的里程碑之一, 应用前景难以估量, 目前已经成为物理、化学、生物等众多领域重要的研究手段, 成功用于测量和控制内壳层束缚电子运动等过程, 将人们研究物质结构的视野从分子拓展到原子内部。阿秒脉冲激光技术的发展, 引发了 X 射线、自由电子激光、可控高温超导、超高分辨成像、电子信息处理等领域科学与技术层面研究的诸多重大突破。鉴于其巨大的潜在应用价值, 美国、欧洲、日本等将阿秒激光技术列为未来 10 年激光科学发展最重要的发展方向之一。目前阿秒脉冲激光主要是由飞秒 (10^{-15} 秒) 激光作用于惰性气体而产生的高次谐波所形成的。高次谐波产生 (high harmonic generation, HHG) 是一种极端的非线性效应, 强场激光聚焦到气体介质上的时候, 会发生非线性效应, 可以得到上百阶的高能谐波光子。作为一种相干的宽谱高能光源, 它可以用来产生阿秒脉冲 (10^{-18} s)。作为阿秒激光的驱动激光的飞秒激光需要具备以下特点: ①较高的单能量: 有利于获得稳定的阿秒脉冲能量; ②高平均功率: 有利于提高阿秒激光的通量和信噪比; ③少周期: 有利于获得高峰值功率和孤立阿秒脉冲; ④CEP 稳定: 有利于获得孤立阿秒脉冲; ⑤800nm 或者中红外波段

对于阿秒脉冲的产生, 精确控制驱动激光脉冲的 CEP 和少周期的脉宽都是至关重要的, 这是因为 CEP 决定了激光脉冲的电场, 从而决定了由高谐波产生过程产生的阿秒脉冲序列的相位。如果驱动激光脉冲的 CEP 不稳定, 则得到的阿秒脉冲序列相位会发生变化, 从而引起脉冲的破坏性干扰, 降低脉冲的整体强度。这将极大地影响阿秒脉冲序列的效率和质量。而钛宝石放大器 CEP 的锁定目前的主要技术手段是使用 $f-2f$ 干涉系统产生干涉条纹, 测量并实时主动控

制放大器的 CEP，以保持其稳定性，确保产生稳定和高质量的阿秒脉冲序列。同时，为达到少周期的脉冲宽度，需先获得傅里叶极限的脉冲宽度，再经过非线性脉冲压缩技术进一步压缩脉冲宽度，所以整个系统的色散管理也是至关重要。经过广泛的调研目前只有法国 Fastlite 的 DAZZLER 系列和 FRINGEEZZ 系列可以完全满足色散管理和 CEP 反馈测量的功能。

飞秒钛宝石放大激光载波相位锁定系统主要包括两个部分，一是声光可编程声光色散滤波器 (Acousto-Optic Programmable Dispersion Filter, AOPDF)，它是基于声波和光波的相互作用机理，可以对入射激光的相位和幅度进行调制，入射激光各个频率成分只有和其相位匹配的声波才能实现相应的衍射，因此可以通过调制声波场的相位和幅度来调制出射光场的光谱相位和幅度。当具有正啁啾的宽带脉冲经过预先设置好的声波场，长波（低频）的成分首先被衍射，经历的光程比较长，短波（高频）的成分随后被衍射，经历的光程比较短，因此声波场的作用相当于产生一个负啁啾，从而起到色散补偿的作用。从实际超快激光系统的角度出发，如果通过测量装置得到整个激光系统的剩余色散（光谱相位畸变），然后将此色散的负值反馈到 AOPDF 上可以将系统的色散调制为零，得到傅里叶转换极限的脉冲。同样的道理，也可以将输出激光的 CEP 测量出来，反馈到 AOPDF 上，可以对系统的 CEP 有一个非常明显的一个改善。

AOPDF 的主要功能包括：

- ①对飞秒脉冲的光谱相位进行调制，从而补偿飞秒脉冲的啁啾，产生更短的脉冲，或者在一些特殊情况下该整形仪还可以对脉冲进行展宽；
- ②对超短脉冲的光谱的幅度进行调制，从而抑制飞秒放大器中的增益窄化；
- ③对宽带飞秒激光器的 CEP 进行控制

对 CEP 的准确测量，需要仪器具备可高速测量和可单发测量的特点，结合 $f-2f$ 干涉系统，可以准确的测得每一发的 CEP 信息，实时地反馈到 AOPDF 上，并且可以适应大于 10KHz 的重复频率。

2.2 满足需求的供应商及其设备/服务

Fastlite 的 DAZZLER HR800 和 FRINGEEZZ NIR 的组合可以完全满足飞秒钛宝石放大激光载波相位锁定系统所要求的全部功能，DAZZLER HR800 在控制整个系统中的色散的前提下，还可以抑制光谱增益窄化效应，使输出的飞秒脉宽达

到傅里叶极限脉宽，是钛宝石飞秒激光器中非常必要的仪器，同时还可以接受 FRINGEEZZ NIR 实时测量的反馈结果，对 CEP 进一步控制。Fastlite 的产品完全是为这一应用所研发，技术指标领先、操作简单、软件具有强大的编辑功能，是成熟的商用产品，广泛应用于全球各种类型的钛宝石飞秒放大器中。

该 Fastlite 在国内由北京波量科技有限公司独家代理，北京波量为国内用户提供售前技术服务和售后安装及培训及问题解答，确保设备在用户端良好的运转，并提供一年的免费质保。仪器出现故障后，北京波量 12 小时内给予电话支持，48 小时内赶到用户现场。设备保修期过后，仍提供广泛优惠的技术支持。

3. DAZZLER HR800, FRINGEEZZ NIR, f-2f 干涉系统设备采购方案

3.1 拟选购的设备信息

制造/生产/品牌商：Fastlite

地址：法国

产品型号：DAZZLER HR800

技术指标：

- 波长范围：680–920 nm
- 光谱分辨率：0.3 nm @ 800 nm
- 强度动态范围：> 45 dB
- 最大可编程延时：8 ps @ 800 nm
- 衍射效率：>25% @ 100 nm 带宽
- 典型的声波场刷新时间：< 3ms
- 注入要求：最高 30 μ J @ $\phi=2.5$ mm，准直光束
- 光学模块尺寸：48×94×20 mm³
- 带 Low-Jitter 模块：Jitter< 100 as
- 带 Analog CEP modulation 模块

产品型号：FRINGEEZZ NIR

技术指标：

- CEP 测量速度：15 kHz

- 测量精度: 6-10 mrad
- 软件实时分析 PSD、Statistics、Data-logging
- 纯硬件反馈, 软件闭环管理
- 带 f-2f 干涉系统

3.2 拟采用的供货方案

代理商: 北京波量科技有限公司

地址: 北京市昌平区回龙观镇西大街 9 号院 2 号楼 12 层 2 单元

价格: 116,600.00 欧元

特定的采购要求: 供货时间: 6-8 个月; 预付款: 80% T/T 或者信用证, 合同签订后 10 天, 20% T/T 或者信用证验收合格后 30 天。

4. 结语

经广泛调研, 满足实验所需技术指标要求的高重频钛宝石激光 CEP 控制系统, 目前只有法国 Fastlite 公司提供的 DAZZLER HR800 和 FRINGEEZZ NIR 型号设备能满足我方要求。特此, 拟申请以单一来源形式采购法国 Fastlite 公司的 DAZZLER HR800 和 FRINGEEZZ NIR 设备, 预算为 880,000.00 元。

采购需求部门论证签字 (3 人以上, 含部门负责人):

附件: 调研供应商产品报价单

马光金 时华峰

2023 年 4 月 14 日

