

多波段紫外太瓦级 CPA 系统*

令维军^{1)2)3)†} 张少刚¹⁾ 李可¹⁾ 张明霞¹⁾ 王屹山²⁾ 赵卫²⁾ 王兆华³⁾ 魏志义³⁾

1) (天水师范学院物理系, 天水 741000)

2) (中国科学院瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 西安 710119)

3) (中国科学院物理研究所光物理重点实验室, 北京 100190)

(2011年4月6日收到; 2011年4月27日收到修改稿)

基于啁啾脉冲放大(CPA)技术和频率变换技术,构建了一个多波长紫外太瓦量级 CPA 系统.该系统实现了 5 种频率的精确同步,可同时输出 1 Hz, 5 Hz 和 10 Hz 的高能量多波段紫外脉冲.时间抖动小于 3 ns 的时间同步系统和能量不稳定性小于 0.5% rms 的 kHz 预放大系统保证了 CPA 系统输出的能量不稳定性小于 2% rms.最后,通过共线相位匹配方案,得到了 64 mJ/400 nm, 16 mJ/267 nm 和 5 mJ/205 nm 紫外脉冲输出,对应峰值功率达到太瓦量级.

关键词: 啁啾脉冲放大, 光学频率变换, 紫外脉冲

PACS: 42.65.Re, 42.65.Ky, 42.72.Bj

1. 引言

迄今为止,超短脉冲激光与物质相互作用的研究大都集中于红外光谱范围,其主要是基于啁啾脉冲放大技术(CPA)产生的高能量超短脉冲^[1].这种脉冲大都由掺钛蓝宝石和钽玻璃晶体作为增益放大介质产生的,其主要波段集中在近红外.相对于短波紫外脉冲其聚焦性能较差,同时,从放大系统输出的高能量放大脉冲光往往包含了比较高的放大自发辐射(ASE)背景和预脉冲,特别在研究强光和固态物质作用的实验中,这些预脉冲和 ASE 先于主脉冲到达靶面,并在主脉冲达到靶面之前形成低密度的等离子体,影响研究主脉冲和物质相互作用的物理实质^[2].目前,通过放大脉冲的倍频可以有效地抑制预脉冲和 ASE 的幅度,使信号光和噪声的对比度提高到 10^{10} 以上^[3].并且高能量紫外超短脉冲激光在强场物理及惯性约束核聚变快速点火等研究中具有无可比拟的优势,紫外光具有更大的临界密度、更靠近过密燃料靶丸区域,并且按照波长定标率,紫外光刚好能够产生具有快点火要求温度的热电子^[4,5].紫外超短脉冲由于具有大的单光子

能量,被用于重离子离化,同时易于感光,所以在超快诊断中常作为高分辨时间的标定和测量光源,如条纹相机的时间标定^[6].近几年随着飞秒微纳加工迅速发展,紫外飞秒脉冲光源由于大的光子能量和良好的聚焦性能,备受关注,并已形成了国际竞争.由于其极高的商业价值,高能量可调谐的紫外飞秒光源产生技术报道很少.总之,研究高能量飞秒紫外超短脉冲产生技术具有重大的学术价值和商业价值.

仅有为数不多的激光器能直接产生紫外脉冲输出.如由自由电子激光器^[7],或 ArF (193 nm), KrF (248 nm), XeCl (308 nm) 及 XeF (351 nm) 等准分子激光器^[8],但是受限于材料和技术,其波段不可调谐同时输出能量有限,大大限制了紫外光源的应用.近年来随着 CPA 技术的快速发展,掺钛蓝宝石放大系统已经变成了商业化的可靠光源.目前最有望得到大能量紫外波段超短脉冲的方法是直接将高能量近红外超短脉冲进行频率变换.2007 年利用 CPA 放大技术和频率变换技术我们获得了高能量皮秒量级的紫外脉冲^[9],但对于飞秒量级的紫外脉冲,由于极强的非线性效应和相对宽的光谱带宽,影响了其转换效率.最近几年该方面的研究主要集

* 国家自然科学基金(批准号:60878020)、瞬态光学与光子技术国家重点实验室基金(批准号:SKLST200916)、甘肃省教育厅项目(批准号:1008-08)和天水师范学院青蓝工程项目资助的课题.

† E-mail: wjlings@sina.com

中在 KHz 放大系统的频率变换上^[10,11],对应紫外波段单脉冲能量达到了几百 nJ,并且最低波段达到了 161 nm^[12].但对于低重复频率(小于等于 10 Hz)的紫外超短脉冲的研究相对较少,得到的紫外脉冲能量主要在微焦量级^[13,14],其主要原因是在低重复频率下较高的单脉冲能量导致极强非线性效应,加上放大过程中的热透镜效应和自发辐射,导致光束质量变差,频率转换效率进一步降低.同时高能量要求大口径的变频晶体和高的损伤阈值,也一定程度上限制了其应用.本项目基于超快诊断对紫外光源的需要,利用全国产化元件在国内首次构建了一个多波长紫外诊断平台,利用放大过程中创新性的光束质量优化方案和经济高效的电路同步技术,可同时输出重复频率为 1, 5, 10 Hz 的高能量飞秒紫外脉冲,对应输出中心波长为 400 nm, 267 nm 和 200 nm,紫外能量均达 mJ 量级,对应峰值功率达到了太瓦量级.目前该系统已经用于超快诊断并实现了条纹相机的标定.设计表明:利用 CPA 技术实现高能量高功率输出,然后通过频率变换技术,是实现高能量紫外脉冲输出最有效的途径.

2. 太瓦级 CPA 放大系统设计

2.1. CPA 系统整体设计

我们设计多波段紫外飞秒系统主要基于超快诊断的需要,由一个太瓦 CPA 系统和频率变换系统构成,图 1 是系统光路示意图.与传统 CPA 系统一样,该系统由振荡器、展宽器、再生预放大器、多通主放大器和压缩器组成.飞秒振荡器为整个 CPA 系统提供一个优质的种子源,种子源的时间特性,光谱特性最终影响到整个系统输出能量的稳定性及最后脉冲宽度的压缩指标,因此设计锁模稳定性好,输出脉冲“干净”的振荡器是整个 CPA 技术的前提.同时振荡器的设计还要考虑到频率变换的效率,要求光谱宽度不能太宽.但在衍射极限下,窄的光谱宽度对应较宽的脉冲宽度,导致系统压缩后输出峰值功率下降,同时会严重影响展宽倍数^[15],导致放大过程功率密度提高,受限于材料损伤阈值使主放大无法获得较高的放大能量.综合考虑以上因素后,我们自建了仅补偿二阶色散的棱镜锁模掺钛

蓝宝石飞秒振荡器,其输出谱宽仅为 36 nm,对应输出脉冲 30 fs.在振荡器的设计中,为了消除激光在弧矢面内的像散,我们将输出椭圆光拔高后再次进入原光路后导出,利用这种空间像散自补偿技术,可获得空间分布很好的 TE₀₀模输出(见图 1 振荡器部分).该振荡器输出功率约为 320 mW,单脉冲能量为 4 nJ.为了避免放大光逆向反射回振荡器影响锁模的稳定性,在振荡器和展宽器之间放置了光学隔离器,其主要是由一个不可逆的旋光器和波片组成.从振荡器输出的锁模脉冲进入无色散的 Offner 展宽器,在时域上进行展宽.种子脉冲以接近 800 nm 为中心的角度入射,入射角约为 28°.光栅距离凹面镜的间距为 720 mm,两次展宽后的脉冲时间宽度约 300 ps,能量约 3 nJ.然后将展宽后的种子脉冲导入再生预放大系统.我们采用国产 kHz 倍频 Nd:YLF 激光器作为再生预放大的抽运源(镭宝光电技术有限公司),与 10 Hz 抽运放大的结果相比,无论是示波器实时显示的放大脉冲波形、还是能量计显示的能量稳定性,均表现出明显优于 10 Hz 放大的结果.为了充分利用 10 W 的有限抽运光能量,我们设计了一个高效率再生放大腔,该放大腔为平凹腔,凹面镜的曲率半径为 1200 mm,整个腔长为 1100 mm.模拟计算表明腔内振荡光模斑随着晶体距平面镜的距离接近线性增加,图 2 显示了这种变化趋势.这样我们可以通过移动晶体,改变晶体到平面镜的距离来调整抽运光和腔模的匹配,在不破坏晶体的前提下实现最大效率.实验中晶体距离平面镜的距离约为 680 mm,在 7 W 的抽运功率下,我们获得了 1.7 mJ 的放大脉冲,对应 25% 的转换效率,据我们所知,这也是采用平凹腔再生放大获得的最高输出效率.为了保持再生放大优秀的光束质量,我们通过一个像传递放大系统,将光束直径为 2 mm 的预放大脉冲放大至 10 mm 后直接注入到一个 6 通主放大器.采用国产灯泵光电调 Q 的 Nd:YAG 激光器作为主放大抽运源(镭宝光电技术有限公司),该激光器可同时输出频率为 1, 5, 10 Hz 的 532 nm 激光脉冲,单脉冲能量达到 1 J.将 1.7 mJ 的放大光通过一个六通主放大系统进一步放大至 270 mJ,最后通过压缩器,考虑到各种系统色散后,将脉冲压缩至 33 fs,输出单脉冲能量为 200 mJ,对应 6 TW 激光输出.

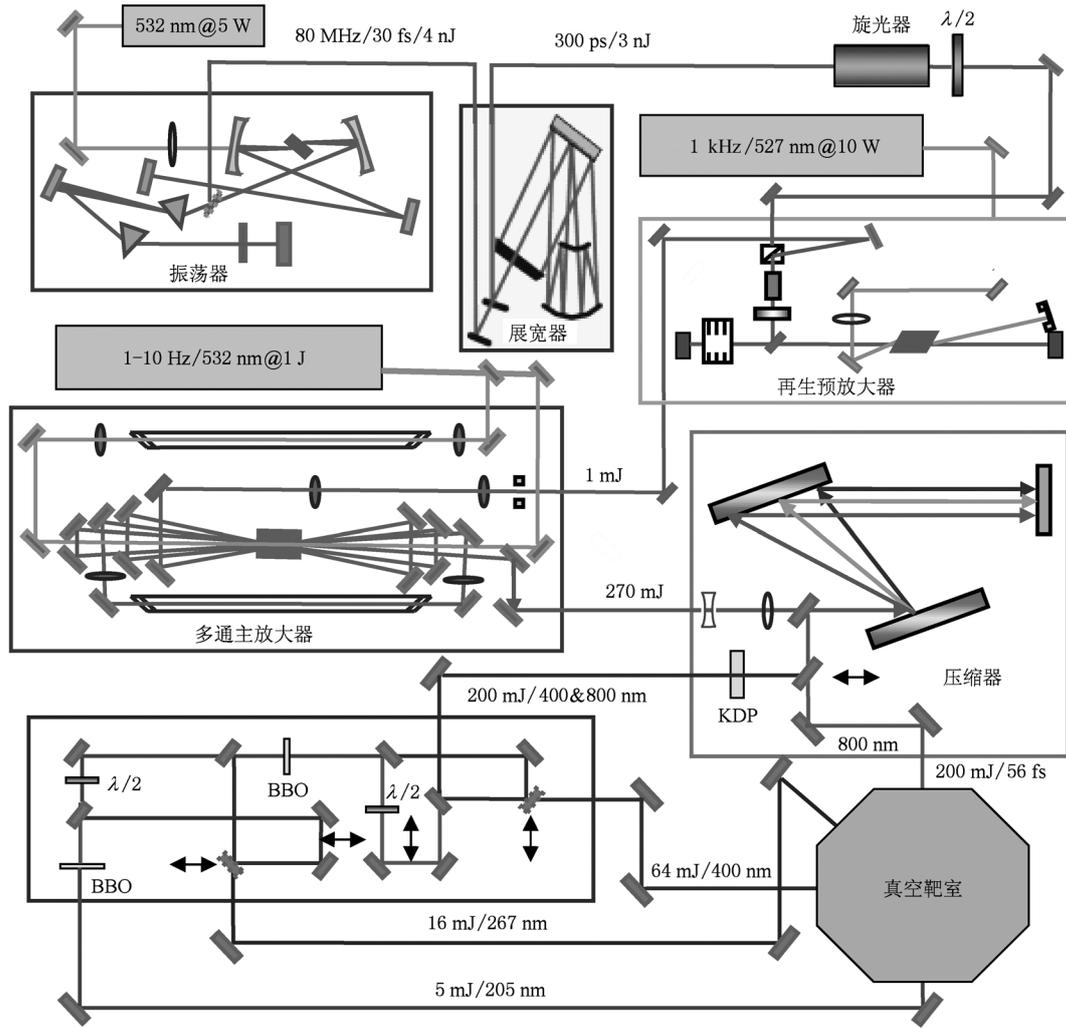


图1 多波长 CPA 系统光路示意图

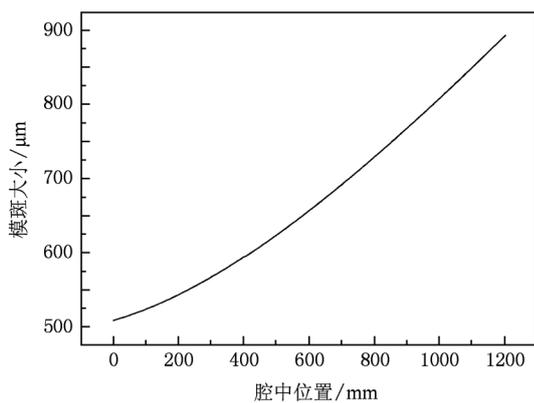


图2 再生腔中光斑大小分布

2.2. 同步电路系统

在啁啾脉冲放大(CPA)系统中,前级预放大器

的工作特性直接影响着后级主放大系统的放大效率、输出脉冲的能量稳定性及光束质量. 通常对于多TW的飞秒激光装置,由于动力负荷问题,多采用10 Hz或更低的重复频率,相对kHz重复频率的CPA激光系统而言,这种低重复频率的工作方式在稳定性和光束质量等方面具有先天的不足. 针对这一问题,我们设计建成了一台预放大采用1kHz重复频率的TW超强激光装置. 传统CPA预放大和主放大均为同一个重复频率,放大过程不涉及频率同步问题. 为了得到能量稳定的预放大脉冲,我们采用了kHz再生预放大,而主放大采用了能同时输出1,5,10 Hz的多通放大结构. 所以仅放大过程就涉及4种频率的同步. 在该装置中,振荡器输出的飞秒激光由高速光电探测器接收后输出80 MHz左右的射频信号,它为整个放大装置提供最初始的种子激光脉冲,脉冲的重复频率一般不受外控,从而形成

了一个稳定的时钟频率信号源,为整个放大装置提供时序基准。

再生预放大系统采用的抽运源是 LD 连续抽运的 Nd:YLF 调 Q 激光器,其脉冲重复频率为 1 kHz,它只含有一个外触发输入端:Q-SW TRIG,其触发信号由 80MHz 射频信号生成的 1 kHz 脉冲同步信号提供.再生放大器中,脉冲选单和倒空使用的是同一个普克尔盒(Pocket cell,PC),通过控制加载在电光晶体上的高压脉冲以达到对激光脉冲选单或倒空的目的,这里必须保证高压脉冲信号与锁模激光脉冲的高精度同步,两者之间的时间抖动(timing jitter,T-J)要低于 1 ns(一般要低于飞秒振荡器输出脉冲间隔周期的十分之一).选单后的种子脉冲和抽运脉冲之间也要保持同步,由于钛宝石晶体的上能级寿命较长(长达 200 μ s),因此两者之间的 T-J 小于 100 ns 就足够了,当然 T-J 越小,对输出放大脉冲的能量稳定性越有利。

PC 驱动控制器采用外触发的方式,由 80 MHz 射频信号生成与 1 kHz 脉冲同步的 10 Hz 低频触发信号.这种触发方式由于采用同一个信号源,所以不存在信号之间的不同步,同时选单时直接用 10 Hz 触发,省去了再用一个 PC 通过选单将 kHz 放大信号向 10 Hz 信号转换的环节,大大简化了频率之间的转换,这也是本设计的特色之一.主放大采用的是多通放大器,所使用的两台抽运源均为氙灯抽运的 Nd:YAG 调 Q 激光器,脉冲重复频率为 10 Hz,它含有两个外触发输入端:LAMP TRIG 和 Q-SW TRIG,两个输入端的触发信号之间的延时为 200 μ s 左右(其中 LAMP TRIG 在先),T-J 要求小于 1 μ s.整个脉冲放大过程中,80 MHz/300 ps 的脉冲经过 1 kHz 放大后,通过 10 Hz 同步选单后直接进入一个 6 通放大器,与 10 Hz 抽运的 Nd:YAG 激光器延时后完成电路的同步放大设计.具体时序图见图 3。

2.3. 特殊的主放大设计

经过 kHz 再生预放大系统,单个脉冲能量达到 1 mJ 以上,为了得到更大的脉冲能量,实验中采用一个 6 通主放大系统对脉冲进行进一步能量放大.通常主放大过程中由于很强的自发辐射和热透镜效应导致的波前畸变会严重影响到光束质量,从而使频率转换效率大大降低,本实验为了抑制光束质量变差,采用空间滤波器对抽运光和放大光空间传递行为(波前、光束强度分布、直径、发散角等)进行控制.空间滤波器一方面可以有效的抑制 ASE,这主

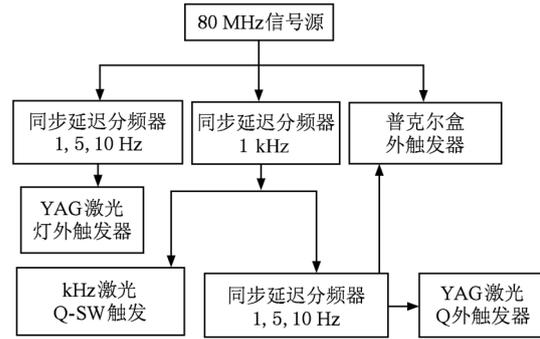


图 3 TW 掺钛蓝宝石放大系统时序图

要是根据 ASE 的方向性差,空间明显发散的特性而设计.另一方面,空间滤波器可以进行有效的像传递,减小自聚焦效应,去掉小尺度的空间自聚焦效应导致的高强度的成丝.由于这些小尺度的成丝对应高的空间频率,通过空间滤波后将聚焦在焦点外,被光阑挡住,防止在放大过程中自聚焦形成的热点或细丝对空间模式和光学元件的破坏.实验中使用的抽运源光束为近高斯分布,中心能流高于边缘,为了防止晶体的损伤和中间过高增益导致的热斑,根据抽运光对钛宝石的经验表面损伤阈值为 2 J/cm²,实验中选用比较安全的 1.3 J/cm² 的抽运能流密度,通过采用双向抽运机制,不仅使增益均匀,而且使总的抽运能流提高一倍即 2.6 J/cm²,避免了抽运光对晶体表面损伤.在该抽运能流密度下,通过双向抽运多通放大理论模拟^[16]确定了放大光经过 6 通后可达到饱和,所以我们设计了一个 6 通主放大光路(见图 1 主放大部分).在没有加入空间滤波器前,经过 6 次放大后能量达到 320 mJ.但由于没有消除放大过程中的自发辐射和自聚焦效应形成的热点,光束质量很差同时极易损坏晶体和回程的光学反射镜,为了提高放大光束质量和避免光学元件不受损伤,我们首次在放大光路内部加入了空间滤波器,虽然放大能量输出降低到 270 mJ,但换取的是光束质量的改善.图 4 是加入空间滤波器前后光束质量的比较,左图是加入滤波器前的实测光束质量,可以看到强度分布不均,有热斑环状分布;加入滤波器后光束去除了热斑和成丝环状分布,光束变的更加均匀.最后输出光再一次通过空间滤波器像传递后直接进入压缩器.我们发现,这种在放大光路中加入空间滤波器的方法很适合近高斯分布的抽运光,由于这种抽运光中心增益高,导致自发辐射中间高于边缘,使中间易于形成热斑

同时边缘达到饱和需要次数高于中间,最终致光束质量变差,在4程放大后加入空间滤波器可以消除

这种负面效应,从而也相对放宽了对抽运光束质量的苛刻限制.

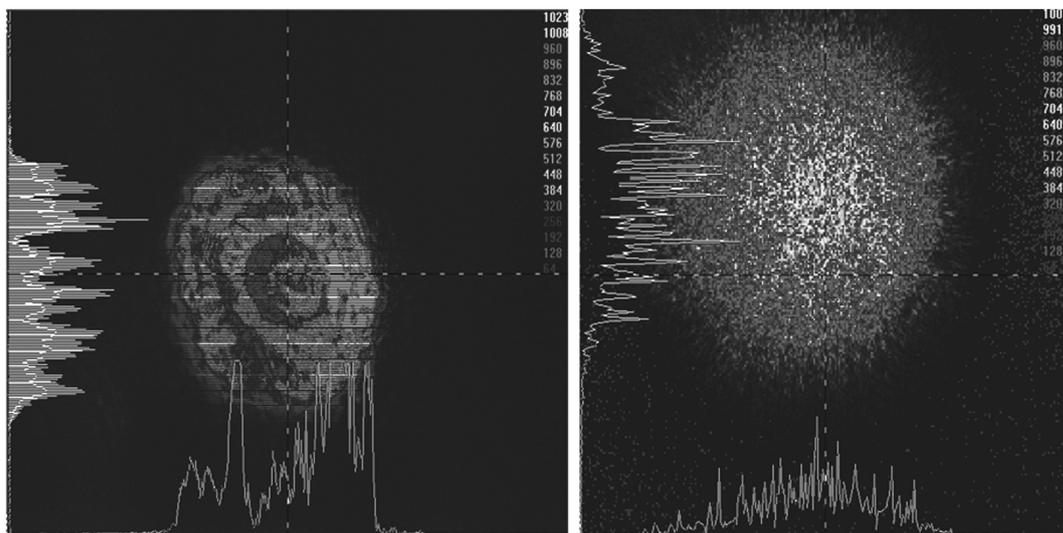


图4 放大光路中加入真空滤波器前后光束质量比较

3. 多波段高能量紫外脉冲产生技术

为了得到高能量紫外波段的超短脉冲,需要对6 TW/800 nm 输出光进行倍频、三倍频和四倍频研究. 实验中采用了KDP作为倍频晶体,虽然KDP有效非线性系数比BBO小,但它有较小的群速失配,较大的接受角和接受谱宽,很适合于宽带高功率倍频,表1中将BBO和KDP的具体的非线性参数进行了比较. 从材料加工角度看,KDP更容易生长为大口径的材料,更有利于高能量脉冲频率变换. 同时KDP倍频空间上走离比BBO小,有利于得到光束质量较好的倍频光,对于提高三倍频和四倍频效率是十分有利的.

表1 KDP和BBO非线性参数比较

晶体	$d_{\text{eff}} / \text{pm} \cdot \text{V}^{-1}$	群速失配 / $\text{fs} \cdot \text{mm}^{-1}$	接受角宽 / $\text{min} \cdot \text{cm}^{-1}$	接受谱宽 / $\text{nm} \cdot \text{cm}^{-1}$	1类匹配角 θ
KDP	0.31	83	4	1.6	$44^\circ 42'$
BBO	0.88	280	1.7	0.74	$29^\circ 56'$

实验中KDP晶体的长度为2 mm,口径为50 mm,一类相位配角 $\theta = 44.90^\circ$,由于KDP在空气中很易潮解,直接将KDP晶体放置在真空压缩器中进行倍频. 实验中发现基频光的初始啁啾对倍频效率的影响也十分大,这也与高功率倍频的理论研究

是一致的^[17]. 当调节压缩器的光栅间的距离使脉冲压缩最好,即初始啁啾为零时,我们发现这种情况下对应的转换效率并不是最高. 适当的调节压缩器的间距,使放大光带有一定的啁啾,则抽运光转换效率有了明显的提高,调节光栅间距发现其存在一个最佳的优化位置,离开这个位置不管是间距加大还是缩小,倍频效率都会降低. 最后,经过优化倍频参数后,得到了KDP倍频效率随基频光能量的变化曲线,如图5所示. 分析这些实验结果会发现:并不是抽运能量越大或者说抽运功率密度越大对应的倍频效率就越高,它存在一个最佳的倍频功率密度,一旦抽运光功率密度超过这个值,倍频效率反而会下降,实验中对33 fs的基频光脉冲,得到的最佳倍频功率密度为218 GW/cm²,超过这个值后,转换效率会下降,仔细分析后认为:随着抽运光功率密度的提高,对倍频起关键作用的仅仅是晶体前端1—2 mm的地方,晶体后边的部分对倍频效率的贡献随着抽运光功率密度的提高越来越小,甚至存在反吸收及严重的群速失配等反而使倍频效率下降,这与理论模拟结果是一致的^[18].

三倍频采用BBO晶体一类匹配($\theta = 44.5^\circ$),由于两束光群速度不同,为了实现时域上两束光的有效耦合,将倍频光与剩余的基频光经过精确延时以确保两束光脉冲在BBO晶体中时域上相互重叠. 然后将两束光分别进行缩束准直,然后经过一个

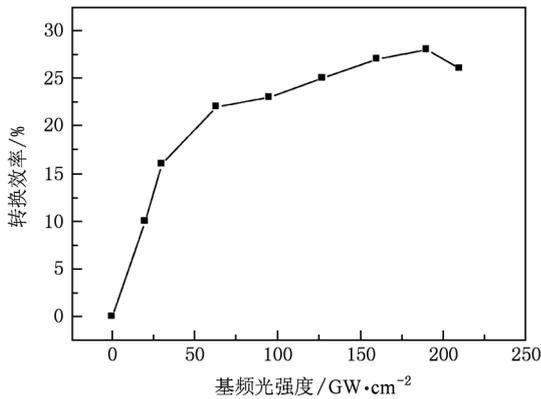


图5 KDP倍频效率随基频光强度变化曲线

400 nm@ HF&800 nm@ HT 双色镜使两束光在空间上重合后注入 BBO 晶体,根据光子数匹配,800 nm 的基频光能量(120 mJ)完全满足 54 mJ 倍频光和产生三倍频光的需要,所以提高倍频光的抽运功率密度十分重要,为了防止晶体表面损伤,400 nm 倍频光功率密度小于 150 GW/cm². 这种情况下,三倍频 267 nm 的输出能量为 16 mJ,根据能量转换公式:

$$\eta = E(3\omega) / [E(\omega)E(2\omega)]^{\frac{1}{2}},$$

对应 20% 的能量转换效率.

四倍频波段已达到真空紫外波段,空气对 200 nm 波段以下的光吸收比较严重,所以整个四倍频产生及传输过程均在真空管中进行,由于 200 nm 和 267 nm 镀膜比较困难,所以四倍频过程中采用小角度入射,使四倍频光与和频光空间上自然分开. 受限于飞秒脉冲宽度限制,夹角小于 2°. BBO 晶体通光截止波长 185 nm,对紫外波段有良好的透过性,加上具有比较大的非线性系数,所以是紫外四倍频首选的非线性材料. CPA 输出的基频光谱在 780—820 nm 之间,在抑制光谱加宽情况下对应的

四倍频光谱为 195—205 nm,由于 BBO 晶体非线性系数对四倍频紫外光波段十分敏感,因而不同的波段对应的转换效率差别比较大. 图 6 是不同波段下四倍频光的转换效率,当输出光为 205 nm 时,对应的最高转换效率为,最高输出能量为 5 mJ.

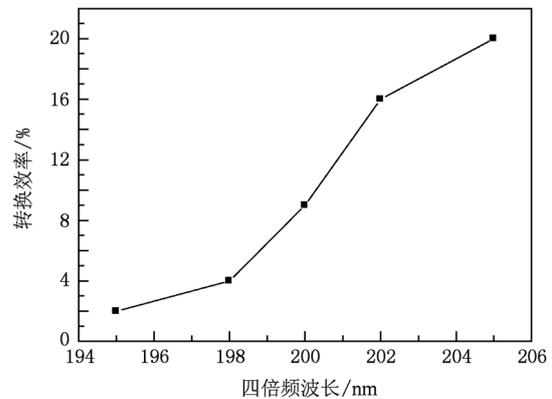


图6 KDP四倍频效率随输出波长变化曲线

4. 总 结

高能量飞秒 TW 多波长激光放大系统,是研究超快诊断和光与物质作用必需的设备 and 手段之一;同时,它本身也是激光技术的热点研究内容和具有挑战性的课题. 太瓦级掺钛蓝宝石激光放大系统结合了高重复频率放大下能量稳定性高的特点和低重复频率放大下热效应小的优点,其输出能量稳定,光束质量好,通过倍频技术,可同时实现波长 800 nm,400 nm,267 nm,200 nm 的超短脉冲输出,该系统已用于超快诊断和条纹相机的时间定标. 同时可用来产生超宽谱 X 射线以及开展 THz 辐射和高次谐波的产生等强场物理方面的研究.

[1] Aoyama M, Yamakawa K, Akahane Y, Ma J, Inoue N, Ueda H, Kiriya H 2003 *Opt. Lett.* **28** 1594
 [2] Corkum P B, Brunel F, Sherman N K, Srinivasan-Rao T 1988 *Phys. Rev. Lett.* **61** 2886
 [3] Queneuille J, Druon F, Maksimchuk A, Chériaux G, Mourou G, Nemoto K 2000 *Opt. Lett.* **25** 508
 [4] Sadighi-Bonabi R, Hora H, Riazi Z, Yazdani E, Sadighi S K 2010 *Laser and Particle Beams* **28**(01) 101
 [5] Moses E I, Boyd R N, Remington B A, Keane C J, Al-Ayat R 2009 *Phys. Plasmas* **16** 041006

[6] Gallant P, Forget P, Dorchies F, Jiang Z, Kieffer J C 2000 *Rev. Sci. Instrum.* **71** 3627
 [7] Dzelzainis T W J, Chalupsky J, Fajardo M, Faustlin R, Heimann P A, Hajkova V, Juha L, Jurek M, Khattak F Y, Kozlova M, Krzywinski J, Lee R W, Nagler B, Nelson A J, Rosmej F B, Soberierski R, Toleikis S, Tschentscher T, Vinko S M, Wark J S, Whitcher T, Riley D 2010 *High Energy Density Phys.* **6**(1) 109
 [8] Eugénio S, Osorio R, Sivakumar M, Vilar R, Monticelli F, Toledano M 2010 *Photomedicine and Laser Surgery* **28**(1) 97

- [9] Zhu J F, Ling W J, Wang Z H, Wang P, Sun J H, Wei Z Y, Zhang D C, Ma X W, Zhan W L 2007 *Appl. Opt.* **46** 6228
- [10] Kida Y C, Liu J, Teramoto T H, Kobayashi T 2010 *Opt. Lett.* **35** 1807
- [11] Darginavicius, Tamošauskas G, Piskarskas A, Dubietis A 2010 *Opt. Exp.* **18** 16096
- [12] Tzankov P, Steinkellner O, Zheng J, Mero M, Freyer W, Husakou A, Babushkin I, Herrmann J, Noack F 2007 *Opt. Exp.* **15** 6389
- [13] Wittmann M, Wick M T, Steinkellner O, Farmanara P, Stert V, Radloff W, Korn G, Hertel I W 2000 *Opt. Commun.* **173** 323
- [14] Ringling, Kittelmann O, Noack F, Korn G, Squier J 1993 *Opt. Lett.* **18** 2035
- [15] Tian J R, Sun J H, Wei Z Y, Wang Z H, Ling W J, Huang X J, Liu L T, Wei X F, Zhang J 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1200 (in Chinese)[田金荣、孙敬华、魏志义、王兆华、令维军、黄小军、刘兰亭、魏晓峰、张杰 2005 物理学报 **54** 1200]
- [16] Ling W J, Wang Z H, Wang P, Jia Y L, Tian J R, Wei Z Y 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1208 (in Chinese)[令维军、王兆华、王鹏、贾玉磊、田金荣、魏志义 2005 物理学报 **54** 1208]
- [17] Harimoto T, Aoyama M, Yamakawa K, Yonemura M 2002 *Jpn. J. Appl. Phys.* **41** 139
- [18] Ditmire T, Rubenchik A M, Eimerl D, Perry M D 1996 *J. Opt. Soc. Am. B* **13** 649

Multi-wavelength ultraviolet terawatt-order CPA system *

Ling Wei-Jun^{1)2)3)†} Zhang Shao-Gang¹⁾ Li Ke¹⁾ Zhang Ming-Xia¹⁾ Wang Yi-Shan²⁾
Zhao Wei²⁾ Wang Zhao-Hua³⁾ Wei Zhi-Yi³⁾

1) (Depart of Physics, Tianshui Normal College, Tianshui 741000, China)

2) (State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an 710119, China)

3) (Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

(Received 6 April 2011; revised manuscript received 27 April 2011)

Abstract

We set up a multi-wavelength ultraviolet terawatt-order chirped pulse amplification (CPA) system according to the CPA technology and the frequency conversion technology. The system offers 1Hz, 5Hz and 10Hz high energy ultraviolet pulses by precise time synchronization among 5 repeat frequencies. The RMS of output energy fluctuation rate of CPA is less than 2% with using a pre-amplified system of energy fluctuation rate less than 0.3% RMS and a time synchronizer with time jitter less than 3 ns. The multi-wavelength high energy ultraviolet pulses with 64 mJ/400 nm, 16 mJ/267 nm and 5 mJ/205 nm are obtained, and their corresponding peak powers reach the terawatt level.

Keywords: chirped pulse amplification (CPA), optical frequency conversion, ultraviolet pulse

PACS: 42.65.Re, 42.65.Ky, 42.72.Bj

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60878020), the Open Research Fund of State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, CAS of China (Grant No. SKLST200916), the Research Foundation of Education Bureau of Gansu Province, China (Grant No. 1008-08) and the Qinglan' Talent Engineering Funds by Tianshui Normal University of China.

† E-mail: wjlings@sina.com