(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111952820 A
(43)申请公布日 2020.11.17

(21)申请号 202010973776.7

(22)申请日 2020.09.16

(71)申请人 科谱(宁波)科技有限公司
地址 315000 浙江省宁波市江北区徐江岸路622号(弘茂大厦)2-15室

(72)发明人 杨浩

(74)专利代理机构 无锡市汇诚永信专利代理事务所(普通合伙) 32260
代理人 张静汝

(51)Int.Cl.
H01S 3/00(2006.01)

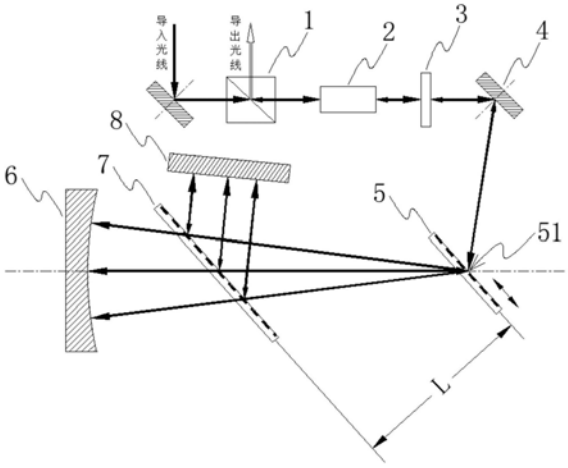
权利要求书3页 说明书11页 附图3页

(54)发明名称

激光脉冲展宽器与展宽方法

(57)摘要

本发明提供一种激光脉冲展宽器与展宽方法,该展宽器与展宽方法将激光脉冲导入一对平行放置的透射式光栅对,辅助以若干镜片进行光线准直和光路折叠,通过引入色散而实现对激光脉冲在时域上的展宽。该展宽器具有可小型化、易于集成等优点,且其引入的光谱相位噪声较少,具有高脉冲对比度的优势,尤其适用于超快激光技术领域。



CN 111952820 A

1.一种激光脉冲展宽器,包括展宽组件,展宽组件包括光栅组件与镜片组件;其特征在于,

所述光栅组件包括第一光栅与第二光栅,镜片组件包括第一镜片与第二镜片,第一光栅与第二光栅均为透射式光栅;

入射光线经第一光栅衍射后达到第一镜片,第一镜片调节光线传播路径使其入射第二光栅,经第二光栅衍射后达到第二镜片,第二镜片调节光线传播路径使其逆向重新入射回到第二光栅,经第二光栅衍射后至第一镜片调节光传播路径并入射第一光栅,最后经第一光栅衍射后出射导出。

2.根据权利要求1所述的激光脉冲展宽器,其特征在于,所述第一光栅按使入射光线以其中心波长的利特罗角入射的方式放置;

作为优选,第一光栅与第二光栅的刻线密度相同;

作为优选,第一光栅与第二光栅相互平行地设置;

作为优选,所述第一镜片用于将入射光汇聚并调节光路使其入射第二光栅;

作为优选,所述第一镜片包括凹面镜,凹面镜倾斜地设置,使得其入射光与反射光不重合,反射光被第二光栅接收并衍射;

作为优选,所述凹面镜的曲率中心与入射光线入射第一光栅的入射点邻近地设置;

作为优选,所述第二镜片包括第一平面反射镜,其设置为使得由第二光栅衍射后的出射光线垂直入射第一平面反射镜,光线被其反射后沿原光路逆向传播;第一平面反射镜最佳设置于凹面镜的焦平面上;

作为优选,所述激光脉冲展宽器还包括入出光组件,入出光组件包括格兰棱镜、法拉第旋光器与半波片;

将入射光线调整为P偏振光,导入格兰棱镜通过后,进入法拉第旋光器旋光并经半波片对偏振态进行调整而形成P偏振光,再导入第一光栅;展宽后由第一光栅出射的光线依次经半波片、法拉第旋光器后形成S偏振光,再由格兰棱镜对S偏振光反射导出,使得导入格兰棱镜的光线方向与展宽后经格兰棱镜导出的光线方向不同;

作为优选,所述激光脉冲展宽器还包括第三镜片,所述第三镜片设置于半波片与第一光栅之间以调节光传播路径;作为优选,第三镜片包括第二平面反射镜。

3.一种激光脉冲展宽器,包括展宽组件,展宽组件包括光栅组件与反射镜组件;其特征在于,所述光栅组件包括第一光栅与第二光栅,反射镜组件包括凹面镜与第一平面反射镜;第二光栅设置于第一光栅与凹面镜之间;

入射光线经第一光栅衍射后达到凹面镜,经凹面镜反射汇聚后入射第二光栅,经第二光栅衍射后的出射光线垂直入射第一平面反射镜,被第一平面反射镜沿原光路的逆向反射重新入射第二光栅,经第二光栅衍射后被凹面镜反射汇聚后入射第一光栅,再由第一光栅衍射后出射导出;

作为优选,所述凹面镜倾斜地设置,并使得其入射光与反射光不重合,反射光被第二光栅接收并衍射。

4.根据权利要求3所述的激光脉冲展宽器,其特征在于,还包括入出光组件,入出光组件包括格兰棱镜、法拉第旋光器及半波片;

将待展宽的入射光线调整为P偏振光,其导入格兰棱镜通过后,进入法拉第旋光器旋光

并经半波片对偏振态进行调整而形成P偏振光，再入射第一光栅；展宽后第一光栅的出射光线依次经半波片、法拉第旋光器后形成S偏振光，由格兰棱镜将S偏振光反射导出，使得导入格兰棱镜的光线方向与展宽后经格兰棱镜导出的光线方向不同；

作为优选，还包括第二平面反射镜，其设置于半波片与第一光栅之间，以调节入射第一光栅光线的光路。

5.根据权利要求3-4任一项所述的激光脉冲展宽器，其特征在于，第一光栅与第二光栅的刻线竖直地设置，凹面镜向上或向下倾斜地设置并使得其入射光与反射光不重合，使得反射光被第二光栅接收并衍射；凹面镜的曲率中心与入射光线入射第一光栅的入射点邻近地设置；

作为优选，第一平面反射镜优选设置于凹面镜的焦平面上。

6.根据权利要求3-4任一项所述的激光脉冲展宽器，其特征在于，所述第一光栅与第二光栅相互平行地设置；

作为优选，第一光栅按使得入射光线以其中心波长的利特罗角入射的方式放置；

作为优选，第一光栅与第二光栅的刻线密度相同；

作为优选，凹面镜、第一平面反射镜以及第二平面反射镜中至少一者的尺寸大于光斑尺寸以避免切光。

7.一种激光脉冲的展宽方法，其特征在于，包括：

将待展宽的激光脉冲导入第一光栅，经其衍射后入射第二光栅，再沿光路逆向传播并分别重新经过第二光栅与第一光栅，最后由第一光栅出射导出，以实现在时域上展宽激光脉冲；过程中通过镜片组件进行光线汇聚、发散或反射；

作为优选，入射光线以其中心波长的利特罗角导入第一光栅；

作为优选，第二光栅与第一光栅均为透射式光栅；

作为优选，第一光栅与第二光栅相互间平行地设置；

作为优选，所述镜片组件包括第一镜片组件与第二镜片组件，第一镜片组件汇聚光线和调整光路以使光线入射第二光栅，第二镜片组件调整光路以使其逆向入射第二光栅；

作为优选，第一镜片组件包括凹面镜，第二镜片组件包括第一平面反射镜；

作为优选，先将入射光线调整为P偏振光，导入格兰棱镜通过后，进入法拉第旋光器旋光并经半波片对偏振态进行调整而形成P偏振光，再导入第一光栅；展宽后由第一光栅出射的光线依次经半波片、法拉第旋光器后形成S偏振光，再由格兰棱镜对S偏振光反射导出；使得入射格兰棱镜的光线方向与展宽后经格兰棱镜出射的光线方向不同；

作为优选，还包括第三镜片组件，其设置于半波片与第一光栅之间以调整光路。

8.一种激光脉冲的展宽方法，其特征在于，包括：

将激光脉冲导入第一光栅，经第一光栅衍射后入射凹面镜；

凹面镜将入射光反射汇聚至第二光栅，再垂直入射第一平面反射镜；

第一平面反射镜反射光线使其沿原光路的逆向重新入射第二光栅，衍射后达到凹面镜；

凹面镜将光反射汇聚后到达第一光栅，衍射后出射而形成展宽后的激光脉冲。

9.根据权利要求8所述的展宽方法，其特征在于，入射光线以利特罗角导入第一光栅；

作为优选，第二光栅与第一光栅均为透射式光栅；

作为优选，第一光栅与第二光栅相互间平行地设置；

作为优选，所述第一光栅与第二光栅的刻线密度相同；

作为优选，第一光栅与第二光栅的刻线竖直地设置，凹面镜向上或向下倾斜地设置并使得其入射光与反射光不重合以使反射光被第二光栅接收并衍射，其曲率中心与入射光线入射第一光栅的入射点邻近地设置；

作为优选，第一平面反射镜设置于凹面镜的焦平面上。

10.根据权利要求8-9任一项所述的展宽方法，其特征在于，还包括入射导入和出射导出的步骤；

入射导入的步骤包括：使入射P偏振光透射格兰棱镜，再到法拉第旋光器旋光，最后经半波片调整偏振态后形成P偏振光并入射第一光栅；

出射导出的步骤包括：将经第一光栅第四次衍射后的出射光依次经半波片调整偏振态、法拉第旋光器旋光而形成S偏振光，再由格兰棱镜反射后导出；

入射导入格兰棱镜的光方向与出射导出格兰棱镜的光方向不同；

作为优选，还包括光线折叠的步骤，将经半波片调整偏振态后的光线先经第二平面反射镜反射以调整光路后再导入第一光栅。

激光脉冲展宽器与展宽方法

技术领域

[0001] 本发明属于激光器技术领域，具体涉及一种基于啁啾脉冲放大技术以产生超高功率超短脉冲的大功率激光器的激光脉冲的展宽器与展宽方法。

背景技术

[0002] 在过去30年间，激光功率的不断攀升，聚焦峰值功率密度也突飞猛进，而这一快速发展的拐点出现在皮秒及飞秒激光实现放大之后。自从1960年激光发明以来，自由运转的激光脉宽一直徘徊在毫秒量级，通过调Q技术也只能实现纳秒量级的输出。而锁模技术的出现，将激光脉冲的宽度缩减了10^6倍，直接进入了飞秒尺度。同时，新的挑战也涌现出来，脉冲短至皮秒甚至飞秒量级时，脉冲能量的放大就变得非常困难，因为能量稍有放大，峰值功率就迅速上升，非线性效应增强，放大过程中过高的峰值功率经常会将元件损伤。直到1985年G.Mourou等人提出了啁啾脉冲放大(CPA)技术，这一难题才得以解决，峰值功率瞬间提高了10^6倍，且成本更低。

[0003] CPA技术的出现和进展使得超快超强激光脉冲的产生成为可能，啁啾脉冲放大技术产生的激光脉冲功率密度可以达到$10^{25}W/cm^2$。这种超高强度的激光在许多领域有重要应用，尤其是作为一种强而有效的电子加速的驱动源，用于加速电子产生高能电子束(GeV级)，可以用来产生相干x射线；超高强度激光脉冲也可用于加速质子，可以产生数MeV的质子束。

[0004] 在CPA技术出现以前，除非扩大光斑、增加介质口径，否则高峰值功率密度造成元件破坏很难避免。在对超短脉冲进行放大时，CPA技术可以不通过增加光束及介质口径，就能避免在介质中产生过高的峰值功率。其实现方法是：在放大前，先对飞秒或皮秒脉冲引入一定的色散，将脉冲宽度在时域上展宽至皮秒甚至纳秒量级，降低峰值功率，然后再进行放大，这样就降低了元件损伤的风险，等获得了较高的能量以后，再补偿色散，并将脉冲宽度压缩至飞秒量级。利用CPA技术，可以有效地避免放大过程中过高的峰值功率造成的系统元件损伤，也可以避免过高的峰值功率导致增益饱和并产生不利的非线性效应。

[0005] 振荡器输出脉冲重复频率一般为近百MHz量级，单脉冲能量几个纳焦耳，脉宽几十甚至几个飞秒。展宽器用于将种子脉冲脉宽在输入放大器之前展宽。在早期的CPA实验中，使用光纤的正色散来展宽脉冲，采用Treacy型光栅对所提供的负色散进行补偿并压缩脉宽，这种展宽压缩方案，易补偿二阶色散，但却无法匹配三阶色散。目前人们对展宽压缩的研究已日渐成熟，应用较为广泛的展宽技术主要是光栅和块材料展宽器，如反射式的马丁内兹(Martinez)展宽器和无像差的欧浮纳(Öffener)展宽器以及重火石块材料展宽器等。

[0006] 上述几种展宽器经常被用在固体科研型超快激光器中，但其体积庞大，不利于在工业等大规模应用中。而且，常规的马丁内兹展宽器和欧浮纳展宽器由于镀金反射式光栅表面平整度较低，在进行脉冲展宽的时候会引入光谱相位噪声，从而最终影响脉冲对比度。

[0007] 此外，在对上述方法的研究和实践过程中，本专利的发明人还发现，上述几种传统的展宽器亦会光路复杂，难以实现小型化等不足。

发明内容

[0008] 因此，基于现有技术的上述缺陷，本发明的目的在于解决上述问题的至少一者，提供一种基于透射式光栅可对激光脉冲，例如超短激光脉冲，在时域进行展宽的激光脉冲展宽器与展宽方法。

[0009] 作为本发明的第一方面，提供了一种激光脉冲展宽器，包括展宽组件，展宽组件包括光栅组件与镜片组件。

[0010] 所述光栅组件包括第一光栅与第二光栅，镜片组件包括第一镜片与第二镜片；所述第一光栅与第二光栅均为透射式光栅，第一镜片与第二镜片用于调节光传播路径。

[0011] 入射光线经由第一光栅衍射后达到第一镜片，第一镜片调节光线传播路径使其入射第二光栅，光线经第二光栅衍射后达到第二镜片，第二镜片调节光传播路径使其与沿光从第二光栅出射方向的逆向重新入射回到第二光栅，光线经第二光栅衍射后至第一镜片调节光传播路径并入射第一光栅，最后经第一光栅衍射后出射，以实现对于入射光线在时域上的展宽。

[0012] 作为优选，所述第一光栅与第二光栅相互平行地设置。

[0013] 作为优选，入射光线以其中心波长的利特罗角入射第一光栅；即，第一光栅按使入射光以中心波长的利特罗角入射的方式放置。

[0014] 作为优选，第一光栅与第二光栅的刻线密度相同。

[0015] 作为优选，所述第一镜片包括凹面镜，以用于汇聚和反射光线。

[0016] 作为优选，所述第二镜片包括第一平面反射镜，其设置为与第二光栅的出射光相垂直，以将第二光栅的出射光线沿逆向传播，即设置为使得由第二光栅衍射后出射光线垂直入射第一平面反射镜并被其反射后沿原光路逆向传播。

[0017] 作为优选，所述第一平面反射镜最佳设置于凹面镜的焦平面上。

[0018] 作为优选，所述凹面镜倾斜地设置以使其入射光与反射光不重合，反射光被第二光栅接收并衍射。所述凹面镜的曲率中心邻近与第一光栅的入射点地设置，即先使凹面镜的曲率中心与第一光栅的入射点相重合，再将凹面镜略倾斜以使其入射光与反射光不重合，反射光被第二光栅接收并衍射。凹面镜的曲率中心与第一光栅的入射点之间的偏移间距非常小，因此在整体上确定各部件尺寸及位置关系时，可以认为两者是重合的。

[0019] 作为优选，所述激光脉冲展宽器还包括入出光组件，入出光组件包括格兰棱镜、法拉第旋光器与半波片。

[0020] 先将入射光线调整为P偏振光，再导入格兰棱镜通过后，进入法拉第旋光器旋光，并经半波片对偏振态进行调整，形成P偏振光，P偏振光再导入第一光栅进行展宽；展宽后由第一光栅出射的光线依次经半波片、法拉第旋光器而形成S偏振光，再由格兰棱镜对S偏振光反射导出，使得导入格兰棱镜的光线方向与展宽后经格兰棱镜出射的光线方向不同，利于光线的导入与导出。

[0021] 作为优选，所述激光脉冲展宽器还包括第三镜片，第三镜片设置于半波片与第一光栅之间，以调节光传播路径，折叠光路，为小型化激光脉冲展宽器提供了可能。

[0022] 作为优选，所述第三镜片包括第二平面反射镜。

[0023] 作为本发明的第二方面，提供了一种激光脉冲展宽器，包括展宽组件，展宽组件包括光栅组件与反射镜组件。

[0024] 所述光栅组件包括第一光栅与第二光栅，反射镜组件包括凹面镜与第一平面反射镜；第二光栅设置于第一光栅与凹面镜之间，但其不在第一光栅与凹面镜的光路上。

[0025] 入射光线经第一光栅衍射后直接达到凹面镜，光线是从第二光栅的边缘外传播而不经过第二光栅，经凹面镜反射汇聚后入射第二光栅，经第二光栅衍射后出射光线垂直入射第一平面反射镜，被第一平面反射镜反射后沿原光路的逆向重新入射第二光栅，光线经第二光栅衍射后被凹面镜反射而入射第一光栅，并在经第一光栅衍射后出射导出。

[0026] 作为优选，所述凹面镜倾斜地设置以使其入射光与反射光不重合，使得光线在第一光栅与凹面镜之间传播时从第二光栅的边缘外传播而不经过第二光栅。

[0027] 作为优选，还包括入出光组件，入出光组件包括格兰棱镜、法拉第旋光器及半波片。

[0028] 先将待展宽的入射光调整为P偏振光，其导入格兰棱镜通过后进入法拉第旋光器旋光，经半波片对偏振态进行调整后，形成P偏振光，P偏振光入射再第一光栅；展宽后第一光栅的出射光线依次经半波片、法拉第旋光器后形成S偏振光，再由格兰棱镜将其反射导出。利用格兰棱镜使得P偏振光通过而S偏振光反射，使入射格兰棱镜的光方向与展宽后经格兰棱镜出射的光方向不同，以使得该展宽器的入射光线与出射光线的位置不同，利于光线的导入与导出。

[0029] 作为优选，该展宽器还包括第二平面反射镜，其设置于入出光组件与第一光栅之间以调节光传播路径，例如反射光线并允许折叠入出光组件与展宽组件，为小型化激光脉冲展宽器提供了可能。

[0030] 作为优选，第一光栅与第二光栅的刻线竖直地设置，凹面镜向上或向下倾斜地设置，并使得其入射光与反射光不重合，反射光被第二光栅接收并衍射；凹面镜的曲率中心与入射光线入射第一光栅的入射点邻近地设置。

[0031] 作为优选，第一平面反射镜设置于凹面镜的焦平面上。

[0032] 作为优选，所述第一光栅与第二光栅相互平行地设置。

[0033] 作为优选，入射光线以其中心波长的利特罗角入射第一光栅；即，第一光栅按使入射光线以中心波长的利特罗角入射的方式放置。

[0034] 作为优选，第一光栅与第二光栅的刻线密度相同。

[0035] 作为优选，凹面镜、第一平面反射镜以及第二平面反射镜中至少一者的尺寸大于光线于其上形成的光斑的尺寸以避免切光。

[0036] 作为本发明的第三方面，提供了一种激光脉冲的展宽方法，其包括：将待展宽的激光脉冲导入第一光栅，经其衍射后入射第二光栅，后沿光路逆向传播并分别重新经过第二光栅与第一光栅，最后由第一光栅出射导出，实现在时域上展宽激光脉冲；过程中通过镜片组件进行光线汇聚、发散或是反射。

[0037] 该方法通过由一对透射式光栅对的展宽组件以引入色散，辅以镜片组件进行光线准直和光路折叠，实现在时域上展宽激光脉冲。

[0038] 作为优选，入射光线以利特罗角导入第一光栅。

[0039] 作为优选，第二光栅与第一光栅均为透射式光栅。

[0040] 作为优选，第一光栅与第二光栅相互间平行地设置。

[0041] 作为优选，所述镜片组件包括第一镜片组件与第二镜片组件；第一镜片组件汇聚

光线和调整光路以使光线入射第二光栅，第二镜片组件调整光路以使其逆向入射第二光栅。

[0042] 作为优选，第一镜片组件包括凹面镜，以用于汇聚和反射光线，调节光路；第二镜片组件包括第一平面反射镜，以用于反射光线而调节光路。从而可以将待展宽的激光脉冲导入第一光栅被其色散，由第一光栅色散后的出射光线经第一镜片组件准直光线、改变光路后入射第二光栅，由第二光栅出射的光线被第一平面反射镜沿出射光路的逆向反射重新回到第二光栅，后依次经第一镜片组件和第一光栅后出射导出，以实现在时域上的展宽激光脉冲。

[0043] 作为优选，所述待展宽的激光脉冲先依次导入格兰棱镜、法拉第旋光器和半波片再导入透射式光栅对，展宽后由透射式光栅对出射的光线依次经半波片、法拉第旋光器和格兰棱镜后导出。

[0044] 作为优选，所述待展宽的激光脉冲是P偏振的，展宽后经偏振器件调整，由格兰棱镜反射导出的光线则是S偏振的，从而实现激光脉冲的导入与导出的分离。

[0045] 作为优选，还包括第三镜片组件，其设置于半波片与第一光栅之间以调整光路。

[0046] 作为本发明的第四方面，提供了一种激光脉冲的展宽方法，其包括：

[0047] 1)将激光脉冲导入第一光栅，光线经第一光栅衍射后入射凹面镜，光线是由第二光栅的边缘外传播而不经过第二光栅。

[0048] 2)凹面镜将入射光反射汇聚至第二光栅进行第二次衍射，衍射后垂直入射第一平面反射镜。

[0049] 3)第一平面反射镜反射光线使其沿原光路的逆向重新入射第二光栅进行第三次衍射，衍射后达到凹面镜。

[0050] 4)凹面镜将光反射汇聚后达到第一光栅进行第四次衍射后出射，形成展宽后的激光脉冲；光线是由第二光栅的边缘外传播而不经过第二光栅。

[0051] 作为优选，凹面镜倾斜地设置以使其入射光与反射光不重合，反射光被第二光栅接收并衍射。

[0052] 作为优选，入射光线以利特罗角导入第一光栅。

[0053] 作为优选，第二光栅与第一光栅均为透射式光栅。

[0054] 作为优选，第一光栅与第二光栅相互间平行地设置。

[0055] 作为优选，所述第一光栅与第二光栅的刻线密度相同。

[0056] 作为优选，第一光栅与第二光栅的刻线竖直地设置，凹面镜向上或向下倾斜地设置并使得其入射光与反射光不重合，其曲率中心与入射光线入射第一光栅的入射点邻近地设置。

[0057] 作为优选，第一平面反射镜设置于凹面镜的焦平面上。

[0058] 作为优选，还包括入射导入和出射导出的步骤。

[0059] 入射导入的步骤包括：使入射P偏振光透射格兰棱镜，再到法拉第旋光器旋光，最后经半波片调整偏振态后形成P偏振光并入射第一光栅。

[0060] 出射导出的步骤包括：将由第一光栅第四次衍射后的出射光依次经半波片调整偏振态、法拉第旋光器旋光形成S偏振光，再由格兰棱镜反射后导出。

[0061] 入射导入格兰棱镜的光方向与出射导出格兰棱镜的光方向不同。

[0062] 作为优选，还包括光线折叠的步骤，将经半波片调整偏振态后的光线先经反射镜反射，再导入第一光栅，从而可以缩小展宽器体积，实现展宽器的小型化。

[0063] 本发明的展宽器与展宽方法，将激光脉冲导入一对平行放置的透射式光栅对，辅助以若干镜片进行光线准直和光路折叠，引入色散而实现对激光脉冲在时域上的展宽。该展宽器具有可小型化、易于集成等优点，且其因引入的光谱相位噪声较少，具有高脉冲对比度的优势，尤其适用于超快激光技术领域。

[0064] 本发明的展宽器与展宽方法，适用于超短激光脉冲的时域展宽，例如飞秒激光脉冲，在超快激光技术领域具有重要的应用价值和科学意义。

附图说明

[0065] 以下，结合附图来详细说明本发明的实施方案，其中：

[0066] 图1是本发明某一实施例的展宽器的俯视结构示意图；图中第一光栅旁的双向箭头为光栅移动方向，应移动时应避免切光；

[0067] 图2是本发明某一实施例的凹面镜设置示意图；其中，凹面镜绕过其身的旋转轴在竖直方向上旋转了适当角度，使得凹面镜整体是以下向倾斜的形态设置的，此时，其曲率中心由o点位置变为o’位置，虚线显示的凹面镜是其原始位置，实线是旋转后的位置；

[0068] 图3是本发明另一实施例的展宽器的结构示意图；

[0069] 图4是本发明的透射光栅展宽器的二阶色散和三阶色散曲线；

[0070] 图5是本发明某一实施例展宽前的光谱，图6是经过透射光栅展宽器展宽的光谱；其中，横坐标为波长(nm)，纵坐标为强度；

[0071] 对于上述各附图的附图标记说明如下：1、格兰棱镜；2、法拉第旋光器；3、半波片；4、第二平面反射镜(其可为银镜)；5、第一光栅，51、入射点；6、凹面镜，61、凸透镜；7、第二光栅；8、第一平面反射镜，其呈长条状。

具体实施方式

[0072] 为了使本领域技术人员更好地理解本发明，从而对本发明要求保护的范围作出更清楚地限定，下面就本发明的某些具体实施例对本发明进行详细描述。需要说明的是，以下仅是本发明构思的某些具体实施方式仅是本发明的一部分实施方式，其中对于相关结构的具体的直接的描述仅是为方便理解本发明，各具体特征并不当然、直接地限定本发明的实施范围。本领域技术人员在本发明构思的指导下所作的常规选择和替换，以对于本发明各个功能模块之间的合理组合，均应视为在本发明要求保护的范围内。

[0073] 一种激光脉冲展宽器，包括用于对激光脉冲进行时域上展宽的展宽组件，展宽组件包括光栅组件与镜片组件。所述光栅组件包括第一光栅与第二光栅，镜片组件包括第一镜片与第二镜片。

[0074] 所述第一光栅与第二光栅均为透射式光栅，是在透明基质上，例如熔石英，刻制很多条相互平行、等距、等宽的凹槽，以形成由大量等宽等间距的平行狭缝构成的光栅，从而可使复合光发生色散。

[0075] 第一镜片与第二镜片用于调节光传播路径，可以是单个反射镜或透射镜，或是由若干个反射镜和/或透射镜所组成的镜组，能实现光传播路径的调节即可，在此并不局限；

并且，上述的调节光传播路径是广义上的光路调整，包括光传播中的折射、反射等过程；例如，平面反射镜的反射作用，也包括通过凹面镜、凸面镜、凹透镜、凸透镜、三棱镜等光学元件除调节光传播路径外还同时可以对光进行汇聚、发散、色散等过程。

[0076] 展宽时，入射光线(激光脉冲)经由第一光栅衍射后达到第一镜片，第一镜片调节光线传播路径使其入射第二光栅，光线经第二光栅衍射后达到第二镜片，第二镜片调节光传播路径，使其逆向(即以与光从第二光栅出射的相反方向)重新入射回到第二光栅并按上述相向方向进行逆向传播，即：光在经第二光栅衍射后至第一镜片调节光传播路径并入射第一光栅，最后经由第一光栅衍射后出射，以实现对入射光线在时域上的展宽。

[0077] 在该展宽器的展宽过程中，光是按以下路径及方式进行传播的：

[0078] 初始入射>>第一光栅(衍射)>>第一镜片(调节光路)>>第二光栅(衍射)>>第二镜片(调节光路)>>第二光栅(衍射)>>第一镜片(调节光路)>>第一光栅(衍射)>>展宽出射。

[0079] 二阶色散GDD和三阶色散TOD的表达式为：

[0080] $$GDD = \frac{L\lambda^3}{\pi c^2 d^2} \cdot \frac{1}{\cos^2\theta}$$

[0081] $$TOD = -\frac{3L\lambda^4}{2\pi^2 c^3 d^2} \cdot \frac{1+\sin\theta\sin\gamma}{\cos^5\theta}$$

[0082] 其中，L为光栅对间距、λ为中心波长、π为圆周率、c为光速、d为光栅常数(刻线密度的倒数)、θ为入射角、γ为衍射角。入射角θ为利特罗角，衍射角γ由光栅刻线密度和入射角决定。给定光栅刻线密度后，可通过调节变量为L，即实际中通过调节光栅对的间距来调节色散量(即展宽量)。

[0083] 在某些实施例中，所述第一光栅与第二光栅是相互平行地设置的，从而使得入射光线第一光栅衍射后入射第二光栅时具有相同的衍射角，并使第二块光栅可以对第一块光栅衍射开的弥散光斑进行准直，使其平行入射第二镜片。

[0084] 在另一些实施例中，所述第一光栅按使得入射光以中心波长的利特罗角入射的方式放置，从而可以使得光栅的衍射效率最高，展宽后的脉冲功率高。

[0085] 在另一些实施例中，第一光栅与第二光栅的刻线密度相同，以使得相同的波长在两光栅上的衍射角相同，进而使得第二光栅可以起到更好的准直作用。但两光栅的整体长度可以不同，这可以根据需要设置；原则上来说，第二光栅应较第一光栅更长，且它们的总长度都应长于实际起作用的工作区间长度。

[0086] 在另一些实施例中，所述第一镜片包括凹面镜，以起到汇聚的作用，其将入射光汇聚并调节光路使其入射第二光栅。当然，基于光路原理考虑也可以将其替换为凸透镜，此时第二光栅及第一平面反射镜应相应地设置。

[0087] 在另一些实施例中，所述第二镜片为第一平面反射镜，并且其设置位置为与第二光栅的出射光垂直，从而使得由第二光栅衍射后出射的光线被沿相向路径(即原光路的逆向)被反射回第二光栅。第一平面反射镜最佳设置于凹面镜的焦平面上。

[0088] 在另一些实施例中，凹面镜倾斜地设置以使其入射光与反射光不重合，反射光被第二光栅接收并衍射，从而使得在汇聚的基础上，凹面镜的入射光与反射光的路径有所差

异，第二光栅设置于凹面镜与第一光栅之间时，凹面镜的入射光从第二光栅的边缘外侧通过，例如从其上方1-2mm处，并经凹面镜反射后达到第二光栅。

[0089] 并且，所述凹面镜的曲率中心与入射光线入射第一光栅的入射点邻近地设置，即所述凹面镜的曲率中心与第一光栅的入射点的距离较小而近乎于重合。对于球面镜而言，球心(即曲率中心)发出的光线必然汇聚于球心；该展宽器是基于把不同波长在空间上引入不同的路程而实现展宽的目的，经光栅衍射而发散的光线经凹面镜来反射汇聚，凹面镜的曲率中心与第一光栅的入射点相近乎重合可以使得汇聚效果最佳，邻近设置时能接近于上述效果又不影响光路的布置。

[0090] 在另一些实施例中，所述激光脉冲展宽器还包括入出光组件，入出光组件包括格兰棱镜、法拉第旋光器与半波片。

[0091] 格兰棱镜用于将展宽之后的激光脉冲的选偏和导出，法拉第旋光器和半波片组合起来形成偏振器件以用于改变出射激光的偏振态。振荡器输出的偏振(例如P偏振)飞秒激光脉冲透射格兰棱镜，依次经过法拉第旋光器和半波片后仍为原偏振态光(即P偏振光)，经展宽组件展宽之后的原偏振态光依次经过半波片和法拉第旋光器改变偏振态(即变为S偏振)，改变偏振态后的激光脉冲在格兰棱镜处被反射，从而使得展宽前后的激光脉冲在空间上将被分开，不在初始输入格兰棱镜的方向导出。

[0092] 先将入射光线调整为P偏振光，导入格兰棱镜通过，进入法拉第旋光器旋光，并经半波片对偏振态进行调整，形成P偏振光，由半波片出射的光线(P偏振光)再导入第一光栅；展宽后由第一光栅出射的光线依次经半波片、法拉第旋光器，形成S偏振光，并由格兰棱镜对S偏振光反射导出。使得导入格兰棱镜的光线方向与展宽后经格兰棱镜出射的光线方向不同，从而可以使得该展宽器的入射光与反射光的位置不同，便于导入后续的放大器。

[0093] 在另一些实施例中，所述激光脉冲展宽器还包括第三镜片，第三镜片设置于半波片与第一光栅之间，其用于将待展宽的激光脉冲调整方向导入透射式光栅展宽器，优选以利特罗角导入透射式光栅展宽器，以调节光传播路径；第三镜片优选平面反射镜，其反射光以允许入出光组件与展宽组件错位设置而减小该展宽器的整体体积。

[0094] 一种激光脉冲的展宽器，其是基于透射光栅的展宽器。该展宽器包括用于对激光脉冲(即光、光线)在时域上进行展宽的展宽组件，展宽组件进一步包括光栅组件与反射镜组件。

[0095] 光栅组件包括第一光栅5与第二光栅7，第一光栅5与第二光栅7间隔地设置以对光进行展宽，反射镜组件包括用于反射光线的凹面镜6(凹面反射镜)与第一平面反射镜8。

[0096] 所述第一光栅5，用于将待展宽的激光脉冲(即入射第一光栅5的激光脉冲)的不同波段成分按照衍射角不同而分散开来，为提高衍射效率，其通常以使得入射光线按其中心波长的利特罗角入射的方式放置。所述第二光栅7，设置于第一光栅5和凹面镜6之间，且不位于同一水平面上；例如，其高度稍低于第一光栅5的衍射线所在水平面；优选地，低于该水平线1～3mm，最优选地，低于该水平线2mm；从而使得光线在由第一光栅5向凹面镜6传播时是从第二光栅7的边缘外传播的而非经过第二光栅7。并且，调节凹面镜6的倾斜角度，优选为俯仰角度，使得经过凹面镜6反射的汇聚光线被第二光栅7接收并准直。由于不同衍射角引起的空间传输距离不同，使得不同波段成分的光线在时间上产生延迟，从而使得较小时间量级的激光脉冲，例如飞秒量级，在时域上被展宽。光斑在第二光栅7上的位置应低于第

二光栅上边沿1～3mm,最优选地,低于第二光栅上边沿2mm,以避免切光。

[0097] 较佳地,第二光栅7的刻线密度与第一光栅5的刻线密度相同,并且其与第一光栅5平行放置,与第一光栅5的垂直距离依设计的展宽量而定;一般来说,展宽量与光栅对距离L成正比,距离L为两光栅间的垂直距离,如图1所示。第二光栅7被安装于另一可进行二维平移的固定台上,纵向调节可根据需要对所得到的展宽量进行调节,横向调节则可使得长条光斑总是在第二光栅7上,而因越过其边缘而发生切光,即避免切光。

[0098] 所述凹面镜6的反射曲面的曲率中心设置于第一光栅上的入射点附近,从而将光栅衍射开来的弥散光斑汇聚于第一光栅的入射点附近。此时,凹面镜6曲率半径即可认为是凹面镜6到第一光栅5之间的距离,因此凹面镜6的曲率半径的选择仅取决于两光栅对之间距离。

[0099] 此外,为防止切光,凹面镜6的口径应大于经过第一光栅衍射得到的长条光斑的尺寸,以避免有光从其边缘漏出。在另一些情况下,凹面镜6被安装在可平移的固定台上,从而可以在实际应用时通过调节该固定台的位置而确保凹面镜6的曲率中心位于第一光栅5的入射点附近。

[0100] 所述第一平面反射镜8,用于利用光路的可逆性将经第二光栅7准直的光线原路返回,再一次通过展宽组件的相关部件,并依次经过半波片和法拉第旋光器的作用而改变光的偏振态,使得经展宽后的激光脉冲在格兰棱镜上沿另一路径导出,例如由P偏振转成S偏振并由格兰棱镜对S偏振光反射导出,从而实现该展宽器光导入与光导出的分离。此外,第一平面反射镜8的尺寸也应大于长条光斑的尺寸,并被安装在另一可平移的固定台上,从而可以根据实际需要调节第一平面反射镜8位置以使其位于凹面镜6的焦平面上,从而可以按1:-1成像,避免光线迅速发散。

[0101] 展宽时,入射光经第一光栅5衍射后达到凹面6镜,经凹面镜6反射后至第二光栅7被其衍射而达到第一平面反射镜8;因第一平面反射镜8是与第二光栅的出射光相垂直地设置的,其反射光使其反向传播,依次经第二光栅7、凹面镜6及第一光栅5后导出,从而完成上述对于激光脉冲的展宽过程。

[0102] 在该展宽器的展宽过程中,光是按以下路径及方式进行传播的:初始入射>>第一光栅5(衍射)>>凹面镜6(反射、汇聚光)>>第二光栅7(衍射)>>第一平面反射镜8(反射光)>>第二光栅7(衍射)>>凹面镜6(反射、汇聚光)>>第一光栅5(衍射)>>展宽出射。

[0103] 在另一些实施例中,所述凹面镜6倾斜地设置,以使其入射光与反射光不重合,使得反射光被第二光栅接收并衍射;对于倾斜的方向是不限定的,其可以是凹面镜6绕其旋转轴(原则上来说,任何不过曲率中心的旋转轴即可)在任意一个方向上旋转适当角度后而形成的。例如,如图2所示,凹面镜6绕其旋转轴旋转一定角度,从而使凹面镜6向下倾斜地设置,此时入射光是水平方向上,而出射光则是向下的。

[0104] 如此,就可以将第二光栅7设置于第一光栅5与凹面镜6之间,但它们并不在同一水平面内;以图2为例,第一光栅5与凹面镜6基本沿同一水平面设置,而第二光栅7与第一平面反射镜8则设置于其下方,并使得它们的位置满足上述光传播路径要求。当然,这是示例性的,实际上凹面镜6的倾斜方向是不局限的,只要确保其入射光与反射光不重合即可,其可以是向上或向下旋转以发生倾斜。

[0105] 该展宽器的展宽幅度,主要取决于第一光栅5与第二光栅7的刻线密度,以及两光

栅之间的垂直距离。对于凹面镜6的倾斜角度而言，其倾斜角越大，同等条件下第二光栅7离凹面镜6的垂直距离就可以越小，这有利于对展宽器的展宽幅度进行调整。因此，可以根据展宽器的实际展宽需要，对第一光栅5与第二光栅7的刻线密度，以及第一光栅5与第二光栅7之间的垂直距离进行设置。设置凹面镜6时，除倾斜角度外，其凹面镜6的曲率半径也是一个重要指标；显然，凹面镜6的曲率半径越大，两光栅之间的垂直距离也愈大，从而展宽器所能达到的最大展宽量也愈大。

[0106] 在另一些情况下，根据上述任一实施例所述展宽器，还包括入出光组件，入出光组件包括格兰棱镜、法拉第旋光器及半波片。展宽前，入射光为P偏振光，其通过格兰棱镜后进入法拉第旋光器旋光，再经半波片对偏振态进行调整而形成P偏振光，再入射第一光栅；展宽后，第一光栅的出射光依次经半波片、法拉第旋光器，形成S偏振光，再由格兰棱镜对其反射后出射，以使得入射格兰棱镜的光方向与展宽后经格兰棱镜出射的光方向不同。

[0107] 格兰棱镜用于将展宽之后的激光脉冲的选偏和导出，法拉第旋光器和半波片，组合起来用于改变出射激光的偏振态；振荡器输出的偏振(例如P偏振)飞秒激光脉冲透射格兰棱镜，依次经过法拉第旋光器和半波片后仍为原偏振态光(即P偏振光)，经展宽组件展宽之后的原偏振态光依次经过半波片和法拉第旋光器改变偏振态(即变为S偏振)，改变偏振态后的激光脉冲在格兰棱镜处反射，从而使得展宽前后的激光脉冲在空间上将被分开，不由初始输入格兰棱镜的方向导出。

[0108] 在另一些情况下，根据上述任一实施例所述展宽器，还包括第二平面反射镜，其设置于入出光组件与第一光栅之间，以反射光线并允许折叠入出光组件与展宽组件。第二平面反射镜用于将待展宽的激光脉冲调整方向导入透射式光栅展宽器，优选以利特罗角导入透射式光栅展宽器，

[0109] 在另一些情况下，根据上述任一实施例所述展宽器，第一光栅与第二光栅的刻线竖直地设置，凹面镜向上或向下倾斜地设置，第一平面反射镜设置于凹面镜的焦平面上。

[0110] 在另一些情况下，根据上述任一实施例所述展宽器，所述第一光栅与第二光栅相互平行地设置，第一光栅与第二光栅的刻线密度相同。

[0111] 在另一些情况下，根据上述任一实施例所述展宽器，凹面镜与第一平面反射镜更宽。

[0112] 在另一些情况下，根据上述任一实施例所述展宽器，入射光为P偏振的。振荡器输出的P偏振飞秒激光脉冲透射格兰棱镜，依次经过法拉第旋光器和半波片后仍为P偏振光。展宽之后的P偏振光依次经过半波片和法拉第旋光器变成S偏振，在格兰棱镜处反射，展宽前后的激光脉冲在空间上将被分开。

[0113] 根据上述任一实施例所述的展宽器，其调试方法如下：

[0114] 从振荡器输出的P偏振的飞秒激光脉冲经反射镜反射后入射格兰棱镜1，光先通过格兰棱镜1，然后依次经过法拉第旋光器2和半波片3，在半波片3和第二平面反射镜4之间暂时插入另一格兰棱镜；调节半波片3的角度，并探测所述另一格兰棱镜的反射光的光强，当光强最弱的时候(理想状况应为完全消光，实际中格兰棱镜消光比有限，故取最弱时)，入射的P偏振光经过法拉第旋光器2和半波片3后仍为P偏振光；固定半波片角度，去掉后插入于半波片3和第二平面反射镜4之间的另一格兰棱镜。

[0115] 展宽器的设计高度为78mm，将入射光线的光高调整为与展宽器的设计高度相同，

即78mm，将所述P偏振光经第二平面反射镜4反射后导入展宽组件；调节第二平面反射镜4的俯仰使得进入展宽组件的光线与用于承载展宽组件的光学平台平行。

[0116] 用标线仪将所述第一光栅5和第二光栅7校准，两光栅表面垂直于光学平台，两光栅刻线方向垂直于光学平台。所述第一光栅5和第二光栅7均采用刻线密度为1400线/mm的透射光栅，其对应800nm波长的利特罗角为34.06°，调整第一光栅5的角度至使得入射光线以其中心波长的利特罗角入射并固定。

[0117] 所述凹面镜6安装于可平移的固定台上，调整凹面镜6的中心高度为78mm(相对于光学平台)，选用反射曲面的曲率半径为400mm、口径为75mm的凹面镜作为凹面镜6，调节凹面镜6位置及俯仰角，即使得凹面镜6的曲率中心先与光线在第一光栅5的入射点重合，再俯仰旋转一定角度。

[0118] 所述第二光栅7安装于在另一可平移的固定台上，调节第二光栅7的高度使其上边沿低于经第一光栅5的衍射光线1～3mm，优选地为2mm；调节第二光栅7使其与第一光栅5平行，通过调节该可平移的固定台使得光栅对(第一光栅5与第二光栅7)之间的距离为220mm。

[0119] 在上述展宽器结构参数下，由理论模拟得到在中心波长800nm处的二阶色散为$1.375\times10^{6}fs^{2}$、三阶色散为$-3.353\times10^{6}fs^{3}$，其可将20fs的脉冲展宽到190ps，展宽器色散曲线如图4所示。

[0120] 调节所述凹面镜6的俯仰角度，使得反射光处于第二光栅7距离上边沿2mm处的位置，光线被第二光栅7接收并准直。将第一平面反射镜8安装在另一平移的固定台上，并放置其在准直光方向，调节所述第一平面反射镜8的姿态使其与经第二光栅7准直的出射光相垂直，从而第一平面反射镜8可以使得光线原路返回并再次通过展宽组件。调节用于安装第一平面反射镜8的固定台的位置，使得第一平面反射镜8放置于凹面镜6的焦平面上。

[0121] 为此，可以先使凹面镜的曲率中心o与第一光栅的入射点51相重合，再将凹面镜略旋转以倾斜，使其入射光与反射光不重合，反射光被第二光栅7接收并衍射；例如，如图2所示，凹面镜绕其旋转轴向下适当角度，其球心亦向下偏移了相应的距离至o’位置，从而实现倾斜设置以及球心与入射点相邻设置的目的。对于曲率中心o的偏移量，并无特殊要求，一般来来说只需要确保光线从第二光栅7的上边缘或下边缘外2mm左右通过即可。

[0122] 此时，在格兰棱镜1反射方向上可以输出展宽后的激光脉冲，图6为用光谱仪所测得的经该展宽器展宽的激光脉冲光谱。

[0123] 一种激光脉冲的展宽方法，其包括：

[0124] 1)将激光脉冲导入第一光栅5，经第一光栅5衍射后直接入射凹面镜6，光线是由第二光栅的边缘外传播而不经过第二光栅7的。

[0125] 2)凹面镜6将入射光反射汇聚至第二光栅7进行第二次衍射，衍射后垂直入射第一平面反射镜8。

[0126] 3)第一平面反射镜8反射光沿与出射相反的方向重新入射第二光栅7进行第三次衍射，衍射后达到凹面镜6。

[0127] 4)凹面镜6将光反射汇聚后直接达到第一光栅5进行第四次衍射后出射，形成展宽后的激光脉冲；光线是由第二光栅7的边缘外传播而不经过第二光栅7的。

[0128] 在另一些情况下，根据上述任一实施例所述展宽方法，所述凹面镜倾斜地设置以使其入射光与反射光不重合，反射光被第二光栅接收并衍射。

[0129] 在另一些情况下，根据上述任一实施例所述展宽方法，还包括入射导入和出射导出的步骤。

[0130] 入射导入的步骤包括：使入射P偏振光透射格兰棱镜1，再到法拉第旋光器2旋光，最后经半波片3调整偏振态，形成P偏振光后入射第一光栅5。

[0131] 出射导出的步骤包括：将由第一光栅5第四次衍射后的出射光依次经半波片调整偏振态、法拉第旋光器2旋光，形成S偏振光，再由格兰棱镜1反射后出射。入射导入格兰棱镜的光方向与出射导出格兰棱镜的光方向不同。

[0132] 在另一些情况下，根据上述任一实施例所述展宽方法，将经半波片3调整偏振态后的光线先经反射镜4反射，再导入第一光栅5，从而缩小展宽器体积。

[0133] 在另一些情况下，根据上述任一实施例所述展宽方法，第一光栅与第二光栅的刻线竖直地设置，凹面镜向上或向下倾斜地设置，第一平面反射镜设置于凹面镜的焦平面上。

[0134] 至此，本领域技术人员应已充分理解本申请的技术方案，并能认识到虽然本文已详尽示出和描述了本发明的示例性实施例，但是，在不脱离本发明精神和范围的情况下，仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此，本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

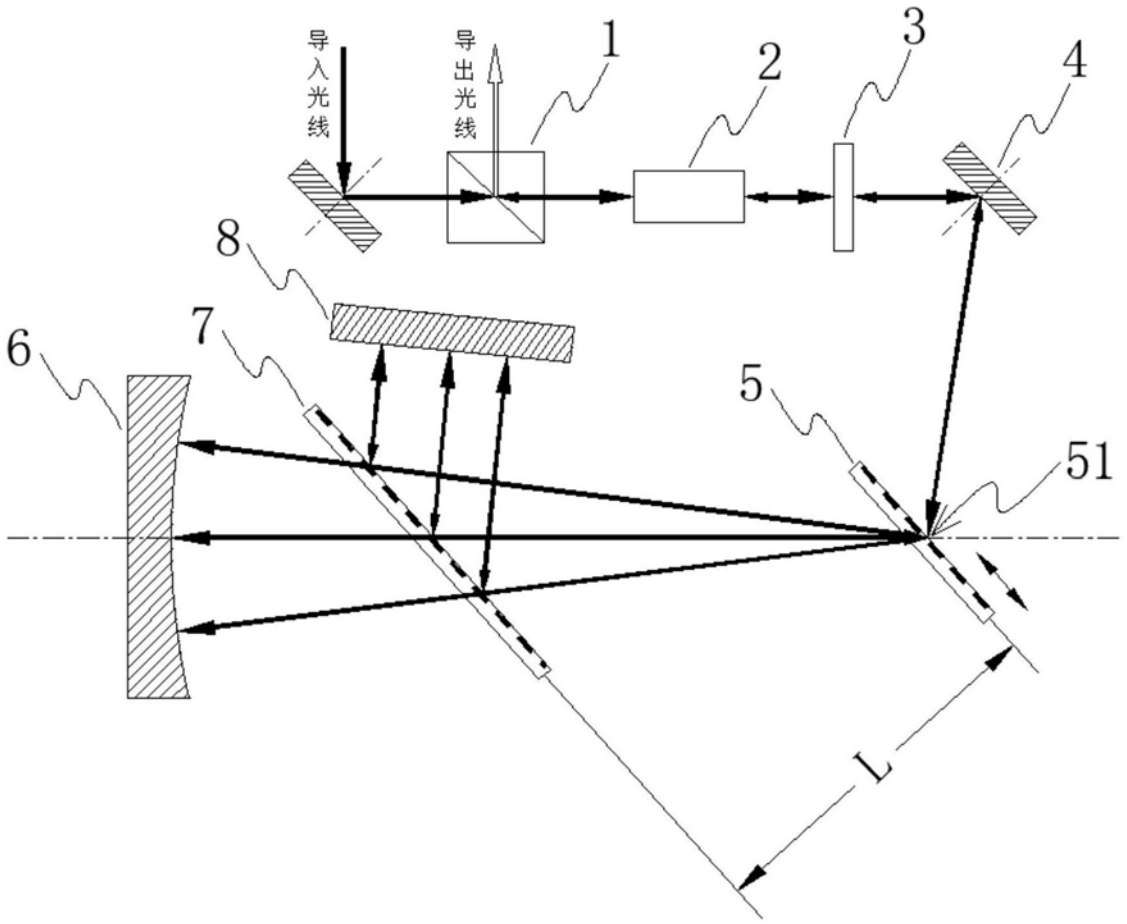


图1

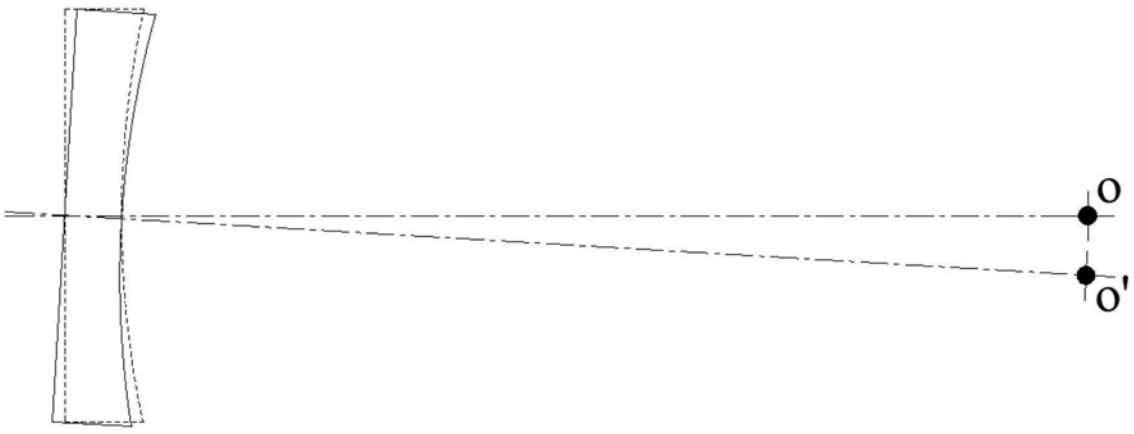


图2

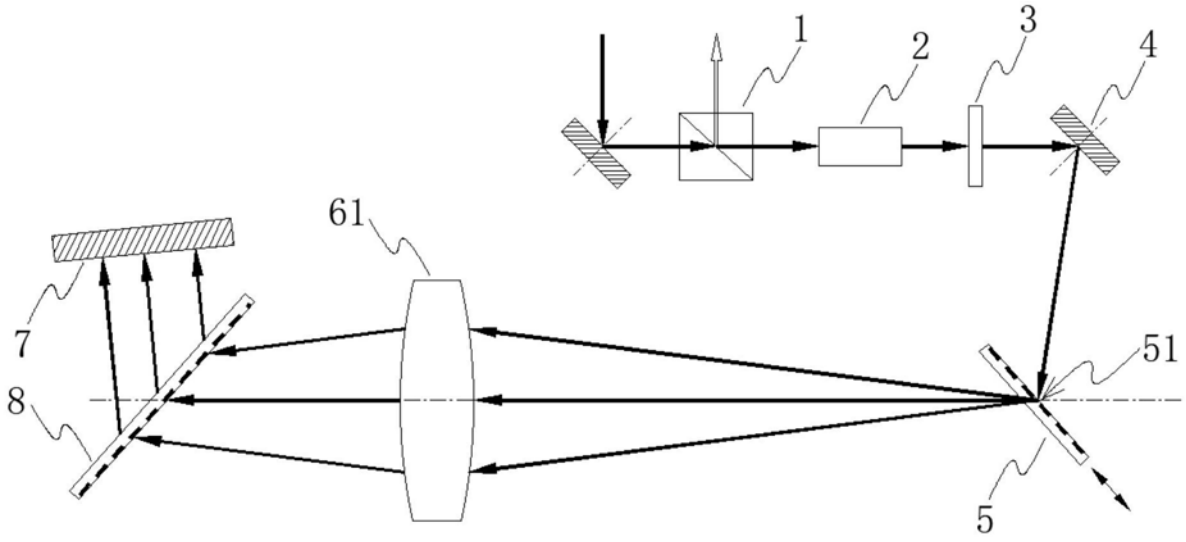

1
2
3
4
61
7
8
51
5

图3

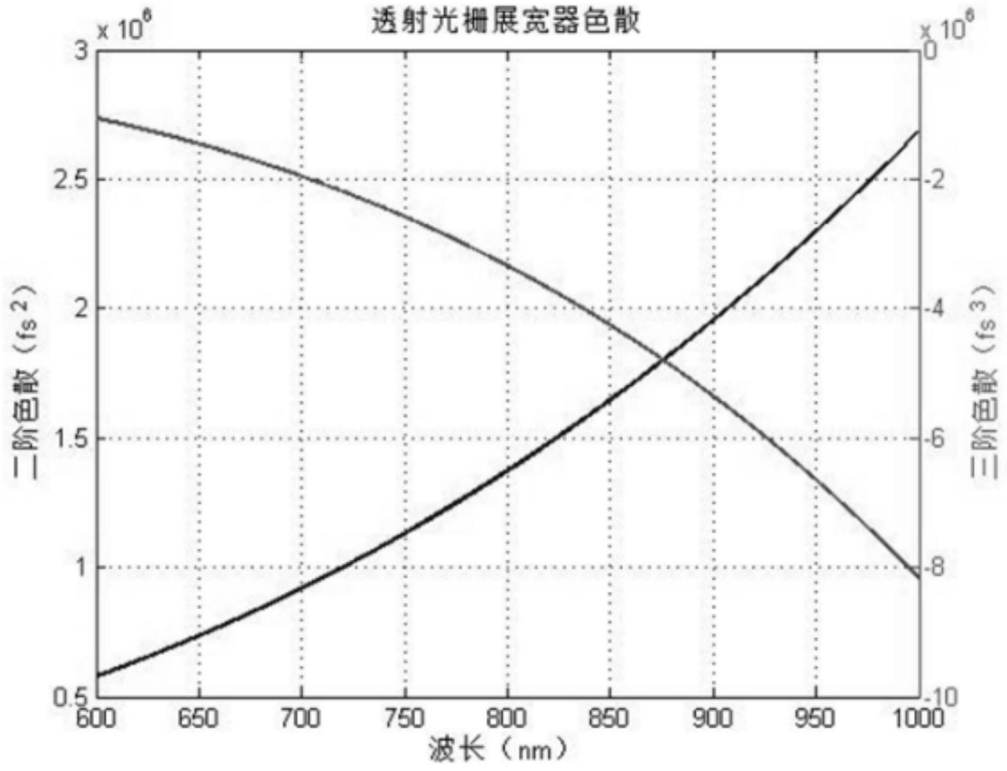

透射光栅展宽器色散
x 10^6
x 10^6
二阶色散（fs^2）
三阶色散（fs^3）
波长（nm）
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-2
-4
-6
-8
-10
600
650
700
750
800
850
900
950
1000

图4

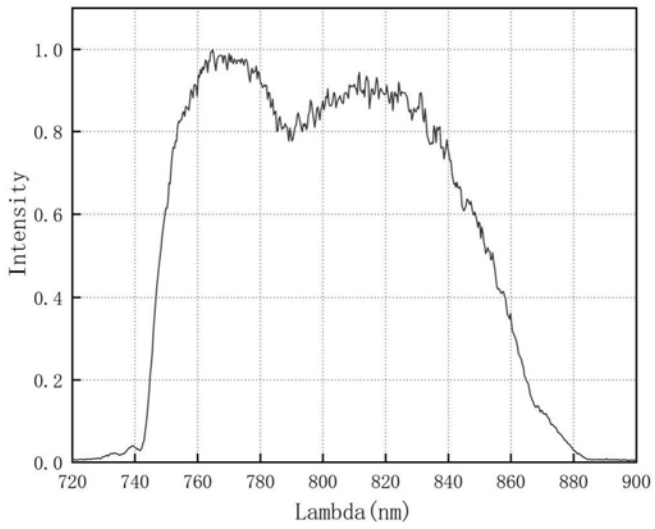

Intensity
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
720
740
760
780
800
820
840
860
880
900
Lambda (nm)

图5

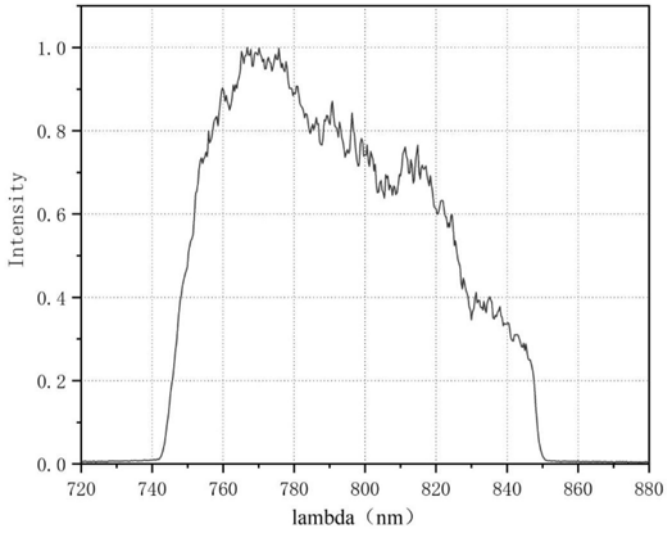

Intensity
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
720
740
760
780
800
820
840
860
880
lambda（nm）

图6