



# (12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 206904677 U

(45)授权公告日 2018.01.19

(21)申请号 201720676749.7

F21V 14/00(2006.01)

(22)申请日 2017.06.12

F21V 23/00(2015.01)

(73)专利权人 中国科学院西安光学精密机械研究所

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

地址 710119 陕西省西安市高新区新型工业园信息大道17号

(72)发明人 李晶 李坤 薛勋 郭毅 赵建科  
刘尚阔 昌明 曹昆 王争锋  
张洁 胡丹丹

(74)专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司 61211

代理人 陈广民

(51)Int. Cl.

F21S 2/00(2016.01)

F21V 13/00(2006.01)

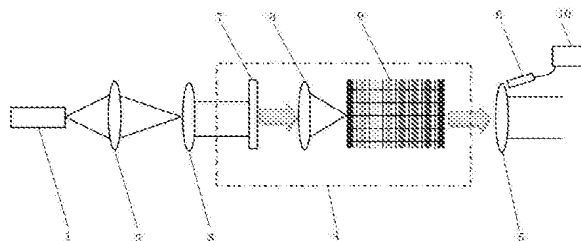
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

## (54)实用新型名称

光谱分布与亮度可任意调谐的光源

## (57)摘要

本实用新型属于光学照明领域,具体涉及一种光谱分布与亮度可任意调谐的光源。该光源包括沿光路方向依次排布的复色线光源、准直镜、调谐系统、匀光系统和监测调控系统;调谐系统包括沿光路方向依次排布的分光元件和数字微镜元件;匀光系统是由散射体或者非成像光学系统构成的;监测调控系统包括光谱辐射度计和与光谱辐射度计相连的控制计算机,控制计算机与数字微镜元件相连。本实用新型通过控制数字微镜元件的子镜开闭状态可以实现对光谱分布和亮度的任意调整,操作简单高效,在空间、海洋、环境及工业视觉等领域,实验室星等模拟、彩色定标、相机辐射定标、光谱仪光谱定标等方面都有着广泛的应用前景。



1. 一种光谱分布与亮度可任意调谐的光源,其特征在于:包括沿光路方向依次排布的复色线光源、准直镜、调谐系统、匀光系统和监测调控系统;

所述调谐系统包括沿光路方向依次排布的分光元件和数字微镜元件;

所述匀光系统是由散射体或者非成像光学系统构成的;

所述监测调控系统包括光谱辐射度计和与光谱辐射度计相连的控制计算机,所述控制计算机与数字微镜元件相连。

2. 根据权利要求1所述的光谱分布与亮度可任意调谐的光源,其特征在于:所述复色线光源为复色连续光源,复色连续光源的出射光路上设置有柱面镜。

3. 根据权利要求1所述的光谱分布与亮度可任意调谐的光源,其特征在于:所述复色线光源为复色光光纤激光器,复色光光纤激光器的激光出射端与光纤线阵相连。

4. 根据权利要求1-3中任一所述的光谱分布与亮度可任意调谐的光源,其特征在于:所述分光元件为具有光焦度的反射式光栅或者折衍混合透镜。

5. 根据权利要求1-3中任一所述的光谱分布与亮度可任意调谐的光源,其特征在于:所述分光元件为光栅或者光栅与棱镜的组合,分光元件与数字微镜元件之间还设置有消色差镜。

6. 根据权利要求5所述的光谱分布与亮度可任意调谐的光源,其特征在于:当分光元件为光栅与棱镜的组合时,组合形式为棱镜-光栅或者棱镜-光栅-棱镜。

7. 根据权利要求6所述的光谱分布与亮度可任意调谐的光源,其特征在于:所述数字微镜元件的像素个数为 $N \times M$ ,其中 $N$ 为平行线光源方向的像素个数, $M$ 为垂直线光源方向的像素个数;

数字微镜元件的单个像素尺寸为 $p$ ,满足 $p \geq 2.44\lambda \frac{f}{D}$ 且 $p \geq f \frac{m\Delta\lambda}{d \cos\theta}$ ;其中,单个像素尺寸 $p$ 的单位是 $\mu\text{m}$ ; $\lambda$ 为波长,单位是 $\mu\text{m}$ ; $f$ 为消色差镜的焦距,单位是 $\text{mm}$ ; $D$ 为消色差镜的通光孔径尺寸,单位是 $\text{mm}$ ; $m$ 为光栅衍射级次,取值为 $0, \pm 1, \dots, \pm n$ ; $\Delta\lambda$ 为光谱分辨率,单位是 $\mu\text{m}$ ; $d$ 为光栅周期,单位是 $\text{mm}$ ; $\theta$ 为光栅衍射角度。

8. 根据权利要求7所述的光谱分布与亮度可任意调谐的光源,其特征在于:所述散射体为积分球或者毛玻璃,所述非成像光学系统为反射光杯、非球面系统或者自由曲面系统。

## 光谱分布与亮度可任意调谐的光源

### 技术领域

[0001] 本实用新型属于光学照明领域,具体涉及一种光谱分布与亮度可任意调谐的光源及光源调谐方法。

### 背景技术

[0002] 光源是发出光的物体,光是一种电磁波,按照电磁波波长的次序排列成谱,光谱区域的波长范围约从1mm到10nm,分类为红外线、可见光和紫外光。自然光源往往无法满足人们的使用要求,因此照明光源广泛应用于日常生活、实验室观察等领域。在日常生活中使用的照明光源常为各种可见光灯具,随着人们生活质量的提高,对于照明光源的要求也越来越高,往往分为暖复色光、正复色光和冷复色光,光源亮度调节通过可调电阻控制照明光源的功率来实现。在实验室领域内使用的照明光源往往要求更高,在特定应用领域需要在实验室中仿真特定光谱分布的照明光源,此外还需要精确光源的输出辐亮度。

[0003] 中国发明专利申请CN 101868085 A(公开日:2010年10月20日)公开了一种白光LED灯色温和光通连续调节的方法,该方法是针对白光LED灯通过两个UVLED芯片的发光强度调节来激发三基色荧光粉,通过三基色之间亮度比例的控制来实现色温和亮度连续可调。中国发明专利申请CN 101482232 A(公开日:2009年7月15日)公开了一种色温可调LED灯及其色温调节方法,该方法通过调节红绿蓝LED灯群各颜色的发光亮度实现色温和亮度的调整。中国发明专利申请CN 102404918 A(公开日:2012年4月4日)公开了一种LED色温调节系统及方法,该系统由微处理器、含两个驱动模块的恒流驱动单元和含两个不同色温的LED模块的LED发光单元组成。通过恒流驱动单元实现不同LED功率的调节,改变了单个LED发光的色温,通过配比实现最终的色温改变。以上光源调谐方法通过使用多个LED光源仅能实现色温的调节,而无法实现更加精细的光谱分布调节。

[0004] 中国发明专利申请CN 104378861 A(公开日:2015年2月25日)公开了一种色温可调黑体光源及其色温调节方法,该方法利用7路氙灯光源、4路卤钨灯光源,通过高斯型滤光片控制11路光源的谱线形式,满足不同色温下的普朗克公式计算得到的光谱分布。该方法的局限性在于仅实现了若干固定光谱形状的分布,而无法调节并获得指定的其他不满足普朗克公式的光谱输出。

### 实用新型内容

[0005] 为了解决现有的照明光源无法提供任意分布和亮度的指定光谱的技术问题,本实用新型提供了一种光谱分布与亮度可任意调谐的光源。

[0006] 本实用新型的技术解决方案是:一种光谱分布与亮度可任意调谐的光源,其特殊之处在于:包括沿光路方向依次排布的复色线光源、准直镜、调谐系统、匀光系统和监测调控系统;

[0007] 所述调谐系统包括沿光路方向依次排布的分光元件和数字微镜元件;

[0008] 所述匀光系统是由散射体或者非成像光学系统构成的;

[0009] 所述监测调控系统包括光谱辐射度计和与光谱辐射度计相连的控制计算机,所述控制计算机与数字微镜元件相连。

[0010] 进一步地,上述复色线光源为复色连续光源,复色连续光源的出射光路上设置有柱面镜。

[0011] 进一步地,上述复色线光源为复色光光纤激光器,复色光光纤激光器的激光出射端与光纤线阵相连。

[0012] 进一步地,上述分光元件为具有光焦度的反射式光栅或者折衍混合透镜,可以有效简化光谱与亮度调节系统。

[0013] 进一步地,上述分光元件为光栅或者光栅与棱镜的组合,分光元件与数字微镜元件之间还设置有消色差镜。光栅分光后的亮线位置为:

$$[0014] \quad d \sin \theta = m \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

[0015] 其中,d为光栅周期, $\theta$ 为光栅衍射角度,m为光栅衍射级次, $\lambda$ 为波长,通过选择不同的光栅周期可以调节不同波长单色光的衍射角度。

[0016] 分光元件分辨开两条波长相近的谱线本领(即分辨本领A)表示为:

$$[0017] \quad A = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = m N_1$$

[0018] 其中 $N_1$ 为光栅的总刻划痕数。由于划痕数一般为上千个,衍射级次使用的不高一般为1~3,A为对应波长范围附近的几千分之一,因此分光元件具有亚纳米级的光谱分辨本领。

[0019] 当分光元件为光栅与棱镜的组合时,组合形式为棱镜-光栅或者棱镜-光栅-棱镜。光栅与棱镜组合的形式可以拥有更好的色散线性,同时解决光栅视场较大存在“smile”的缺陷。

[0020] 分光元件分光后的光束通过消色差镜汇聚在数字微镜元件上,最终在数字微镜元件上波长相差 $\Delta \lambda$ 的两条谱线分开的距离(即线色散率 $d l / d \lambda$ )表示为:

$$[0021] \quad \frac{d l}{d \lambda} = f \frac{d \theta}{d \lambda} = f \frac{m}{d \cos \theta}$$

[0022] 线色散率本质是由光栅周期和消色差镜焦距决定,通过选取合适的参数,将线色散率与数字微镜元件的像素尺寸匹配。

[0023] 进一步地,上述数字微镜元件的像素个数为 $N \times M$ ,其中N为平行线光源方向的像素个数,M为垂直线光源方向的像素个数;

[0024] 数字微镜元件的单个像素尺寸为 $p$ ,满足 $p \geq 2.44 \lambda \frac{f}{D}$ 且 $p \geq f \frac{m \Delta \lambda}{d \cos \theta}$ ;其中,单个像素尺寸 $p$ 的单位是 $\mu\text{m}$ ; $\lambda$ 为波长,单位是 $\mu\text{m}$ ;f为消色差镜的焦距,单位是mm;D为消色差镜的通光孔径尺寸,单位是mm;m为光栅衍射级次,取值为0、 $\pm 1$ 、 $\dots$ 、 $\pm n$ ; $\Delta \lambda$ 为光谱分辨率,单位是 $\mu\text{m}$ ;d为光栅周期,单位是mm; $\theta$ 为光栅衍射角度。

[0025] 进一步地,上述散射体为积分球或者毛玻璃,所述非成像光学系统为反射光杯、非球面系统或者自由曲面系统。

[0026] 本实用新型还提供一种光谱分布与亮度可任意调谐的光源调谐方法,其特殊之处在于,包括以下步骤:

- [0027] 1) 将复色线光源发出的光束准直后输入分光元件,光谱范围为 $\lambda_a \sim \lambda_b$ ;
- [0028] 2) 分光元件将输入的准直复色光色散为不同方向的平行光束,相同方向平行光束的光谱带宽为分光元件的光谱分辨率;
- [0029] 3) 平行光束经过汇聚后形成不同视场的单波长线光源,投影在数字微镜元件上;数字微镜元件的像素个数为 $N \times M$ ,其中 $N$ 为平行线光源方向的像素个数, $M$ 为垂直线光源方向的像素个数;
- [0030] 4) 调节数字微镜元件的子镜开闭,从而实现入射光源的光谱分布和亮度的调谐;平行线光源方向的子镜开闭个数用于调节对应光谱范围的能量大小,光谱方向的子镜开闭个数用于调节输出光源中对应光谱在完整光谱曲线分布中的比例;
- [0031] 5) 控制计算机将波长 $\lambda_a \sim \lambda_b$ 之间的光谱间隔为 $\Delta \lambda$ 的若干个波长 $\lambda_i$ 的强度信息做归一化处理,获取每个波长对应的归一化系数 $\alpha_{\lambda_i}$ ,其中 $i=1,2,\dots,M$ ;控制计算机控制数字微镜元件的每一个平行线光源方向的子镜开启 $N \times \alpha_{\lambda_i}$ 个;当 $N \times \alpha_{\lambda_i}$ 为小数时,取四舍五入的整数值;
- [0032] 6) 数字微镜元件将指定光谱分布的光束经匀光系统输出;
- [0033] 7) 光谱辐射度计实时监测匀光系统的输出光,并将采集到的输出光谱辐亮度信息传输至控制计算机;
- [0034] 8) 控制计算机计算输出光谱总辐亮度 $L'$ ,并根据实际待拟合的总辐亮度 $L_{待}$ 计算得到调整系数 $k=L_{待}/L'$ ;控制计算机控制数字微镜元件的每一个平行线光源方向的子镜开启 $k \times N \times \alpha_{\lambda_i}$ 个;当 $k \times N \times \alpha_{\lambda_i}$ 为小数时,取四舍五入的整数值;
- [0035] 9) 数字微镜元件将指定光谱分布和光谱辐亮度的光束经匀光系统输出。
- [0036] 进一步地,上述光源调谐方法的光谱分布调谐分辨率为 $\Delta \lambda$ :

$$[0037] \quad \Delta \lambda = \frac{|\lambda_a - \lambda_b|}{M}$$

[0038] 光谱亮度调谐分辨率为 $\Delta L$ :

$$[0039] \quad \Delta L = \sum_{\lambda=\lambda_a \sim \lambda_b} \frac{L'_\lambda}{N}$$

[0040] 其中 $L'_\lambda$ 为入射到数字微镜元件上波长为 $\lambda$ 的单色光辐亮度。

[0041] 本实用新型的有益效果在于:本实用新型通过控制数字微镜元件的子镜开闭状态可以实现对光谱分布和亮度的任意调整,操作简单高效,在空间、海洋、环境及工业视觉等领域,实验室星等模拟、彩色定标、相机辐射定标、光谱仪光谱定标等方面都有着广泛的应用前景。

## 附图说明

[0042] 图1为本实用新型光谱分布与亮度可任意调谐的光源较佳实施例原理示意图。

[0043] 其中,附图标记为:1-白光光源,2-柱面镜,3-准直镜,4-调谐系统,5-匀光系统,6-光谱辐射度计,7-反射式全息光栅,8-消色差镜,9-数字微镜元件,10-控制计算机。

## 具体实施方式

[0044] 本实用新型提供了一种光谱分布与亮度可任意调谐的光源,如图1所示,其较佳实施例的结构包括沿光路方向依次排布的白光光源1、柱面镜2、准直镜3、调谐系统4和匀光系统5,匀光系统5的光路输出端设置有光谱辐射度计6,光谱辐射度计6与控制计算机10相连。

[0045] 白光光源1输出近似点光源,光谱范围为350nm~750nm,输出辐亮度为 $100\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$ ,经过柱面镜2聚焦成为线光源(列方向),被准直镜3准直后进入调谐系统4,光束被调谐系统4进行光谱分布与亮度的调制,然后进入匀光系统5,通过光谱辐射度计6的实时监测和控制计算机10的调控,最终输出指定光谱分布和亮度的均匀光源。

[0046] 调谐系统4由反射式全息光栅7、消色差镜8和数字微镜元件9组成,光谱调节范围为350nm~750nm,反射式全息光栅7将输入的准直光色散为不同方向的平行光束,平行光束的光谱带宽为反射式全息光栅7光谱分辨率,经过消色差镜8汇聚后,形成不同视场的单波长线光源,投影在数字微镜元件9上。通过数字微镜元件9的控制电路,调节数字微镜元件9每个子镜的开闭,通过子镜阵列中每列中子镜开闭个数调节该光谱范围的能量大小,通过子镜阵列中每行子镜开闭个数调节输出光源中对应光谱在完整光谱曲线分布中的比例,由此实现对入射光源进行光谱分布和亮度的调谐。

[0047] 反射式全息光栅7周期为1800线/mm,口径为 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ ,工作波长范围覆盖200nm~1100nm,经其分光后的亮线位置为:

$$[0048] \quad d(\sin\theta_i + \sin\theta_m) = m\lambda \quad (m=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

[0049] 其中d为光栅周期, $\theta_i$ 为入射光栅角度, $\theta_m$ 为反射式全息光栅7的衍射角度,m为光栅衍射级次, $\lambda$ 为波长,通过选择不同的光栅周期可以调节不同波长单色光的衍射角度。反射式全息光栅7在650nm处的第一级次衍射光的光谱分辨可以达到 $\Delta\lambda=0.014\text{nm}$ 。

[0050] 数字微镜元件9有 $1000 \times 1000$ 个像素,单个像素尺寸为 $6\mu\text{m}$ ,则受到数字微镜元件9限制最小光谱分辨率为0.4nm,波长相差0.4nm的谱线分开距离应为数字微镜元件9单个像素尺寸的1~2倍之间,对于一级衍射光来说,选择的消色差镜8焦距为9mm。数字微镜元件9的像素尺寸大于消色差镜8爱里斑直径尺寸,则消色差镜8口径为2.4mm。

[0051] 调谐系统4最终的亮度调节分辨率受到数字微镜元件9像素个数1000的限制,能调节的单波长辐亮度的最小间隔为:

$$[0052] \quad \Delta L = \sum_{\lambda=350 \sim 750} \frac{L'_\lambda}{N} = \sum_{\lambda=\lambda_1 \sim \lambda_2} \frac{L_\lambda \beta_{\text{柱}\lambda} \beta_{\text{准}\lambda} \beta_{\text{分}\lambda} \beta_{\text{消}\lambda}}{1000}$$

[0053] 其中 $L'_\lambda$ 为入射到数字微镜元件9上波长为 $\lambda$ 的单色光辐亮度, $L_\lambda$ 为白光光源1发出的波长为 $\lambda$ 的单色光辐亮度, $\beta_{\text{柱}\lambda}$ 、 $\beta_{\text{准}\lambda}$ 、 $\beta_{\text{分}\lambda}$ 、 $\beta_{\text{消}\lambda}$ 分别为柱面镜2、准直镜3、反射式全息光栅7和消色差镜8在波长 $\lambda$ 处的透射率或反射率。

[0054] 匀光系统5为自由曲面系统,输出光束的面均匀性与角均匀性皆优于99%。光谱辐射度计6设在匀光系统5后实时采集系统输出的光谱辐亮度,将结果反馈给控制计算机10。控制计算机10通过获取待拟合的指定光谱分布,以及光谱辐射度计6采集的光谱辐亮度信息计算系统输出总辐亮度,由此控制数字微镜元件9各子镜的开闭。

[0055] 调谐系统4输出指定光谱分布,通过将波长350nm~750nm之间光谱间隔0.4nm的若干个波长 $\lambda_i$  ( $i=1, 2, \dots, 1000$ ) 的强度信息做归一化处理,获取每个波长对应的归一化系数 $\alpha_{\lambda_i}$ ,则每一个平行线光源方向的数字微镜元件列控制子孔径开启 $1000 \times \alpha_{\lambda_i}$ 个,并做四舍五入取整。

[0056] 光谱与亮度调节系统4的输出辐亮度调节,通过光谱辐射度计6获取系统输出的光谱辐亮度,由控制计算机10计算输出总辐亮度 $L'$ ,与实际待拟合的总辐亮度 $L_{\text{待}}$ 存在一个系数关系:

$$[0057] \quad k = \frac{L_{\text{待}}}{L'}$$

[0058] 通过计算控制软件调整每一个平行线光源方向的数字微镜元件9列控制子镜开启 $1000 \times k \times \alpha_{\lambda i}$ 个,并做四舍五入取整。最终输出指定光谱与辐亮度的均匀照明光源。

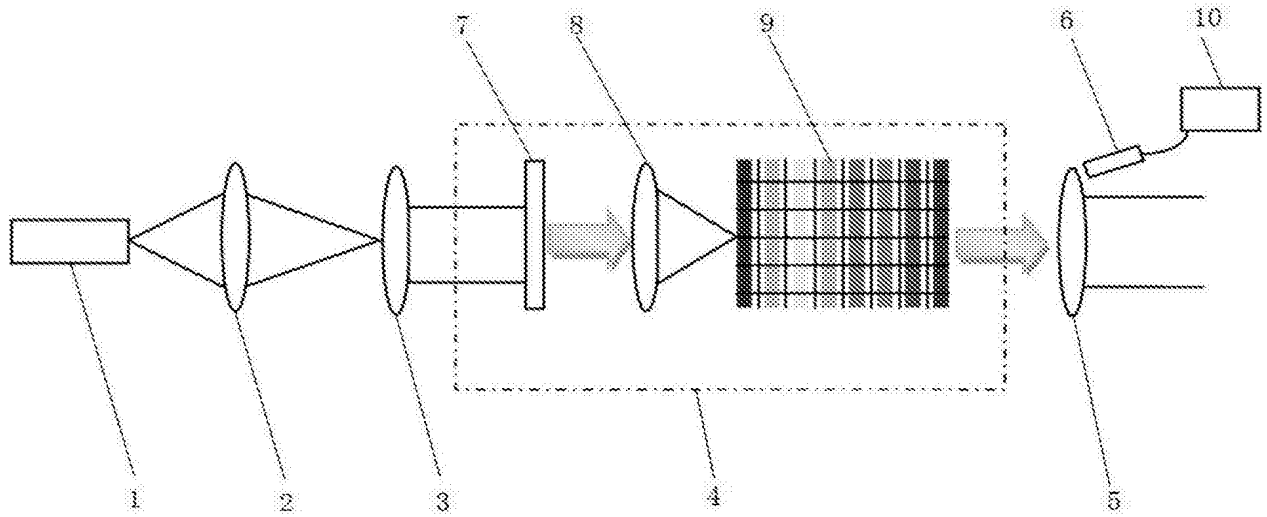


图1