

一种空气电离显示装置

相关申请的交叉引用

本申请要求安徽省东超科技有限公司于 2020 年 1 月 16 日提交的名称为“一种空气电离显示装置”的中国专利申请号“2020100579787”和“2020201251671”、“2020100482688”和“2020200996263”以及“2020100493682”和“2020201251008”的优先权。

技术领域

本公开涉及空气电离技术领域，具体而言，涉及一种空气电离显示装置。

10

背景技术

空气电离成像系统在成像过程中，利用透镜对光束聚合并并在透镜的焦点处电离空气形成光点，由于形成空气电离所需脉冲单位面积内的光功率阈值较高，则在每个电离点处由空间光调制器调制光场形成的聚焦点个数受到了脉冲功率的限制，即显示画面的像素受制于脉冲功率的大小，若要提高显示画面的像素，则需进一步提高光源输出脉冲功率，而现有技术难以大幅度提升光源输出脉冲功率，导致了空气电离系统显示画面的像素难以提高。

发明内容

本公开旨在至少解决现有技术中存在的技术问题之一。为此，本公开提出了一种空气电离显示装置，所述空气电离显示装置通过脉冲光源模块提供多路光束，多路光束提升能量，即提高光源输出脉冲功率，从而可以提高空气电离显示画面的像素。

本公开实施例的空气电离显示装置包括：脉冲光源模块，用于产生同步的多个脉冲光束；光场调控模块，多个所述脉冲光束投射到所述光场调控模块，所述光场调控模块对所述脉冲光束进行调整聚合并并在显示区域使空气电离形成全息实像。

25 根据本公开实施例的空气电离显示装置，通过脉冲光源模块提供多个脉冲光束，可以提升光源能量，即提高光源输出脉冲功率，则每个电离点处经过光场调控模块调整聚合形成的聚焦点个数增加，从而提高了显示画面的像素，增加了显示画面的清晰度。

在一些实施例中，所述脉冲光源模块包括：多个脉冲光源，用于分别产生脉冲光束；第一合束镜，多个所述脉冲光源产生的光束均投射在所述第一合束镜上合并成一条光束，合并后的光束投射到所述光场调控模块。

30 在一些实施例中，所述空气电离显示装置还包括：第一重复频率调节组件，所述第一重复频率调节组件设在所述脉冲光源与所述第一合束镜之间，用于调整所述多个脉冲光源输出脉冲的重复频率。

在一些实施例中，所述第一重复频率调节组件包括：多个第一光电探测器，多个所述第一光电

探测器一一对应地设在多个所述脉冲光源与所述第一合束镜之间,用于探测所述脉冲光源的重复频率;第一频率参考源,所述第一频率参考源用于提供频率参考标准;第一伺服控制器,所述第一伺服控制器信号连接所述第一光电探测器、所述第一频率参考源与所述脉冲光源,用于根据所述第一光电探测器接收到的脉冲重复频率信号与所述第一频率参考源的参考频率控制所述脉冲光源输出脉冲的重复频率。

在一些实施例中,所述脉冲光源与所述第一合束镜之间设有第一分光片,多个所述第一分光片一一对应地将多个所述脉冲光源的部分光束反射到多个所述第一光电探测器上。

在一些实施例中,所述第一分光片的透过率为 $A1$, $99\% \leq A1 \leq 99.5\%$;所述第一分光片的反射率为 $A2$, $0.5\% \leq A2 \leq 1\%$ 。

10 在一些实施例中,所述空气电离显示装置还包括:第一脉冲时间延迟监测器,所述第一脉冲时间延迟监测器设在所述第一合束镜与所述光场调控模块之间用于监测所述第一合束镜射出光束的脉冲延迟信号;至少一个第一时间延迟线,所述第一时间延迟线设在所述脉冲光源与所述第一合束镜之间并与所述第一脉冲时间延迟监测器信号相连,用于根据所述第一脉冲时间延迟监测器的反馈信息补偿所述脉冲光源输出光束的脉冲时延。

15 在一些实施例中,所述第一时间延迟线的数量比所述脉冲光源的数量少一个,所述第一时间延迟线与数量相同的所述脉冲光源一一对应。

在一些实施例中,所述第一合束镜与所述光场调控组件之间设有第二分光片,所述第二分光片将所述第一合束镜的射出光束的部分光反射到所述第一脉冲时间延迟监测器上。

20 在一些实施例中,所述第二分光片的透过率为 $A3$, $98\% \leq A3 \leq 99.5\%$,所述第二分光片的反射率为 $A4$, $0.5\% \leq A4 \leq 2\%$ 。

在一些实施例中,所述第一合束镜为多个,所述第一合束镜的数量比所述脉冲光源的数量少一个,多个所述第一合束镜沿其中一个所述脉冲光源的射出光束间隔开设置,其余所述脉冲光源的射出光束一一对应地投射在多个所述第一合束镜上,并将多个所述脉冲光源的射出光束合并成一条光束。

25 在一些实施例中,所述空气电离显示装置还包括:多个第一反射镜,所述第一反射镜设在所述脉冲光源与所述第一合束镜之间,用于将所述脉冲光束的透射光束反射到所述第一合束镜上。

在一些实施例中,所述第一反射镜的数量比所述脉冲光源的数量少一个。

在一些实施例中,多个所述脉冲光源的重复频率相同,所述脉冲光源的脉冲宽度为 $50\text{fs}-100\text{ns}$,所述脉冲光源的脉冲能量为 $20\mu\text{J}-10\text{mJ}$,所述脉冲光源的重复频率为 $500\text{Hz}-10\text{MHz}$ 。

30 在一些实施例中,所述脉冲光源模块包括:脉冲种子源,所述脉冲种子源产生脉冲光束;分光耦合器,所述分光耦合器设在所述脉冲光束的光路上,用于将所述脉冲光束分成多个子光束,以产生多个脉冲光束;第二合束镜,多个所述子光束均投射在所述第二合束镜上合并成一条光束,合并后的光束投射到所述光场调控模块。

在一些实施例中,所述空气电离显示装置还包括:多个脉冲放大模块,多个所述脉冲放大模块

一一对应地设在多个所述子光束的线路上用于对所述子光束的脉冲进行放大处理,且所述脉冲放大模块位于所述第二合束镜与所述分光耦合器之间。

在一些实施例中,所述空气电离显示装置还包括:

多个第二时间延迟线,多个所述第二时间延迟线一一对应地设在多个所述子光束的线路上,且
5 所述第二时间延迟线位于所述脉冲放大模块与所述第二合束镜之间,所述第二时间延迟线用于调整所述子光束的脉冲时间位置使得多个所述子光束经所述第二合束镜合束后,光束中的多个脉冲时间重合。

在一些实施例中,所述空气电离显示装置还包括:多个脉冲压缩装置,多个所述脉冲压缩装置一一对应地设在多个所述子光束的线路上,且所述脉冲压缩装置位于所述脉冲放大模块与所述第二
10 时间延迟线之间,所述脉冲压缩装置用于压缩所述子光束的脉冲宽度以提高所述子光束的脉冲光峰值功率。

在一些实施例中,所述空气电离显示装置还包括:多个光束准直装置,多个所述光束准直装置一一对应地设在多个所述子光束的线路上,且所述光束准直装置位于所述脉冲压缩装置与所述第二
时间延迟线之间,所述光束准直装置用于将所述子光束调整成合束后满足电离阈值的准直光束。

15 在一些实施例中,所述空气电离显示装置还包括:所述第二合束镜为多个,所述第二合束镜的数量比所述子光束的数量少一个,多个所述第二合束镜沿其中一个所述子光束间隔开设置,其余所述子光束一一对应地投射在多个所述第二合束镜上,并将多个所述子光束合并成一条光束。

在一些实施例中,所述空气电离显示装置还包括:多个第二反射镜,所述第二反射镜的数量与所述第二合束镜的数量相同,多个所述第二反射镜一一对应地设在多个所述第二时间延迟线与多个
20 所述第二合束镜之间,用于将所述子光束反射到所述第二合束镜上。

在一些实施例中,所述空气电离显示装置还包括:水冷散热器,所述水冷散热器连接所述脉冲种子源、所述分光耦合器、所述脉冲放大模块、所述脉冲压缩装置和所述光束准直装置,用于为所述脉冲种子源、所述分光耦合器、所述脉冲放大模块、所述脉冲压缩装置和所述光束准直装置散热。

25 在一些实施例中,所述空气电离显示装置还包括:脉冲光源壳体,所述脉冲种子源、所述分光耦合器、所述脉冲放大模块、所述脉冲压缩装置和所述光束准直装置均设在所述脉冲光源壳体内,所述脉冲光源壳体上形成有多个供所述子光束穿过的出光口;温度传感器,所述温度传感器设在所述脉冲光源壳体内,用于检测所述脉冲光源壳体内部的温度;控制器,所述控制器信号连接所述温度传感器和所述水冷散热器,用于控制所述脉冲光源壳体内部的温度。

30 在一些实施例中,所述控制器信号连接所述脉冲种子源、所述分光耦合器、所述脉冲放大模块、所述脉冲压缩装置和所述光束准直装置以控制所述子光束的输出参数。

在一些实施例中,所述脉冲放大模块包括:预放大模块和主放大模块,所述预放大模块位于所述主放大模块与所述分光耦合器之间。

在一些实施例中,多个所述子光束中的脉冲的脉冲宽度为10fs-100ns,脉冲能量为10 μ J-100mJ,脉冲重复频率为50Hz-10MHz。

在一些实施例中，所述光场调控组件包括：振镜组件，合并后的光束投射到所述振镜组件上，所述振镜组件对光束的方向进行调整；透镜组件，所述振镜组件的出射光束投射到所述透镜组件上，所述透镜组件对光束聚焦在所述透镜组件的焦点位置电离空气形成实像；空间光调制器，所述空间光调制器位于合束镜与所述振镜组件之间用于对光束的参数进行调整，其中，所述合束镜为第一合束镜或第二合束镜。

在一些实施例中，所述脉冲光源模块包括：多个脉冲光源，用于分别产生脉冲光束；其中，每个所述脉冲光源的脉冲能量小于空气电离阈值且多个所述脉冲光源的脉冲能量之和大于空气电离阈值。

在一些实施例中，所述空气电离显示装置还包括：第二重复频率调节组件，所述第二重复频率调节组件设在所述脉冲光源与所述显示区域之间，用于调整所述多个脉冲光源的重复频率。

在一些实施例中，所述第二重复频率调节组件包括：多个第二光电探测器，多个所述第二光电探测器一一对应地设在多个所述脉冲光源与所述显示区域之间，用于探测所述脉冲光源的重复频率；第二频率参考源，所述第二频率参考源用于提供频率参考标准；第二伺服控制器，所述第二伺服控制器信号连接所述第二光电探测器、所述第二频率参考源与所述脉冲光源，用于根据所述第二光电探测器的反馈信息与所述第二频率参考源的反馈信息控制所述脉冲光源的输出脉冲重复频率。

在一些实施例中，所述脉冲光源与所述显示区域之间设有第三分光片，多个所述第三分光片一一对应地将多个所述脉冲光源的部分光束反射到多个所述第二光电探测器上。

在一些实施例中，每个所述脉冲光源包括脉冲发生器，所述脉冲发生器用于产生脉冲光束；所述光场调控模块包括与多个所述脉冲光源一一对应的光场调控器，所述光场调控器位于对应的所述脉冲发生器与所述显示区域之间，所述脉冲发生器产生的脉冲光束照射在所述光场调控器上并经过所述光场调控投射到所述显示区域上，所述第三分光片位于对应的所述脉冲发生器与所述光场调控器之间。

在一些实施例中，所述脉冲光源模块还包括：第二脉冲时间延迟监测器，所述第二脉冲时间延迟监测器设在多个所述脉冲光源与所述显示区域之间，用于监测所述脉冲光源的脉冲延迟信号；第三时间延时线，所述第三时间延时线设在所述脉冲发生器与所述光场调控器之间并与所述第二脉冲时间延迟监测器信号相连，用于根据所述第二脉冲时间延迟监测器的反馈信息补偿所述脉冲光源的射出光束的脉冲时延。

在一些实施例中，所述第三时间延时线的数量与所述脉冲光源的数量相同，多个所述第三延时线与多个所述脉冲光源一一对应。

在一些实施例中，所述第三分光片与所述光电探测器之间设有第四分光片，所述第四分光片将所述第三分光片的反射光束部分反射到所述第二脉冲时间延迟监测器上。

在一些实施例中，所述第四分光片为多个，其中一个所述第四分光片与所述第二脉冲时间延迟监测器之间设有第三合束镜，其余所述第四分光片与所述第三合束镜之间设有第三反射镜，所述第三反射镜用于将所述第四分光片投射的光束反射到所述第三合束镜上。

在一些实施例中，多个所述脉冲光源的重复频率相同，所述脉冲光源的脉冲宽度为 50fs-100ns，所述脉冲光源的脉冲能量为 20 μ J-10mJ，所述脉冲光源的重复频率为 500Hz-10MHz。

本公开的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出，部分将从下面的描述中变得明显，或通过本公开的实践了解到。

5

附图说明

本公开的上述和/或附加的方面和优点从结合下面附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解，其中：

- 图 1 为根据本公开一个实施例的空气电离显示装置的框图；
10 图 2 为根据本公开一个实施例的双光源空气电离显示装置的结构示意图；
图 3 为根据本公开一个实施例的三光源空气电离显示装置的结构示意图；
图 4 为根据本公开一个实施例的两个子光束的空气电离显示装置的结构示意图；
图 5 为根据本公开一个实施例的空气电离显示装置的结构示意图；
图 6 为根据本公开一个实施例的脉冲光源的结构示意图。

15

附图标记：

空气电离显示装置 100；

脉冲光源模块 1 和光场调控模块 2；

20

第一重复频率调节组件 3、第一脉冲时间延迟监测器 4 和第一时间延迟线 5、显示区域 200；

脉冲光源 10 和第一合束镜 11、第一分光片 12、第二分光片 13、第一反射镜 14；

第一光电探测器 31、第一频率参考源 32 和第一伺服控制器 33、控制器 42；

第一脉冲光源 101 和第二脉冲光源 102、光电探测器 311、光电探测器 312 和光电探测器 313、

- 25 第一上分光片 123、第一中分光片 121 和第一下分光片 122、合束镜 111 和合束镜 112；第一个第一反射镜 71 和第二个第二反射镜 72、第一时间延迟线 5 包括时间延迟线 61、时间延迟线 62 和时间延迟线 63；

第二合束镜 4-1、第二时间延迟线 2-12、第二反射镜 3-1、水冷散热器 8-1、脉冲光源壳体

- 30 10-1、计算机 9-1、控制器 7-1；

- 第二重复频率调节组件 20、控制器 52、第三分光片 17、第二光电探测器 21、第二频率参考源 22 和第二伺服控制器 23、脉冲发生器 011、光场调控器 012、成像区域 40、第二脉冲时间延迟监测器 8 和第三时间延迟线 9、第四分光片 18、第三合束镜 19、第三反射镜 34、前第四分光片 181 和后第四分光片 182。
- 35

具体实施方式

下面详细描述本公开的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类
5 似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实
施例是示例性的，仅用于解释本公开，而不能理解为对本公开的限制。

下面参照附图描述根据本公开实施例的空气电离显示装置。

图 1 是根据本公开一个实施例的空气电离显示装置的框图，如图 1 所示，本公开实施例的
空气电离显示装置 100 包括脉冲光源模块 1 和光场调控模块 2。

10 其中，脉冲光源模块 1 用于产生同步的多个脉冲光束，例如，脉冲光源模块 1 同时发出
多个脉冲光束，同时提供多个脉冲光束可以提升光源能量。多个脉冲光束投射到光场调控模
块 2，光场调控模块 2 对脉冲光束进行调整聚合并在显示区域使空气电离形成全息实像。

光场调控模块 2 可以对光束的方向进行改变，而且可以利用透镜对光束聚焦，光束在焦点处能
量集中便会使空气发生电离，随着光束方向的摆动电离点的位置发生相应的变化，进而可以形成全
15 息实像。

现有技术中的空气电离显示装置，多采用单一脉冲光源，由于脉冲光源的功率受限，显示画面
的像素达不到用户的使用要求，若要提高显示画面的像素，增加图像清晰度，则需进一步提高脉冲
光源的输出脉冲功率。

因此，本公开实施例的空气电离显示装置 100，通过增加脉冲电源的数量，提供同步的多个脉
20 冲光束，可以提升脉冲光源能量，即提高光源输出脉冲功率，则经过光场调控模块 2 调整聚合形成
的聚焦点个数增加，从而提高了显示画面的像素，增加了显示画面的清晰度。

在本公开实施例中，脉冲电源模块 1 产生同步的多个脉冲光束的实现方式包括多种，下面在不
同实施例中进行说明。

在一些实施例中，脉冲光源模块 1 包括多个脉冲光源和合束镜，下面参照图 2 和图 3 对基于该
25 脉冲光源模块 1 的空气电离显示装置进行说明。

如图 2 所示，脉冲光源模块 1 包括多个脉冲光源 10 和第一合束镜 11。多个脉冲光源 10 用于
分别产生脉冲光束；多个脉冲光源产生的光束均投射在第一合束镜 11 上合并成一条光束，合并后
的光束投射到光场调控模块 2。

根据本公开实施例的空气电离显示装置 100，通过增加脉冲光源 10 的数量，即提供多个脉冲
30 光束，并利用第一合束镜 11 对多个脉冲光源 10 的光束进行合并，可以保证多个脉冲光源 10 输出
的多个脉冲在显示区域 200 中的同一位置、同一时刻出现并使空气发生电离，即解决了多脉冲光源
10 输出的多个脉冲之间的空间同步和时间同步的问题，进而可以成倍数的提升空气电离显示画面
的像素，提高画面清晰度，给用户带来了良好的使用体验。

在一些实施例中，如图 2 所示，空气电离显示装置 100 还包括第一重复频率调节组件 3，第一

重复频率调节组件 3 设在脉冲光源 10 与第一合束镜 11 之间，用于调整多个脉冲光源 10 的重复频率。第一重复频率调节组件 3 与多个脉冲光源 10 信号连接，并且可以接收到多个脉冲光源 10 投射出光束的重复频率信号，然后根据接收到的重复频率信号对脉冲光源 10 进行调整。

其中，脉冲光源 10 的重复频率是指脉冲光源每秒钟输出的光脉冲数目，通过第一重复频率调节组件 3 可以调节多个脉冲光源 10 发出的多个脉冲的重复频率。

显示装置要求采用相同重复频率的脉冲光源 10，即便如此，每个脉冲光源输出脉冲因激光器内部和外部因素的影响会产生不同的重复频率抖动，此时通过设置第一重复频率调节组件 3 使多个脉冲光源 10 的输出脉冲重复频率锁定的相同的数值上。

根据本公开实施例的空气电离显示装置，如图 3 所示，第一重复频率调节组件 3 包括多个第一光电探测器 31、第一频率参考源 32 和第一伺服控制器 33。

多个第一光电探测器 31 一一对应地设在多个脉冲光源 10 与第一合束镜 11 之间，用于探测脉冲光源 10 的重复频率。第一光电探测器 31 的数量与脉冲光源 10 的数量相同，如图 2 所示，在本实施例中，脉冲光源 10 和第一光电探测器 31 均为两个，两个脉冲光源 10 分别为第一脉冲光源 101 和第二脉冲光源 102；两个第一光电探测器 31 分别为光电探测器 311 和光电探测器 312。光电探测器 311 对应地设在第一脉冲光源 101 与第一合束镜 11 之间用于探测第一脉冲光源 101 输出脉冲的重复频率，光电探测器 312 对应地设在第二脉冲光源 102 与第一合束镜 11 之间，用于探测第二脉冲光源 102 输出脉冲的重复频率。

第一伺服控制器 33 信号连接第一光电探测器 31、第一频率参考源 32 和脉冲光源 10，第一频率参考源 32 用于为第一伺服控制器 33 提供频率参考标准。

第一伺服控制器 33 连接光电探测器 311、第一频率参考源 32、第一脉冲光源 101、光电探测器 312 与第二脉冲光源 102，光束照射到与脉冲光源 10 对应的第一光电探测器 31 上会产生脉冲重复频率信号，第一伺服控制器 33 可以根据第一光电探测器 31 的反馈信号以及第一频率参考源 32 的参考频率信号，控制脉冲光源 10 的输出脉冲重复频率。

具体地，第一伺服控制器 33 接收到光电探测器 311 反馈的第一脉冲光源 101 输出脉冲的重复频率参数后，与第一频率参考源 32 提供的频率参数对比，若第一脉冲光源 101 的输出脉冲不符合参数要求，便对第一脉冲光源 101 进行调整直至第一脉冲光源 101 的输出脉冲符合要求；类似地，第一伺服控制器 33 根据第一频率参考源 32 和光电探测器 312 调整第二脉冲光源 102 的输出脉冲重复频率参数。从而，使得多个脉冲光源 10 的输出脉冲重复频率锁定在相同的数值上，减少频率抖动。

在一些实施例中，如图 2 和 3 所示，脉冲光源 10 与第一合束镜 11 之间设有第一分光片 12，多个第一分光片 12 一一对应地将多个脉冲光源 10 的部分光束反射到多个第一光电探测器 31 上。其中，第一分光片 12 为多个，多个第一分光片 12 与多个脉冲光源 10 一一对应，例如，如图 2 所示，第一分光片 12 可以为两个，分别为第一中分光片 121 和第一下分光片 122，第一脉冲光源 101 产生的光束通过第一中分光片 121 将会分成两个光束，一个光束投射到第一光电探测器 311 上用于

检测第一脉冲光源 101 产生光束的重复频率，另一个光束投射到第一合束镜 11 上；类似地，第二脉冲光源 102 产生的光束通过第一下分光片 122 将会分成两个光束，一个光束投射到光电探测器 312 上用于检测第二脉冲光源 102 产生光束的重复频率，另一个光束投射到第一合束镜 11 上。第一伺服控制器 33 根据光电探测器 311 和光电探测器 312 的反馈信号调节第一脉冲光源 101 和第二脉冲光源 102 的实际输出脉冲重复频率参数。

如图 3 所示，在一些具体实施例中，第一分光片 12 为三个分别为：第一上分光片 123、第一中分光片 121 和第一下分光片 122，脉冲光源 10 为三个分别为：第一脉冲光源 101、第二脉冲光源 102 和第三脉冲光源 103，第一光电探测器 31 为三个分别为光电探测器 311、光电探测器 312 和光电探测器 313，第一中分光片 121 将第一脉冲光源 101 产生的光束部分反射到光电探测器 311 上，第一下分光片 122 将第二脉冲光源 102 产生的光束部分反射到光电探测器 312 上，第一上分光片 123 将第三脉冲光源 103 产生的光束部分反射到光电探测器 313 上。

在一些具体实施例中，第一分光片 12 的透过率为 $A1$ ， $99\% \leq A1 \leq 99.5\%$ ，第一分光片 12 的反射率为 $A2$ ， $0.5\% \leq A2 \leq 1\%$ 。脉冲光源 10 产生的光束经过第一分光片 12，一部分反射到第一光电探测器 31 上用于检测光束的重复频率参数，另一部分透过第一分光片 12 投射到第一合束镜 11 上。第一光电探测器 31 在检测光束的重复频率参数时，对检测光束的能量要求较低，很少一部分光便可完成重复频率的检测，因此，将第一分光片 12 的透过率和反射率设定在上述范围内，不仅可以确保第一光电探测器 31 稳定精确地检测光束的重复频率，而且可以提升照射到第一合束镜 11 上光束能量的占比，绝大多数光束透过第一分光片 12 照射在第一合束镜 11 上然后照射到光场调控模块 2 上用于成像，有利于进一步提升全息实像的像素。

如图所示，在本实施例中，空气电离显示装置 100 还包括第一脉冲时间延迟监测器 4 和至少一个第一时间延迟线 5。

第一脉冲时间延迟监测器 4 设在第一合束镜 11 与光场调控模块 2 之间，用于监测合第一束镜 11 射出光束的脉冲延迟信号，不同脉冲光源 10 产生的光束到达第一合束镜 11 的路径不同，例如，第二脉冲光源 102 产生的光束直线照射到第一合束镜 11 上，第一脉冲光源 101 产生的光束通过一次反射再照射到第一合束镜 11 上，从而两个脉冲光源 10 产生的光束在合束后存在脉冲延迟，通过在脉冲光源 10 与第一合束镜 11 之间设置的且与第一脉冲时间延迟监测器 4 信号连接的第一时间延迟线 5 例如图中的时间延迟线 61、时间延迟线 62 和时间延迟线 63，并根据第一脉冲时间延迟监测器 4 的反馈信号对第一脉冲光源 101 产生的光束补偿由脉冲传输光程差和重复频率低频抖动引起的脉冲时延，使得两个脉冲在合束后时间同步。

如图所示，根据本公开的一些实施例，多个脉冲光源 10 产生的光束经过第一合束镜 11 形成一个光束的过程中，可以是一个脉冲光源 10 产生的光束穿过第一合束镜 11，其余脉冲光源 10 产生的光束经过反射与穿过第一合束镜 11 的光束合并，由此可以以穿过第一合束镜 11 的光束作为参照，调整经过反射进行合并的光束。

此时，经过反射的光束比脉冲光源 10 的数量少一个，所以第一时间延迟线 5 的数量比脉冲光

源 10 的数量少一个,第一时间延迟线 5 与数量相同的脉冲光源 10 一一对应,每一个第一时间延迟线 5 控制一个脉冲光源 10 产生的光束中的脉冲延时,这样可以将多个脉冲光源 10 产生的光束在通过第一合束镜 11 时合成一个脉冲光束,并使得脉冲时间同步从而避免光束合束后因存在脉冲延迟而无法电离空气的情形。

5 如图 2 或 3 所示,根据本公开的一些实施例,第一合束镜 11 与光场调控模块 2 之间设有第二分光片 13,第二分光片 13 将第一合束镜 11 产生的一个光束分成两部分,一部分透过第二分光片 13 投射在光场调控模块 2 上,通过光场调控模块 2 电离空气形成用户所需要的图形,另一部分通过第二分光片 13 反射到第一脉冲时间延迟监测器 4 上,通过第一脉冲时间延迟监测器 4 反馈信息给控制器 42 与第一时间延迟线 5 来控制脉冲光源 10 输出光束的脉冲时延。通过设置第二分光片 10 13 可以为第一脉冲时间延迟监测器 4 获取合束后脉冲延迟信息提供方便,而且结构简单,容易实现。

根据本公开的一些具体实施例,第二分光片 13 的透过率为 A_3 , $98\% \leq A_3 \leq 99.5\%$,第二分光片 13 的反射率为 A_4 , $0.5\% \leq A_4 \leq 2\%$ 。第一脉冲时间延迟监测器 4 在检测光束的延迟参数时,对检测光束的能量要求较低,很少一部分光便可完成脉冲延迟的检测,因此,将第二分光片 13 的透 15 过率和反射率设定在上述范围内,不仅可以确保脉冲时间延迟监测器稳定精确地检测光束的延迟信息,而且可以提升照射到光场调控模块 2 上光束能量的占比,绝大多数的光束透过分光片 13 照射在光场调控模块 2 上用于成像,有利于进一步提升全息实像的像素。

在一些具体实施例中,第一合束镜 11 为多个,如图 3 所示,第一合束镜 11 包括两个分别为合束镜 111 和合束镜 112。第一合束镜 11 的数量可以比脉冲光源 10 的数量少一个,多个第一合束镜 20 11 沿其中一个脉冲光源 10 的射出光束间隔开设置,其余脉冲光源 10 产生的光束一一对应地投射在多个第一合束镜 11 上,并将多个脉冲光源 10 的射出光束通过多个第一合束镜 11 合并成一条光束。

如图所示,多个第一合束镜 11 相互平行设置,多个脉冲光源 10 中的一个产生的光束依次穿过多个第一合束镜 11 照射,其余脉冲光源产生的光束一一对应地照射在多个第一合束镜 11 上,并在 25 第一合束镜 11 的反射作用下与穿过第一合束镜 11 的光束合并。

通过设置多个第一合束镜 11,可以简化多个脉冲光源 3 的合并方式,进而简化了空气电离显示装置的结构设计,同时可以减少光束合并过程中造成的损耗。

如图 2 或 3 所示,根据本公开的一些实施例中,空气电离显示装置 100 还包括多个第一反射镜 14,第一反射镜 14 设在脉冲光源 10 与第一合束镜 11 之间,用于将脉冲光束反射到第一合束镜 11 30 上进行合并,通过设置第一反射镜 14,可以将多个平行设置的光束反射到第一合束镜 11 上,进而为多个脉冲光源 10 的设置提供了方便,而且可以减少多个脉冲光源 10 之间的距离,有利于缩小空气电离显示装置的整体结构。

进一步地,如图 3 所示,第一反射镜 14 的数量比脉冲光源 10 的数量少一个,例如图 2 中,第一反射镜 14 为一个,图 3 中第一反射镜 14 包括两个,分别为第一个第一反射镜 71 和第二个第二

反射镜 72。多个脉冲光源 10 中，其中一个脉冲光源 10 产生的光束穿过第一合束镜 11，其余脉冲光源 10 产生的光束经过第一合束镜 11 的反射与穿过第一合束镜 11 的光束合并，穿过第一合束镜 11 的光束无需反射结构，直接照射在第一合束镜 11 上便可，其余脉冲光源 10 产生的光束经过第一反射镜 14 的反射作用照射在第一合束镜 11 上。由此可以减少一个第一反射镜 14，可以进一步
5 简化了空气电离显示装置 100 的结构设计。

在本实施例中，多个脉冲光源 10 的重复频率相同，脉冲光源 10 的脉冲宽度为 50fs-100ns，脉冲光源 10 的脉冲能量为 20 μ J-10mJ，脉冲光源 10 的重复频率为 500Hz-10MHz，由此可以提升全息实像的成像效果和像素。

根据本公开实施例的空气电离显示装置 100，光场调控模块 2 包括：振镜组件、透镜组件和空间光调制器，第一合束镜 11 的出射光束投射到振镜组件上，振镜组件包括垂直设置的两组反射镜，两组反射镜分别进行前后和左右方向的摆动，进而控制光束的照射路径。通过振镜组件的出射光束投射到透镜组件上，透镜组件对光束进行聚焦，光束集中在透镜组件的焦点位置后功率密度增大，达到产生电离的功率阈值，最后高功率激光电离空气分子形成发光亮点，再形成用户所需要的实像。

空间光调制器位于第一合束镜 11 与振镜组件之间，通过调制光的振幅、相位、偏振态等参量
15 达到光波调制的目的，光束经过空间光调制器调制光场，在经聚焦系统后形成多个聚焦点，因此增加了显示画面的像素。

透镜组件包括：变焦透镜和平场聚焦透镜，变焦透镜位于平场聚焦透镜与振镜组件之间，高功率脉冲光源输出激光脉冲经空间光调制器调制光场，然后反射至振镜组件调节其出射方向，光束透过变焦透镜和平场聚焦透镜后聚焦至空气电离区域中的指定点，最后高功率激光电离空气分子形成
20 发光亮点。

变焦透镜可以根据成像要求调节焦点与变焦透镜之间的距离，进而可以通过调整焦点位置产生三维立体结构的实像，利用平场聚焦透镜与变焦透镜配合，可以防止产生的实像在成像过程中发生弯曲变形，控制器 42 主动控制空间光调制器、振镜组件以及透镜组件，根据所需显示的画面调节激光电离点的位置以及显示画面的像素。

25 在另一些实施例中，脉冲光源模块 1 通过分光并结合合束镜来产生同步的多个脉冲光束，下面参照附图 4 描述基于该脉冲光源模块 1 的空气电离显示装置。

如图 4 所示，本公开实施例的空气电离显示装置 100 包括：脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、第二合束镜 4-1、光场调控模块 2、多个脉冲放大模块和多个第二时间延迟线 2-12。

具体而言，脉冲种子源 1-1 可以产生脉冲光束，分光耦合器 1-2 设在脉冲光束的线路上且临近
30 脉冲种子源 1-1 设置，用于将脉冲光束分成多个子光束。脉冲光束照射在分光耦合器 1-2 上分成多个子光束，其中，多个子光束的能量可以是平均分配的。

其中，多个子光束经过透射和反射作用后均投射在第二合束镜 4-1 上并合并成一条光束，经过第二合束镜 4-1 合并后的光束投射到光场调控模块 2 中，光场调控模块 2 对光束进行调整聚合并在显示区域 6-1 使空气发生电离从而形成实像画面。

光场调控模块 2 可以对光束的方向进行改变,还可以利用透镜对光束聚焦,光束在焦点处能量集中使空气发生电离,随着光束方向的摆动电离点的位置发生相应的变化,进而可以形成全息实像。

现有技术中的空气电离显示装置,脉冲光源多采用脉冲种子源 1-1 输出脉冲光束未分光直接电离的方案,使得脉冲光源的功率受限,显示画面的像素达不到用户的使用要求。若要提高显示画面的像素,增加图像清晰度,则需进一步提高脉冲光源的输出脉冲功率。由于现有技术难以大幅度提升脉冲光源单光束输出情况下的脉冲功率,导致了空气电离显示装置的显示画面的像素难以提高。

由此,根据本公开实施例的空气电离显示装置 100,利用分光耦合器 1-2 将脉冲种子源 1-1 产生的脉冲光束分成多路子光束,并利用第二合束镜 4-1 对多路子光束进行合并,同时保证多路子光束中的多个脉冲在显示区域 6-1 中的同一位置、同一时刻出现并使空气发生电离,即解决了多路子光束中的多个脉冲之间的空间同步和时间同步的问题,进而可以成倍数的提升空气电离显示画面的像素,给用户带来了良好的使用体验。

根据本公开实施例的空气电离显示装置 100,多个脉冲放大模块一一对应地设在多个子光束的线路上用于对子光束的脉冲进行放大处理,且脉冲放大模块位于第二合束镜 4-1 与分光耦合器 1-2 之间。通过设置脉冲放大模块,可以提升子光束的脉冲能量,进而可以提升成像时的成像质量和亮度。

根据本公开的一个实施例,如图 4 所示,多个第二时间延迟线 2-12 一一对应地设在多个子光束的线路上,且第二时间延迟线 2-12 位于脉冲放大模块与第二合束镜 4-1 之间,第二时间延迟线 2-12 用于调整子光束的脉冲时间位置使得子光束在第二合束镜 4-1 合束后多个子光束中的多个脉冲在时间上重合。

如图 4 所示,在一些具体实施例中,第二合束镜 4-1 为多个,第二合束镜 4-1 的数量可以比子光束的数量少一个,多个第二合束镜 4-1 沿其中一路子光束相互平行地间隔开设置,此光束依次穿过多个第二合束镜 4-1 并照射出去,其余子光束一一对应地投射在多个第二合束镜 4-1 上,并在第二合束镜 4-1 的反射作用下与穿过第二合束镜 4-1 的子光束合并成一条光束。

通过设置多个第二合束镜 4-1,可以简化多个子光束的合并方式,进而简化了空气电离显示装置 100 的结构设计,同时可以减少光束合并过程中造成的损耗。

如图 4 所示,根据本公开的一个实施例,空气电离显示装置 100 还包括:多个第二反射镜 3-1,第二反射镜 3-1 设在第二时间延迟线 2-12 与第二合束镜 4-1 之间,用于将子光束反射到第二合束镜 4-1 上进行合并。通过设置第二反射镜 3-1,可以将多个平行设置的子光束反射到第二合束镜 4-1 上,有利于缩小空气电离显示装置 100 的整体结构。

进一步地,如图 4 所示,第二反射镜 3-1 的数量比子光束的数量少一个,多个子光束中,其中一个子光束穿过第二合束镜 4-1,其余子光束经过第二合束镜 4-1 的反射与穿过第二合束镜 4-1 的光束合并,穿过第二合束镜 4-1 的光束无需反射结构,直接照射在第二合束镜 4-1 上便可,其余子光束经过第二反射镜 3-1 的反射作用照射在第二合束镜 4-1 上。由此可以减少一个第二反射镜 3-1,可以进一步简化了空气电离显示装置 100 的结构设计。

根据本公开的一个实施例，空气电离显示装置 100 还包括多个脉冲压缩装置，多个脉冲压缩装置一一对应地设在多个子光束的线路上，且脉冲压缩装置位于脉冲放大模块与第二时间延迟线 2-12 之间，也就是说，在每个子光束线路上均设有一个脉冲压缩装置。也就是说，在子光束前进方向上，脉冲压缩装置设在脉冲放大模块与第二时间延迟线 2-12 之间，脉冲压缩装置用于压缩子光束的脉冲宽度以提高子光束的脉冲光峰值功率。

如图 4 所示，脉冲压缩装置为两个，分别为第一脉冲压缩装置 1-4-1 和第二脉冲压缩装置 1-4-2，第一脉冲压缩装置 1-4-1 设在第一子光束上，第二脉冲压缩装置 1-4-2 设在第二子光束上。通过在子光束上设置脉冲压缩装置，可以提升子光束的脉冲光峰值功率，进而可以提升光束聚焦后的脉冲峰值功率，有利于提升成像效果。

根据本公开的一个实施例，空气电离显示装置 100 还包括多个光束准直装置，多个光束准直装置一一对应地设在多个子光束的线路上，且光束准直装置位于脉冲压缩装置与第二时间延迟线 2-12 之间，光束准直装置用于将子光束调整成满足电离阈值的准直光束。也就是说，每个子光束线路上设有一个光束准直装置，在子光束前进的方向上，光束准直装置位于子光束线路上的脉冲压缩装置与第二时间延迟线 2-12 之间，子光束穿过光束准直装置后，将会被调整成满足电离阈值的准直光束。

如图 4 所示，光束准直装置为两个，分别为第一光束准直装置 1-5-1 和第二光束准直装置 1-5-2，第一光束准直装置 1-5-1 设在第一子光束上，第二光束准直装置 1-5-2 设在第二子光束上。通过在子光束上设置光束准直装置，可以利用光束准直装置对子光束进行光束参数调整，以保证子光束满足电离阈值的要求，进而可以提升电离成像的效果。

根据本公开的一个实施例，空气电离显示装置 100 还包括水冷散热器 8-1，水冷散热器 8-1 连接脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置用于为脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置散热。

由于脉冲种子源 1-1 产生高能脉冲光源，且光束依次穿过分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置，脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置在工作过程中会产生大量的热，通过设置水冷散热器 8-1，可以对脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置进行散热，防止脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置上的热量过于集中而造成设备损坏。此外，水冷散热器 8-1 可以通过调整水路的流向调整散热区域，可控制性较强，可以对多个设备同时进行散热，而且水冷的成本低，效果好，可以满足空气电离显示装置的散热要求。

根据本公开的一个实施例，空气电离显示装置 100 还包括脉冲光源壳体 10-1、温度传感器和控制器 7-1。

脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置均设在脉冲光源壳体 10-1 内，脉冲光源壳体 10-1 上形成有多个供子光束穿过的出光口，也就是说，脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置的外侧套设有脉冲光源壳

体 10-1。利用脉冲光源壳体 10-1 罩设脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置，并在脉冲光源壳体 10-1 上设置出光口，不仅可以利用脉冲光源壳体 10-1 保护脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置不受损坏，而且结构简单，不会影响光束的正常传输。

- 5 其中，温度传感器设在脉冲光源壳体 10-1 内用于检测脉冲光源壳体 10-1 内部的温度，控制器 7-1 信号连接温度传感器和水冷散热器 8-1，用于控制脉冲光源壳体内 10-1 的温度。

通过在脉冲光源壳体 10-1 内设置温度传感器，可以利用温度传感器检测脉冲光源壳体 10-1 的温度，然后将温度信息反馈给控制器 7-1，控制器 7-1 控制水冷散热器 8-1 对脉冲光源壳体 10-1 内的设备进行散热，为脉冲光源壳体 10-1 内的设备提供一个稳定良好的工作环境。

- 10 根据本公开的一个实施例，控制器 7-1 信号连接脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置以控制子光束的输出参数。也就是说，控制器 7-1 还能控制脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置，并通过控制脉冲种子源 1-1、分光耦合器 1-2、脉冲放大模块、脉冲压缩装置和光束准直装置的工作状态调整子光束的输出参数，保证子光束满足电离成像的要求。

- 15 根据本公开的一个实施例，空气电离显示装置 100 还包括：计算机 9-1，计算机 9-1 信号连接第二时间延迟线 2-12、光场调控模块 2 和控制器 7-1，用于实时控制空气电离显示装置 100 的各模块的工作状态，为装置稳定工作提供保障。

根据本公开的一个实施例，脉冲放大模块包括：预放大模块和主放大模块，预放大模块位于主放大模块与分光耦合器 1-2 之间。也就是说，脉冲放大模块由预放大模块和主放大模块组成，子光束先经过预放大模块，然后经过主放大模块，可以提升脉冲放大模块对子光束的放大效果。

- 20 根据本公开的一个实施例，多个子光束的脉冲宽度为 10fs-100ns，脉冲能量为 $10\mu\text{J}$ -100mJ，脉冲重复频率为 50Hz-10MHz。

- 根据本公开实施例的空气电离显示装置 100，光场调控模块包括振镜组件、透镜组件和空间光调制器，第二合束镜 4-1 的出射光束投射到振镜组件上，振镜组件包括垂直设置的两组反射镜，两组反射镜分别进行前后和左右方向的摆动，进而控制光束的照射路径。通过振镜组件的出射光束投射到透镜组件上，透镜组件对光束进行聚焦，光束集中在透镜组件的焦点位置后功率密度增大，达到产生电离的功率阈值，最后高功率激光电离空气分子形成发光亮点，再形成用户所需要的实像。

- 空间光调制器位于第二合束镜 4-1 与振镜组件之间，通过调制光的振幅、相位、偏振态等参量达到光波调制的目的，光束经过空间光调制器调制光场，再经聚焦系统后形成多个聚焦点，因此增加了显示画面的像素。

透镜组件包括：变焦透镜和平场聚焦透镜，变焦透镜位于平场聚焦透镜与振镜组件之间，光束经空间光调制器调制光场，然后反射至振镜组件调节其出射方向，光束透过变焦透镜和平场聚焦透镜后聚焦至空气电离区域中的指定点，最后高功率激光电离空气分子形成发光亮点。

变焦透镜可以根据成像要求调节焦点与变焦透镜之间的距离，进而可以通过调整焦点位置产生

三维立体结构的实像，利用平场聚焦透镜与变焦透镜配合，可以防止产生的实像在成像过程中发生弯曲变形，计算机 9-1 主动控制空间光调制器、振镜组件以及透镜组件，根据所需显示的画面调节激光电离点的位置以及显示画面的像素。

在本公开的另一些实施例中，脉冲光源模块 1 采用多个脉冲光源并限定脉冲光源的脉冲能量，
5 下面参照附图 5 和 6 描述本公开基于该脉冲光源模块 1 的空气电离显示装置 100。

根据本公开实施例的空气电离显示装置 100 包括：多个脉冲光源 10，其中，脉冲光源 10 的脉冲能量小于空气电离阈值且多个脉冲光源 10 的脉冲能量之和大于空气电离阈值，多个脉冲光源 10 产生的大部分光束投射到光场调控模块 2，光场调控模块 2 对多个脉冲光束进行调整聚合并在显示区域指定位置处交汇并电离空气形成全息实像。

10 其中，每个脉冲光源 10 的脉冲功率密度都比较小，且小于空气电离阈值，脉冲光源 10 产生的单个光束投射过程中不会对周围的空气造成电离，将多个小功率脉冲光源 10 相互配合照射到同一点上，多个光束交点处的激光功率密度叠加并超过空气电离的阈值，进而使交汇点处的空气发生电离，从而形成全息实像。

由此，根据本公开实施例的空气电离显示装置 100，利用多个脉冲光源 10 配合提升光束交汇
15 点的激光功率密度，进而可以在光束交汇点的位置使空气电离形成全息实像，不仅可以降低对于单个脉冲光源 10 的规格要求，大幅度降低空气电离显示装置 100 的制作成本，而且可以消除常规空气电离显示装置 100 中的透镜组件，还能简化了空气电离显示装置 100 的结构设计。

如图 5 所示，在一些具体实施例中，空气电离显示装置 100 还包括第二重复频率调节组件 20，第二重复频率调节组件 20 设在脉冲光源 10 与显示区域之间用于调整多个脉冲光源 10 的重复频率。
20 第二重复频率调节组件 20 与多个脉冲光源 10 信号连接，并且可以接收到多个脉冲光源 10 投射出光束的重复频率信号，然后根据接收到的重复频率信号对脉冲光源 10 进行调整。

其中，脉冲光源 10 的重复频率是指脉冲光源 10 每秒钟产生的触发脉冲数目，通过第二重复频率调节组件 20 可以调节多个脉冲光源 10 发出的多个光束的脉冲重复频率。

根据本公开实施例的空气电离显示装置 100，第二重复频率调节组件 20 包括第二光电探测器
25 21、第二频率参考源 22 和第二伺服控制器 23。

第二光电探测器 21 可以为多个且数量与脉冲光源 10 的数量相同，多个第二光电探测器 21 一一对应地设在多个脉冲光源 10 与显示区域之间，用于探测脉冲光源的重复频率。如图 5 所示，在本实施例中，脉冲光源 10 和第二光电探测器 21 均为两个，两个脉冲光源 10 分别为第一脉冲光源
15 和第二脉冲光源 16；第一个第二光电探测器 21 对应地设在第一脉冲光源 15 与显示区域之间用于探测第一脉冲光源 15 输出光束的重复频率，第二个第二光电探测器 21 对应地设在第二脉冲光源
30 16 与显示区域之间，用于探测第二脉冲光源 16 输出光束的重复频率。

第二伺服控制器 23 信号连接第二光电探测器 21、第二频率参考源 22 和脉冲光源 10，第二频率参考源 22 用于为第二伺服控制器 23 提供频率参考标准，在第二频率参考源 22 中提前设定好所需频率的频率标准参数，在启动设备后，第二频率参考源 22 输出的频率参数作为频率标准供第二

伺服控制器 23 作为参考。

第二伺服控制器 23 连接第一个第二光电探测器、第二频率参考源 22、第一脉冲光源 15、第二个第二光电探测器与第二脉冲光源 16，光束照射在与脉冲光源 10 对应的第二光电探测器 21 上会产生反馈信息，第二伺服控制器 23 根据第二光电探测器 21 的反馈信息以及第二频率参考源 22 给出的频率标准信号，控制脉冲光源 10 从而控制其输出脉冲的重复频率。

具体地，第二伺服控制器 23 接收到第一个第二光电探测器 21 反馈的第一脉冲光源 15 射出光束的重复频率参数后，与第二频率参考源 22 提供的频率参数对比，若第一脉冲光源 15 的输出光束不符合参数要求，便对第一脉冲光源 15 进行调整直至第一脉冲光源 15 的输出光束符合要求；类似地，第二伺服控制器 23 根据第二频率参考源 22 和第二个第二光电探测器 21 调整第二脉冲光源 16 输出光束的重复频率参数。

如图 6 所示，脉冲光源 10 与显示区域之间设有第三分光片 17，多个第一分光片 17 一一对应地将多个脉冲光源 10 的部分光束反射到多个第二光电探测器 21 上。第三分光片 17 对应地将第一脉冲光源 15 的部分光束反射到第一个第二光电探测器 21 上，第一脉冲光源 15 产生的光束通过第三分光片 17 将会分成两个光束，一个光束投射到第二光电探测器 21 上用于检测第一脉冲光源 15 产生光束的重复频率，另一个光束投射到显示区域用于电离成像；类似地，第二脉冲光源 16 产生的光束通过第三分光片 17 将会分成两个光束，一个光束投射到第二光电探测器 21 上用于检测第二脉冲光源 16 产生光束的重复频率，另一个光束投射到显示区域用于电离成像。第二伺服控制器 23 根据第一个第二光电探测器 21 和第二个第二光电探测器 21 的反馈信息调节第一脉冲光源 15 和第二脉冲光源 16 的脉冲重复频率参数。

在一些具体实施例中，第三分光片 17 的透过率为 $A1$ ， $99\% \leq A1 \leq 99.5\%$ ，第三分光片 17 的反射率为 $A2$ ， $0.5\% \leq A2 \leq 1\%$ 。脉冲光源 10 产生的光束经过第三分光片 17，一部分用于光电探测器上用于检测频率参数，另一部分用于成像上。第二光电探测器 21 在检测光束的重复频率参数时，较少能量光束即可完成重复频率检测，因此，将第三分光片 17 的透过率和反射率设定在上述范围内，不仅可以确保光电探测器稳定精确地检测光束的重复频率，而且可以提升用于成像的脉冲能量所占脉冲总能量的比例，使得绝大多数光束透过分光片用于成像。

根据本公开的一些实施例，每个脉冲光源 10 包括脉冲发生器 011，脉冲发生器 011 用于产生脉冲光束，多个脉冲光源 10 同步产生多个脉冲光束；光场调控模块 2 包括与多个脉冲光源 10 一一对应的光场调控器 012，光场调控器 012 位于对应脉冲发生器 011 与显示区域之间，脉冲发生器 011 产生的脉冲光束照射在光场调控器 012 上并经过光场调控投射到显示区域上，第三分光片 17 位于脉冲发生器 011 与光场调控器 012 之间。

脉冲发生器 011 产生的光束通过光场调控器 012，光场调控器 012 对脉冲发生器 011 产生的光束进行调控，进而可以控制光束的方向，由此可以控制多个脉冲发生器 011 产生的光束在成像区域 40 交汇，并在交汇点电离空气形成实像，用以根据需要在特定位置形成全息实像。

将第三分光片 17 设在脉冲发生器 011 与光场调控器 012 之间，由于脉冲发生器 011 射向光场

调控器 012 的光束的方向是固定的, 由此可以为第三分光片 17 分离出光束提供方便, 防止光束的投射方向发生摆动影响分光效果, 而且可以保证光第二电探测器 21 始终可以检测到光束。

根据本公开的一些实施例, 脉冲光源模块 1 还包括: 第二脉冲时间延迟监测器 8 和第三时间延迟线 9, 第二脉冲时间延迟监测器 8 设在多个脉冲光源 10 与显示区域之间用于监测脉冲光源 10 的输出脉冲延迟信号, 第二脉冲时间延迟监测器 8 将监测到的脉冲延迟信号输入至控制器 52 再驱动第三时间延迟线 9 控制多个脉冲光源 10 产生的多个脉冲的时间延迟使得多个脉冲同步投射至显示区域。

第三时间延迟线 9 设在脉冲发生器 011 与光场调控器 012 之间并与第二脉冲时间延迟监测器 8 信号相连, 用于根据第二脉冲时间延迟监测器 8 的反馈信息补偿脉冲光源 10 输出光束的脉冲时延。

通过设置第二脉冲时间延迟监测器 8 和第三时间延迟线 9 可以对脉冲光源 10 的输出脉冲延迟信息进行监控与调整, 从而保证脉冲光源 10 产生的脉冲在交汇点处时间同步, 进而可以保证空气电离显示装置 100 完成空中成像。

根据本公开的一些实施例, 第三时间延迟线 9 的数量与脉冲光源 10 的数量相同, 多个第三时间延迟线与多个脉冲光源 10 一一对应, 通过设置多个第三时间延迟线 9 对各自对应的脉冲光源 10 输出脉冲进行时间补偿, 防止脉冲光源 10 产生的脉冲因时间延迟不一致导致脉冲交汇点处空气分子未能达到电离阈值而无法电离。

如图 5 所示, 根据本公开的一些实施例, 第三分光片 17 与第二光电探测器 21 之间设有第四分光片 18, 第四分光片 18 将第三分光片 17 的反射光束部分反射到第二脉冲时间延迟监测器 8 上。也就是说, 脉冲光源 10 产生的光束先经过第三分光片 17, 一部分光束透过第三分光片 17 投射到成像区域 40 中用于成像, 另一部分光束照射向第二光电探测器 21, 照射向第二光电探测器 21 的光束经过第四分光片 18, 一部分照射到第二光电探测器上 21 用于检测脉冲重复频率信号, 还有一部分照射到第二脉冲时间延迟监测器 8 上用于监测脉冲的时间延迟信息。由此可以准确地检测脉冲光源 10 的各种参数。

根据本公开的一些实施例, 第四分光片 18 为多个, 其中一个第四分光片 18 与第二脉冲时间延迟监测器 8 之间设有第三合束镜 19, 其余第四分光片 18 与第三合束镜 19 之间设有第三反射镜 34, 第三反射镜 34 用于将第四分光片 18 反射的光束反射到第三合束镜 19 上。

如图 5 所示, 第四分光片 18 为两个, 分别为前第四分光片 181 和后第四分光片 182, 前第四分光片 181 与第二脉冲时间延迟监测器 8 之间设有第三合束镜 19, 后第四分光片 182 与第三合束镜 19 之间设有第三反射镜 34, 第三反射镜 34 用于将后第四分光片 182 分离出的光束照射到第三合束镜 19 上, 第三合束镜 19 将前第四分光片 181 和后第四分光片 182 分离出的光束合并射向第二脉冲时间延迟监测器 8。

在一些具体的实施例中, 第四分光片 18 可以为三个, 分别前第四分光片、中第四分光片和后第四分光片, 第三反射镜 34 可以为两个, 分别为第一个第三反射镜和第二个第三反射镜, 前第四分光片与第二脉冲时间延迟监测器 8 之间设有第三合束镜 19, 中第四分光片与第三合束镜 19 之间

设有第一个第三反射镜，第一个第三反射镜用于将中第四分光片分离出的光束照射到第三合束镜 19 上，后第四分光片与第三合束镜 19 之间设有第二个第三反射镜，第二个第三反射镜用于将后第四分光片分离出的光束照射到第三合束镜 19 上，第三合束镜 19 将前第四分光片 18、中第四分光片 18 和后第四分光片 18 分离出的光束合并射向第二脉冲时间延迟监测器 8。

- 5 通过设置第三合束镜 19 和第三反射镜 34 可以利用一个第二脉冲时间延迟监测器 8 监测多个光束的延迟信息，进而可以提升第二脉冲时间延迟监测器 8 的工作效率，同时可以简化空气电离显示装置 100 的结构设计。

在本实施例中，多个脉冲光源 10 的重复频率相同，脉冲光源 10 的脉冲宽度为 50fs-100ns，脉冲光源 10 的脉冲能量为 $20\ \mu\text{J}$ -10mJ，脉冲光源 10 的重复频率为 500Hz-10MHz，由此可以提升全
10 息实像的成像效果和像素。

在本公开的描述中，“第一特征”、“第二特征”可以包括一个或者更多个该特征。

在本公开的描述中，“多个”的含义是两个或两个以上。

在本公开的描述中，第一特征在第二特征“之上”或“之下”可以包括第一和第二特征直接接触，也可以包括第一和第二特征不是直接接触而是通过它们之间的另外的特征接触。

- 15 在本公开的描述中，第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”包括第一特征在第二特征正上方和斜上方，或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。

在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示意性实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本公开的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不一定
20 指的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

尽管已经示出和描述了本公开的实施例，本领域的普通技术人员可以理解：在不脱离本公开的原理和宗旨的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型，本公开的范围由权利要求及其等同物限定。

权利要求书

- 1、一种空气电离显示装置，其特征在于，包括：
脉冲光源模块，用于产生同步的多个脉冲光束；
5 光场调控模块，多个所述脉冲光束投射到所述光场调控模块，所述光场调控模块对多个所述脉冲光束进行调整聚合并在显示区域使空气电离形成全息实像。
- 2、根据权利要求1所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述脉冲光源模块包括：
多个脉冲光源，用于分别产生脉冲光束；
第一合束镜，多个所述脉冲光源产生的光束均投射在所述第一合束镜上合并成一条光束，合并
10 后的光束投射到所述光场调控模块。
- 3、根据权利要求2所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述空气电离显示装置还包括：
第一重复频率调节组件，所述第一重复频率调节组件设在所述脉冲光源与所述第一合束镜之间，用于调整所述多个脉冲光源输出脉冲的重复频率。
- 4、根据权利要求3所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述第一重复频率调节组件包括：
15 多个第一光电探测器，多个所述第一光电探测器一一对应地设在多个所述脉冲光源与所述第一合束镜之间，用于探测所述脉冲光源的重复频率；
第一频率参考源，所述第一频率参考源用于提供频率参考标准；
第一伺服控制器，所述第一伺服控制器信号连接所述第一光电探测器、所述第一频率参考源与所述脉冲光源，用于根据所述第一光电探测器接收到的脉冲重复频率信号与所述第一频率参考源的
20 参考频率控制所述脉冲光源输出脉冲的重复频率。
- 5、根据权利要求4所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述脉冲光源与所述第一合束镜之间设有第一分光片，多个所述第一分光片一一对应地将多个所述脉冲光源的部分光束反射到多个所述第一光电探测器上。
- 6、根据权利要求5所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述第一分光片的透过率为A1，
25 $99\% \leq A1 \leq 99.5\%$ ；所述第一分光片的反射率为A2， $0.5\% \leq A2 \leq 1\%$ 。
- 7、根据权利要求2所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述空气电离显示装置还包括：
第一脉冲时间延迟监测器，所述第一脉冲时间延迟监测器设在所述第一合束镜与所述光场调控模块之间用于监测所述第一合束镜射出光束的脉冲延迟信号；
至少一个第一时间延迟线，所述第一时间延迟线设在所述脉冲光源与所述第一合束镜之间并与
30 所述第一脉冲时间延迟监测器信号相连，用于根据所述第一脉冲时间延迟监测器的反馈信息补偿所述脉冲光源输出光束的脉冲时延。
- 8、根据权利要求7所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述第一时间延迟线的数量比所述脉冲光源的数量少一个，所述第一时间延迟线与数量相同的所述脉冲光源一一对应。
- 9、根据权利要求8所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述第一合束镜与所述光场调控

组件之间设有第二分光片,所述第二分光片将所述第一合束镜的射出光束的部分光反射到所述第一脉冲时间延迟监测器上。

10、根据权利要求 9 所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述第二分光片的透过率为 A_3 , $98\% \leq A_3 \leq 99.5\%$, 所述第二分光片的反射率为 A_4 , $0.5\% \leq A_4 \leq 2\%$ 。

5 11、根据权利要求 2-10 中任意一项所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述第一合束镜为多个,所述第一合束镜的数量比所述脉冲光源的数量少一个,多个所述第一合束镜沿其中一个所述脉冲光源的射出光束间隔开设置,其余所述脉冲光源的射出光束一一对应地投射在多个所述第一合束镜上,并将多个所述脉冲光源的射出光束合并成一条光束。

12、根据权利要求 2-10 中任意一项所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述空气电离显示装置还包括:

多个第一反射镜,所述第一反射镜设在所述脉冲光源与所述第一合束镜之间,用于将所述脉冲光束的透射光束反射到所述第一合束镜上。

13、根据权利要求 11 所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述第一反射镜的数量比所述脉冲光源的数量少一个。

15 14、根据权利要求 2-10 中任意一项所述的空气电离显示装置,其特征在于,多个所述脉冲光源的重复频率相同,所述脉冲光源的脉冲宽度为 50fs-100ns,所述脉冲光源的脉冲能量为 20 μ J-10mJ,所述脉冲光源的重复频率为 500Hz-10MHz。

15、根据权利要求 1 所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述脉冲光源模块包括:

脉冲种子源,所述脉冲种子源产生脉冲光束;

20 分光耦合器,所述分光耦合器设在所述脉冲光束的光路上,用于将所述脉冲光束分成多个子光束,以产生多个脉冲光束;

第二合束镜,多个所述子光束均投射在所述第二合束镜上合并成一条光束,合并后的光束投射到所述光场调控模块。

25 16、根据权利要求 15 所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述空气电离显示装置还包括:多个脉冲放大模块,多个所述脉冲放大模块一一对应地设在多个所述子光束的线路上用于对所述子光束的脉冲进行放大处理,且所述脉冲放大模块位于所述第二合束镜与所述分光耦合器之间。

17、根据权利要求 15 所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述空气电离显示装置还包括:多个第二时间延迟线,多个所述第二时间延迟线一一对应地设在多个所述子光束的线路上,且所述第二时间延迟线位于所述脉冲放大模块与所述第二合束镜之间,所述第二时间延迟线用于调整
30 所述子光束的脉冲时间位置使得多个所述子光束经所述第二合束镜合束后,光束中的多个脉冲时间重合。

18、根据权利要求 17 所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述空气电离显示装置还包括:多个脉冲压缩装置,多个所述脉冲压缩装置一一对应地设在多个所述子光束的线路上,且所述脉冲压缩装置位于所述脉冲放大模块与所述第二时间延迟线之间,所述脉冲压缩装置用于压缩所述

子光束的脉冲宽度以提高所述子光束的脉冲光峰值功率。

19、根据权利要求 18 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述空气电离显示装置还包括：

多个光束准直装置，多个所述光束准直装置一一对应地设在多个所述子光束的线路上，且所述光束准直装置位于所述脉冲压缩装置与所述第二时间延迟线之间，所述光束准直装置用于将所述子
5 光束调整成合束后满足电离阈值的准直光束。

20、根据权利要求 15-19 中任意一项所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述空气电离显示装置还包括：

所述第二合束镜为多个，所述第二合束镜的数量比所述子光束的数量少一个，多个所述第二合束镜沿其中一个所述子光束间隔开设置，其余所述子光束一一对应地投射在多个所述第二合束镜
10 上，并将多个所述子光束合并成一条光束。

21、根据权利要求 15-19 中任意一项所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述空气电离显示装置还包括：

多个第二反射镜，所述第二反射镜的数量与所述第二合束镜的数量相同，多个所述第二反射镜一一对应地设在多个所述第二时间延迟线与多个所述第二合束镜之间，用于将所述子光束反射到所
15 述第二合束镜上。

22、根据权利要求 21 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述空气电离显示装置还包括：

水冷散热器，所述水冷散热器连接所述脉冲种子源、所述分光耦合器、所述脉冲放大模块、所述脉冲压缩装置和所述光束准直装置，用于为所述脉冲种子源、所述分光耦合器、所述脉冲放大模块、所述脉冲压缩装置和所述光束准直装置散热。

20 23、根据权利要求 22 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述空气电离显示装置还包括：

脉冲光源壳体，所述脉冲种子源、所述分光耦合器、所述脉冲放大模块、所述脉冲压缩装置和所述光束准直装置均设在所述脉冲光源壳体内，所述脉冲光源壳体上形成有多个供所述子光束穿过的出光口；

温度传感器，所述温度传感器设在所述脉冲光源壳体内，用于检测所述脉冲光源壳体内部的温
25 度；

控制器，所述控制器信号连接所述温度传感器和所述水冷散热器，用于控制所述脉冲光源壳体
内的温度。

24、根据权利要求 23 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述控制器信号连接所述脉冲种子源、所述分光耦合器、所述脉冲放大模块、所述脉冲压缩装置和所述光束准直装置以控制所述
30 子光束的输出参数。

25、根据权利要求 16 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述脉冲放大模块包括：预放大模块和主放大模块，所述预放大模块位于所述主放大模块与所述分光耦合器之间。

26、根据权利要求 15 所述的空气电离显示装置，其特征在于，多个所述子光束中的脉冲的脉冲宽度为 10fs-100ns，脉冲能量为 10 μ J-100mJ，脉冲重复频率为 50Hz-10MHz。

27、根据权利要求 2 或 15 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述光场调控组件包括：
振镜组件，合并后的光束投射到所述振镜组件上，所述振镜组件对光束的方向进行调整；

透镜组件，所述振镜组件的出射光束投射到所述透镜组件上，所述透镜组件对光束聚焦在所述透镜组件的焦点位置电离空气形成实像；

5 空间光调制器，所述空间光调制器位于合束镜与所述振镜组件之间用于对光束的参数进行调整，其中，所述合束镜为第一合束镜或第二合束镜。

28、根据权利要求 1 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述脉冲光源模块包括：

多个脉冲光源，用于分别产生脉冲光束；

10 其中，每个所述脉冲光源的脉冲能量小于空气电离阈值且多个所述脉冲光源的脉冲能量之和大于空气电离阈值。

29、根据权利要求 28 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述空气电离显示装置还包括：

第二重复频率调节组件，所述第二重复频率调节组件设在所述脉冲光源与所述显示区域之间，用于调整所述多个脉冲光源的重复频率。

15 30、根据权利要求 29 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述第二重复频率调节组件包括：

多个第二光电探测器，多个所述第二光电探测器一一对应地设在多个所述脉冲光源与所述显示区域之间，用于探测所述脉冲光源的重复频率；

第二频率参考源，所述第二频率参考源用于提供频率参考标准；

20 第二伺服控制器，所述第二伺服控制器信号连接所述第二光电探测器、所述第二频率参考源与所述脉冲光源，用于根据所述第二光电探测器的反馈信息与所述第二频率参考源的反馈信息控制所述脉冲光源的输出脉冲重复频率。

31、根据权利要求 30 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述脉冲光源与所述显示区域之间设有第三分光片，多个所述第三分光片一一对应地将多个所述脉冲光源的部分光束反射到多个所述第二光电探测器上。

25 32、根据权利要求 31 所述的空气电离显示装置，其特征在于，

每个所述脉冲光源包括脉冲发生器，所述脉冲发生器用于产生脉冲光束；

30 所述光场调控模块包括与多个所述脉冲光源一一对应的光场调控器，所述光场调控器位于对应的所述脉冲发生器与所述显示区域之间，所述脉冲发生器产生的脉冲光束照射在所述光场调控器上并经过所述光场调控投射到所述显示区域上，所述第三分光片位于对应的所述脉冲发生器与所述光场调控器之间。

33、根据权利要求 32 所述的空气电离显示装置，其特征在于，所述脉冲光源模块还包括：

第二脉冲时间延迟监测器，所述第二脉冲时间延迟监测器设在多个所述脉冲光源与所述显示区域之间，用于监测所述脉冲光源的脉冲延迟信号；

第三时间延时线，所述第三时间延时线设在所述脉冲发生器与所述光场调控器之间并与所述第

二脉冲时间延迟监测器信号相连,用于根据所述第二脉冲时间延迟监测器的反馈信息补偿所述脉冲光源的射出光束的脉冲时延。

34、根据权利要求 33 所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述第三时间延时线的数量与所述脉冲光源的数量相同,多个所述第三延时线与多个所述脉冲光源一一对应。

5 35、根据权利要求 34 所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述第三分光片与所述光电探测器之间设有第四分光片,所述第四分光片将所述第三分光片的反射光束部分反射到所述第二脉冲时间延迟监测器上。

36、根据权利要求 35 所述的空气电离显示装置,其特征在于,所述第四分光片为多个,其中一个所述第四分光片与所述第二脉冲时间延迟监测器之间设有第三合束镜,其余所述第四分光片与
10 所述第三合束镜之间设有第三反射镜,所述第三反射镜用于将所述第四分光片投射的光束反射到所述第三合束镜上。

37、根据权利要求 28-36 中任意一项所述的空气电离显示装置,其特征在于,多个所述脉冲光源的重复频率相同,所述脉冲光源的脉冲宽度为 50fs-100ns,所述脉冲光源的脉冲能量为 20 μ J-10mJ,所述脉冲光源的重复频率为 500Hz-10MHz。

15