



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112654899 A

(43) 申请公布日 2021.04.13

(21) 申请号 201980051096.5

(22) 申请日 2019.08.01

(30) 优先权数据

62/713,735 2018.08.02 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.02.01

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2019/044744 2019.08.01

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2020/028716 EN 2020.02.06

(71) 申请人 利特洛普技术有限公司

地址 美国纽约州格雷特内克309号切特米
尔路80,11021

(72) 发明人 丹尼尔·达马吉 欧哈德·哈莱乌

阿曼德·韦达德孔德

保罗弗兰克司·麦克马那蒙

阿兰艾力·维尼尔

(74) 专利代理机构 上海元好知识产权代理有限公司 31323

代理人 张静洁 张妍

(51) Int.Cl.

G02B 5/08 (2006.01)

G02B 5/09 (2006.01)

G02B 5/122 (2006.01)

G02B 5/124 (2006.01)

G02B 5/18 (2006.01)

G02B 6/00 (2006.01)

G02B 6/10 (2006.01)

G02B 13/24 (2006.01)

H04J 14/00 (2006.01)

H04J 14/02 (2006.01)

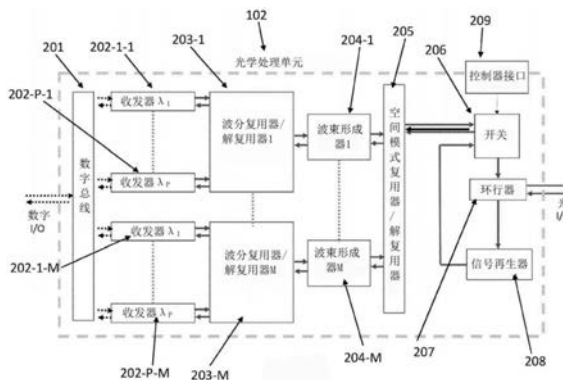
权利要求书4页 说明书18页 附图8页

(54) 发明名称

用于在空腔内存储波信号的装置和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种装置,包括:空腔,空腔包括多个内表面或反射元件;一个或多个发射器,其被配置为接收电信号,将电信号转换成电磁波信号,并将电磁波信号引入空腔的内部;以及一个或多个接收器,其被配置为提取电磁波信号,将电磁波信号转换成相应的电信号,并将相应的电信号传输到空腔的外部。通过在空腔的多个内表面或多个反射元件之间或在空腔内经历一系列的反射或来回传播,使电磁波信号被限制在空腔的内部。该装置进一步包括一个或多个再生器,该再生器被配置为再放大、再整形和/或再定时在所述空腔的所述内部传播的所述电磁波信号。



1. 一种使用电磁波存储的装置,其特征在于,包括:
空腔,所述空腔包括多个内表面或反射元件;
一个或多个发射器,其被配置为接收电信号,将所述电信号转换成电磁波信号,并将所述电磁波信号引入所述空腔的内部;
以及一个或多个接收器,其被配置为提取所述电磁波信号,将所述电磁波信号转换成相应的电信号,并将所述相应的电信号传输到所述空腔的外部,
其中通过在所述空腔的所述多个内表面或反射元件之间或在所述空腔内经历一系列的反射或来回传播,使所述电磁波信号被限制在所述空腔的所述内部。
2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:
一个或多个再生器,其被配置为再放大、再整形和/或再定时在所述空腔的所述内部传播的所述电磁波信号。
3. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:
真空泵,所述真空泵被配置为将所述空腔的所述内部基本维持在真空条件下。
4. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述电磁波信号包括调制激光束。
5. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述电磁波信号包括高斯波束。
6. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述电磁波信号包括空间模式。
7. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述空腔基本上是密封的。
8. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述空腔包括立方体空腔、矩形空腔、管状空腔、圆环体空腔、球形空腔、多面体空腔、平行四边形空腔、棱柱形空腔或卵形空腔。
9. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述空腔包括谐振腔,所述谐振腔被配置为在所述电磁波信号的一个或多个频率下产生谐振。
10. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述一个或多个发射器包括至少一个激光器和至少一个调制器。
11. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述一个或多个发射器包括至少一个直调激光器。
12. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述一个或多个接收器包括至少一个光电探测器。
13. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述一个或多个发射器中的至少一个和所述一个或多个接收器中的至少一个共同设置在收发器中。
14. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述一个或多个发射器中的至少一个或所述一个或多个接收器中的至少一个位于空腔内。
15. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述空腔的所述内表面至少部分由反射镜、反射涂层、光栅或光子微结构材料制成,所述反射镜、反射涂层、光栅或光子微结构材料被配置为反射或再生或分离或处理入射电磁波信号。
16. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于,其中所述一个或多个再生器包括晶体或光纤。
17. 根据权利要求16所述的装置,其特征在于,其中所述晶体或所述光纤被掺杂。
18. 根据权利要求17所述的装置,其特征在于,其中所述晶体或所述光纤掺杂有荧光元件。

19. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于,其中所述一个或多个再生器包括至少一个放大器和至少一个吸收器。

20. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于,其中所述一个或多个再生器包括至少一个被配置为在饱和状态下工作的放大器。

21. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于,其中所述一个或多个再生器包括非线性滤波器。

22. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括透镜、光栅、超材料和光学材料中的至少一种,其中所述透镜、光栅、超材料和光学材料中的至少一种被配置为重聚焦或重整形在所述空腔的所述内部传播的所述电磁波信号。

23. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中所述反射元件包括位于所述空腔的所述内部的多个第一平行板,其中每个所述第一平行板的每一边的至少一部分包括一反射表面或其上设置有一反射元件的表面。

24. 根据权利要求23所述的装置,其特征在于,其中所述第一平行板设置成彼此基本等距。

25. 根据权利要求23所述的装置,其特征在于,其中所述反射元件进一步包括垂直于所述多个第一平行板设置的多个第二平行板和垂直于所述多个第一和第二平行板设置的多个第三平行板,使得所述多个第一、第二和第三平行板在所述空腔的所述内部限定多个子空腔,其中所述第二和第三平行板中的每一个的每一边的至少一部分包括一反射表面或其上设置有一反射元件的表面,并且所述电磁波信号被限制在所述多个子空腔中的至少一个子孔腔的内部直至被提取。

26. 根据权利要求25所述的装置,其特征在于,其中所述第二平行板设置成彼此基本等距。

27. 根据权利要求26所述的装置,其特征在于,其中所述第三平行板设置成彼此基本等距。

28. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括信号聚焦装置,所述信号聚焦装置设置在所述空腔的一个或多个所述内表面或反射元件上或邻近所述一个或多个内表面或反射元件,并被配置为分离两个相邻的重叠电磁波束,并将它们聚焦到所述反射内表面或反射元件上的分离点。

29. 根据权利要求28所述的装置,其特征在于,其中所述信号聚焦装置包括梯度折射率材料、光子晶体结构、反射镜结构或衍射结构。

30. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,其中
所述空腔包括立方体空腔,并且

所述立方体空腔的两个相对侧的所述内表面的部分包括多个反射镜,所述多个反射镜被配置为反射入射电磁波信号,使得所述电磁波信号在基本垂直于所述立方体空腔的所述两个相对侧的第一平面内以曲折方式传播。

31. 根据权利要求30所述的装置,其特征在于,其中所述多个反射镜中的每个反射镜被配置为以角度 $\alpha = \sin^{-1}(s / (2\sqrt{c^2 + s^2}))$ 反射所述入射电磁波信号,其中 c 是所述立方体空腔的边长, s 是所述电磁波信号的横向光斑尺寸。

32. 根据权利要求30所述的装置,其特征在于,其中所述装置还包括信号引向元件,所

述信号引向元件被配置为指引所述电磁波信号在一第二平面内传播的方向,所述第二平面基本上平行于并邻近所述第一平面。

33. 根据权利要求30所述的装置,其特征在于,其中所述装置还包括信号引向元件,所述信号引向元件被配置为指引所述电磁波信号在一第二平面内传播的方向,所述第二平面基本上垂直于所述第一平面。

34. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于,其中所述一个或多个指示器包括全光再生器或光电再生器。

35. 一种使用电磁波存储装置的方法,其特征在于,所述电磁波存储装置包括一具有多个内表面或反射元件的空腔、一个或多个发射器、和一个或多个接收器,其中所述方法包括以下步骤:

由所述一个或多个发射器接收电信号;

由所述一个或多个发射器将收到的电信号转换成电磁波信号;

由所述一个或多个发射器将所述电磁波信号引入所述空腔的内部,其中通过在所述空腔的所述多个内表面或反射元件之间经历一系列反射或来回传播,所述电磁波信号被限制在所述空腔的所述内部;

由所述一个或多个接收器提取所述电磁波信号;

由所述一个或多个接收器将所述提取的电磁波信号转换成相应的电信号;以及

从所述一个或多个接收器将所述相应的电信号传输到所述空腔的外部。

36. 根据权利要求35所述的方法,其特征在于,其中所述电磁波存储装置进一步包括一个或多个再生器,并且所述方法进一步包括由所述一个或多个再生器对在所述空腔的所述内部传播的所述电磁波信号进行再放大、再整形和/或再定时。

37. 根据权利要求35所述的方法,其特征在于,其中所述方法还包括将所述空腔的所述内部基本保持在真空条件下。

38. 根据权利要求35所述的方法,其特征在于,其中由所述一个或多个发射器将所述收到的数据转换成电磁波信号的步骤包括由所述一个或多个发射器将所述收到的数据转换成调制激光束。

39. 根据权利要求35所述的方法,其特征在于,其中由所述一个或多个发射器将所述收到的数据转换成电磁波信号的步骤包括由所述一个或多个发射器将所述收到的数据转换成高斯波束。

40. 根据权利要求35所述的方法,其特征在于,其中由所述一个或多个发射器将所述收到的数据转换成电磁波信号的步骤包括由所述一个或多个发射器将所述收到的数据转换成空间模式。

41. 根据权利要求35所述的方法,其特征在于,其中所述方法还包括通过使用透镜、光栅、光学材料和超材料中的至少一种重聚焦或重整形在所述空腔的所述内部传播的所述电磁波信号。

42. 根据权利要求35所述的方法,其特征在于,其中所述电磁波存储装置还包括信号聚焦装置,所述信号聚焦装置设置在所述空腔的一个或多个所述内表面或反射元件上或邻近一个或多个所述内表面或反射元件,并被配置为分离两个相邻的重叠电磁波束,并将它们聚焦到所述反射内表面或反射元件上的分离点,并且该方法还包括以下步骤:

通过使用所述信号聚焦装置聚焦入射电磁波信号,以及
通过使用所述信号聚焦装置将所述电磁波信号重定向至相反的方向。

43. 根据权利要求42所述的方法,其特征在于,其中所述信号聚焦装置包括梯度折射率材料、光子晶体结构、反射镜结构或衍射结构。

44. 根据权利要求35所述的方法,其特征在于,其中

所述空腔包括立方体空腔,并且所述立方体空腔的两个相对侧的所述多个内表面的部分包括多个反射镜,以及

所述方法还包括由所述多个反射镜反射入射电磁波信号,使得所述电磁波信号在基本垂直于所述立方体空腔的所述两个相对侧的第一平面内以曲折方式传播。

45. 根据权利要求44所述的方法,其特征在于,其中由所述多个反射镜反射所述入射电磁波信号的步骤包括由所述多个反射镜的每个反射镜以角度 $\alpha = \sin^{-1}(s / (2 \sqrt{c^2 + s^2}))$ 反射所述入射电磁波信号,其中 c 是所述立方体空腔的边长, s 是所述电磁波信号的横向光斑尺寸。

46. 根据权利要求44所述的方法,其特征在于,其中所述电磁波存储装置还包括信号引向元件,并且所述方法还包括由所述信号引向元件指引所述电磁波信号在第一第二平面内传播的方向,所述第二平面基本上平行于并邻近所述第一平面。

47. 根据权利要求44所述的方法,其特征在于,其中所述电磁波存储装置还包括信号引向元件,并且所述方法还包括由所述信号引向元件指引所述电磁波信号在第一第二平面内传播的方向,所述第二平面基本上垂直于所述第一平面。

48. 根据权利要求36所述的方法,其特征在于,其中所述一个或多个再生器包括全光再生器,并且对所述电磁波信号进行再放大、再整形和/或再定时的步骤由所述全光再生器在光域中执行。

49. 根据权利要求36所述的方法,其特征在于,其中:

所述一个或多个再生器包括光电再生器,以及

对所述电磁波信号进行再放大、再整形和/或再定时的步骤包括以下步骤:

由所述光电再生器将所述电磁波信号转换成相应的电信号;

由所述光电再生器对所述相应的电信号进行再放大、再整形和/或再定时,以及

由所述光电再生器将所述再生的电信号转换成光域中相应的电磁波信号。

50. 根据权利要求35所述的方法,其特征在于,其中所述传输步骤或所述提取步骤中的至少一个是在所述空腔内进行的。

用于在空腔内存储波信号的装置和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本非临时专利申请要求2018年8月2日提交的美国临时专利申请62/713,735的权益和优先权,该临时专利申请的全部内容通过引用并入本文。

技术领域

[0003] 本发明涉及本发明涉及信息存储技术领域,具体地涉及一种用于在空腔内以波信号存储信息的装置和方法。

背景技术

[0004] 数据中心、宽带通信和计算密集型信号处理的发展促进了对功耗更低的高容量数据存储的需求。此外,现代数据中心通常要求快速访问存储在同一公共驱动器上的同一数据以执行例如高性能计算(HPC)。另外,信息技术(IT)存储行业的许多参与者(例如,终端客户、数据中心、在系统编程(ISP)程序员、在电路编程(ICP)程序员等)对能够立即地、确定地、且完全地擦除敏感数据(例如,政府数据、军事数据)的兴趣越来越大。

[0005] 目前,用于在数据中心中存储数据的示例存储装置有固态存储器(SSD,如基于非易失性NAND闪存的存储器)和硬盘驱动器(HDD)。以固态存储装置为基础的传统数据中心具有各种缺点。例如,使用上述传统存储装置的数据存储消耗大量功率并且需要昂贵的维护。此外,涉及许多传统存储装置的数据存储产生大量热量,因此需要冷却系统,这又需要额外的成本和能耗。另外,受限于电子装置的速率,上述传统的电磁波存储装置的数据读取或写入的处理能力为例如几Gb/s。此外,当从传统的非易失性固态存储器中擦除数据时,通常会留下被擦除数据的印记,并且通过适当的技术手段可以提取被擦除的数据。进一步地,当使用这些传统存储装置扩展数据中心时,需要购买更多的存储装置,或者需要用性能更好的存储装置来替换当前的存储装置。因此,使用传统存储装置构建和升级数据中心成本高且耗时。

[0006] 因此,需要一种数据存储装置和方法,其能够克服使用传统存储装置的数据存储的一个或多个上述和其他缺陷。

发明内容

[0007] 现已发现,本发明的上述和相关目的是由几个相关联方面实现的,包括一种用于在空腔内存储波信号(例如移动中数据)的装置和方法。

[0008] 更具体地,本发明涉及一种装置,该装置包括:空腔,该空腔包括多个内表面或反射元件;一个或多个发射器,其被配置为接收电信号,将电信号转换成电磁波信号,并将电磁波信号引入该空腔的内部;以及一个或多个接收器,其被配置为提取电磁波信号,将电磁波信号转换成相应的电信号,并将相应的电信号传输到该空腔的外部,其中通过在空腔的多个内表面或反射元件之间或在空腔内经历一系列的反射或来回传播,使电磁波信号被限制在空腔的内部。

[0009] 在至少一个实施例中,该装置还包括一个或多个再生器,该再生器被配置为再放大、再整形和/或再定时在空腔内部传播的电磁波信号。在至少一个实施例中,该再生器可以包括全光再生器或光电再生器。

[0010] 在至少一个实施例中,空腔内部被配置为能够实现不同于空腔外部大气压水平的大气压水平。在至少一个实施例中,空腔内部被配置为使得大气压水平低于空腔外部大气压水平。

[0011] 在至少一个实施例中,该装置还包括真空泵,该真空泵被配置为将空腔内部基本维持在真空条件下。

[0012] 在至少一个实施例中,电磁波信号包括调制激光束。

[0013] 在至少一个实施例中,电磁波信号包括任何波束形状。在至少一个实施例中,电磁波信号包括高斯波束。在至少一个实施例中,电磁波信号包括非高斯波束。

[0014] 在至少一个实施例中,电磁波信号包括空间模式。在至少一个实施例中,电磁波信号包括轨道角动量(OAM)模式。

[0015] 在至少一个实施例中,空腔基本上是密封的。

[0016] 在至少一个实施例中,空腔包括立方体空腔、矩形空腔、管状空腔、圆环体空腔、球形空腔、多面体空腔、平行四边形空腔、棱柱形空腔或卵形空腔。

[0017] 在至少一个实施例中,空腔包括谐振腔,该谐振腔被配置为在电磁波信号的一个或多个频率下产生谐振。

[0018] 在至少一个实施例中,一个或多个发射器包括至少一个激光器和至少一个调制器。

[0019] 在至少一个实施例中,一个或多个发射器包括至少一个直调激光器。

[0020] 在至少一个实施例中,一个或多个接收器包括至少一个光电探测器。

[0021] 在至少一个实施例中,一个或多个发射器中的至少一个和一个或多个接收器中的至少一个共同设置在收发器中。

[0022] 在至少一个实施例中,空腔的内表面至少部分由反射镜、反射涂层、光栅或被配置为反射或再生或分离或处理入射电磁波信号的光子微结构材料制成。

[0023] 在至少一个实施例中,一个或多个再生器包括晶体或光纤。

[0024] 在至少一个实施例中,晶体或光纤被掺杂。在至少一个实施例中,晶体或光纤掺杂有荧光元件。

[0025] 在至少一个实施例中,一个或多个再生器包括至少一个放大器和至少一个吸收器。

[0026] 在至少一个实施例中,一个或多个再生器包括至少一个被配置为在饱和状态下工作的放大器。

[0027] 在至少一个实施例中,一个或多个再生器包括非线性滤波器。

[0028] 在至少一个实施例中,一个或多个再生器包括全光再生器或光电再生器。

[0029] 在至少一个实施例中,该装置还包括透镜、光栅、超材料和光学材料中的至少一种,该透镜、光栅、超材料和光学材料中的至少一种被配置为重聚焦或重整形在空腔内部传播的电磁波信号。

[0030] 在至少一个实施例中,反射元件包括位于空腔内部的多个第一平行板,其中每个

第一平行板的每一边的至少一部分包括反射表面或其上设置有反射元件的表面。在至少一个实施例中,第一平行板设置成彼此基本等距。

[0031] 在至少一个实施例中,反射元件还包括垂直于第一平行板设置的多个第二平行板和垂直于第一和第二平行板设置的多个第三平行板,使得第一、第二和第三平行板在空腔内部限定多个子空腔,其中第二和第三平行板中的每一个的每一边的至少一部分包括反射表面或其上设置有反射元件的表面,并且电磁波信号被限制在至少一个子空腔的内部直至被提取。在至少一个实施例中,第二平行板设置成彼此基本等距。在至少一个实施例中,第三平行板设置成彼此基本等距。

[0032] 在至少一个实施例中,该装置还包括信号聚焦装置,该信号聚焦装置设置在空腔的一个或多个内表面或反射元件上或邻近该一个或多个内表面或反射元件,并被配置为分离两个相邻的重叠电磁波束,并将它们聚焦到反射内表面或反射元件上的分离点。

[0033] 在至少一个实施例中,信号聚焦装置包括梯度折射率材料、光子晶体结构、反射镜结构或衍射结构。

[0034] 在至少一个实施例中,空腔包括立方体空腔,并且立方体空腔的两个相对侧的内表面的部分包括多个反射镜,该多个反射镜被配置为反射入射电磁波信号,使得该电磁波信号在基本垂直于立方体空腔的两个相对侧的第一平面内以曲折方式传播。

[0035] 在至少一个实施例中,每个上述反射镜被配置为以角度 $\alpha = \sin^{-1}(s/\sqrt{c^2+s^2})$ 反射入射电磁波信号,其中 c 是立方体空腔的边长, s 是电磁波信号的横向光斑尺寸。

[0036] 在至少一个实施例中,该装置还包括信号引向元件,该信号引向元件被配置为指引电磁波信号在第一平面内传播的方向,该第二平面基本上平行于并邻近第一平面。

[0037] 在至少一个实施例中,该装置还包括信号指向元件,该信号指向元件被配置为指引电磁波信号在第一平面内传播的方向,该第二平面基本上垂直于第一平面。

[0038] 此外,本发明还涉及一种使用电磁波存储装置的方法,该电磁波存储装置包括具有内表面或反射元件的空腔、一个或多个发射器、和一个或多个接收器,该方法包括以下步骤:由一个或多个发射器接收电信号;由一个或多个发射器将接收的电信号转换成电磁波信号;由一个或多个发射器将电磁波信号引入空腔内部,其中通过在空腔的内表面或反射元件之间经过一系列反射或来回传播,电磁波信号被限制在空腔内部;由一个或多个接收器提取电磁波信号;由一个或多个接收器将提取的电磁波信号转换成相应的电信号;以及从一个或多个接收器将相应的电信号传输到空腔外部。

[0039] 在至少一个实施例中,电磁波存储装置进一步包括一个或多个再生器,并且该方法进一步包括由一个或多个再生器对在空腔内部传播的电磁波信号进行再放大、再整形和/或再定时。

[0040] 在至少一个实施例中,该方法还包括使空腔内部的大气压水平不同于空腔外部的大气压水平。在至少一个实施例中,该方法还包括将空腔内部的大气压水平降低到低于空腔外部的大气压水平。

[0041] 在至少一个实施例中,该方法还包括将空腔内部基本保持在真空条件下。

[0042] 在至少一个实施例中,由一个或多个发射器将接收到的数据转换成电磁波信号的步骤包括由一个或多个发射器将接收到的数据转换成调制激光束。

[0043] 在至少一个实施例中,由一个或多个发射器将接收到的数据转换成电磁波信号的

步骤包括由一个或多个发射器将接收到的数据转换成高斯波束、非高斯波束或任何其他波束形状。

[0044] 在至少一个实施例中,由一个或多个发射器将接收到的数据转换成电磁波信号的步骤包括由一个或多个发射器将接收到的数据转换成空间模式。在至少一个实施例中,由一个或多个发射器将接收到的数据转换成电磁波信号的步骤包括由一个或多个发射器将接收到的数据转换成轨道角动量(OAM)模式。

[0045] 在至少一个实施例中,该方法还包括通过使用透镜、光栅、光学材料和超材料中的至少一种重聚焦或重整形在空腔内部传播的电磁波信号。

[0046] 在至少一个实施例中,电磁波存储装置还包括信号聚焦装置,该信号聚焦装置设置在空腔的一个或多个内表面或反射元件上或邻近该一个或多个内表面或反射元件,并被配置为分离两个相邻的重叠电磁波束,并将它们聚焦到反射内表面或反射元件上的分离点,并且该方法还包括以下步骤:通过使用信号聚焦装置聚焦入射电磁波信号,以及通过使用信号聚焦装置将电磁波信号重定向至相反的方向。

[0047] 在至少一个实施例中,信号聚焦装置包括梯度折射率材料、光子晶体结构、反射镜结构或衍射结构。

[0048] 在至少一个实施例中,空腔包括立方体空腔,并且立方体空腔的两个相对侧的内表面的部分包括多个反射镜,并且该方法还包括由该多个反射镜反射入射电磁波信号,使得电磁波信号在基本垂直于立方体空腔的两个相对侧的一第一平面内以曲折方式传播。

[0049] 在至少一个实施例中,由多个反射镜反射入射电磁波信号的步骤包括由每个反射镜以角度 $\alpha = \sin^{-1}(s/\sqrt{c^2+s^2})$ 反射入射电磁波信号,其中 c 是立方体空腔的边长, s 是电磁波信号的横向光斑尺寸。

[0050] 在至少一个实施例中,电磁波存储装置还包括信号引向元件,并且该方法还包括由信号引向元件指引电磁波信号在一第二平面内传播的方向,该第二平面基本上平行于并邻近该第一平面。

[0051] 在至少一个实施例中,电磁波存储装置还包括信号引向元件,并且该方法还包括由信号引向元件指引电磁波信号在一第二平面内传播,该第二平面基本上垂直于该第一平面。

[0052] 在至少一个实施例中,一个或多个再生器包括全光再生器,并且对电磁波信号进行再放大、再整形和/或再定时的步骤由全光再生器在光域中执行。

[0053] 在至少一个实施例中,一个或多个再生器包括光电再生器,并且对电磁波信号进行再放大、再整形和/或再定时的步骤包括以下步骤:由光电再生器将电磁波信号转换成相应的电信号,由光电再生器对相应的电信号进行再放大、再整形和/或再定时,以及由光电再生器将再生的电信号转换成光域中相应的电磁波信号。

[0054] 尽管上面已经列举了具体的特征、能力和优点,但是各实施例可以包括部分或者所有或者不包括所列举的特征、功能和优点。在阅读以下附图、具体实施方式和权利要求之后,将更全面地理解所公开客体的上述和其他技术特征、功能和优点以及本发明本身。

附图说明

[0055] 下文将参照附图描述本发明的示例性实施例,其中:

- [0056] 图1是使用立方体空腔的本发明示例性实施例的示意图。
- [0057] 图2是根据本发明示例性实施例的光学处理单元的示意图,其中示意性地示出了其组件及组件之间的相互连接。
- [0058] 图3是根据本发明示例性实施例的再生器及其工作的示意图。
- [0059] 图4A是图1的立方体空腔的两个相对侧的内表面的截面图,示出了根据本发明的示例性实施例在内表面之间反射或来回传播的电磁波束。
- [0060] 图4B示出了根据本发明示例性实施例的信号引向元件。
- [0061] 图4C是图1的立方体空腔的两个相对侧的内表面的截面图,示出了根据本发明的示例性实施例在内表面之间反射或来回传播的电磁波束。
- [0062] 图4D是根据本发明示例性实施例的由梯度折射率材料制成的信号聚焦装置的截面图,该信号聚焦装置分离两个重叠的电磁波束。
- [0063] 图4E是包括设置在图1的立方体空腔两个相对侧上的信号聚焦装置的内表面的截面图,示出了根据本发明的示例性实施例的在信号聚焦装置之间反射或来回传播的电磁波束。
- [0064] 图4F是图1的立方体空腔两个相对侧的内表面的截面图,示出了根据本发明示例性实施例的在内表面之间反射或来回传播的电磁波束。
- [0065] 图4G是根据本发明示例性实施例的包含多个平行板的空腔的截面图。
- [0066] 图5示出了准直电磁波束的瑞利(Rayleigh)范围。
- [0067] 图6示出了在以其焦点为中心的瑞利范围内传播的高斯波束。
- [0068] 图7A是根据本发明示例性实施例的矩形空腔的等距视图。
- [0069] 图7B是根据本发明另一示例性实施例的矩形空腔的等距视图。
- [0070] 图8是管腔底部的剖视图,示出了根据本发明的示例性实施例的用于容积计算的管底部的正方形区域。
- [0071] 图9是卵形空腔的截面图,示出了根据本发明的示例性实施例在空腔的内表面之间穿行的电磁波信号。

具体实施方式

[0072] 信息或任何种类的数据可以存储为电磁波(例如,激光、波束、射频(RF)信号、其他类型的电磁波信号,仅举数例),电磁波可以在各种传输介质(例如,自由空间、真空、晶体、非线性介质、光波导、光纤等)中的结构之间或结构内部传输和/或反射。术语“电磁波信号”和“电磁波束”在本文可互换使用。本文使用的电磁辐射或电磁束可以包括任何种类的电磁信号,包括激光束或信号、微波激射束或信号、波束或信号、或任何类型的有线或无线信号(包括声波、无线电波、红外辐射、紫外辐射、微波波段传输)、或上述一种以上的任意组合。虽然本文有时简称为激光束或信号,但是也包括其他类型的光信号和其他类型的电磁辐射传输(包括无线电波、微波、红外、紫外和电磁辐射的波长带宽的组合),无论是导向的、成形的、定相的,还是非导向的、非成形的、非定相的。

[0073] 循环回路通过保持携带数据的电磁波信号持续反射或来回传播,在结构之间或结构内传输和/或反射,并根据需要再生(例如,通过信号放大或再生),可用于存储“移动中数据”。循环回路可以由例如卫星或其他在自由空间内或通过波导(例如一根或多根光纤)反

射或以其他方式重传数据的飞船构建。循环回路还可以包括波导,例如光纤。在美国专利申请第15/465,356号中描述了在循环回路中存储移动中数据的各种系统和方法,该申请已作为美国专利申请第2017/0280211A1号公开,并通过引用整体并入本文。

[0074] 为了增加上述系统的数据存储时间和容量,电磁波信号需要在循环回路中保持或“延迟”尽可能长的时间。电磁信号的延迟还可以有其他应用,例如能够在远程激光雷达或雷达中使用较短相干长度主振荡器。

[0075] 空腔可以被配置为提供一种用于存储或限制电磁波信号(例如移动中数据)的循环回路。此外,空腔可以被配置为提供多次反射或重定向电磁波信号的各种表面从而累积飞行时间延迟。在本文中,术语“空腔”是指包括任何尺寸或形状的至少一个部分或完全封闭的空间(例如,部分开放或完全密封的外壳)的、电磁波信号可以在其中传播的任何结构。空腔内的封闭空间可以是中空的,并且这种中空空间在接近真空的条件下具有大约为1的折射率,这允许电磁波信号在真空中以接近光速的速度传播。或者,空腔内的封闭空间可以填充有折射率大于1的材料(例如,固体、晶体、非晶材料、液体等),其中电磁波信号的传播比在真空中慢。在另一个例子中,空腔可以是由其自身的内表面和外表面封闭的固体材料(例如,晶体、非晶固体,仅举数例)。优选地,填充空腔的这种材料被配置为允许以低损耗存储或限制电磁波信号。

[0076] 如下文进一步描述的,空腔的示例性几何形状包括立方体空腔、矩形空腔、管状空腔、圆环体空腔、球形空腔、多面体空腔、平行四边形空腔、棱柱形空腔和卵形空腔等(仅举数例)。换句话说,空腔的几何形状可以被构造成适合任何结构、建筑或装置中的任何可用空间(仅举数例)以构建数据中心或任何类型的客户数据计算和/或存储设施或装置。例如,集装箱、壁橱、建筑物中的房间、多层建筑物的内部空间、或封闭的足球场均可以是提供循环回路来存储移动中数据的空腔。在实施例中,该腔可以包括在电磁波信号的一个或多个频率处产生谐振的光学谐振腔。

[0077] 电磁波信号可以通过例如在空腔的内表面之间和/或放置在空腔内的反射元件之间经过一系列反射或来回传播而限制在空腔内部。在实施例中,电磁波信号可以是任何类型的电磁波束和不同电磁波束的任何组合。在实施例中,电磁波信号可以是任何波长的电磁波,并且可以包含任何数量的不同波长。在实施例中,电磁波信号可以是任何空间模式,并且可以包含任何数量的不同空间模式。例如,即将限制在空腔内部的电磁波信号可以包括调制激光束、其他类型的调制电磁波束、高斯束、各种空间模式的电磁波束(例如圆形模式、方形模式、轨道角模式(OAM))、厄米高斯或拉盖尔高斯,仅举数例。

[0078] 在由空腔提供的给定内部空间内,空腔的内表面和/或空腔内的反射元件可以被配置为增加在空腔内部传播的电磁波信号的路径长度和存储时间。电磁波信号的路径长度是指电磁波信号在空腔内传播的距离,存储时间是指电磁波信号的路径长度除以在空腔内携带移动中数据的光或其他电磁波信号(例如声音)的速度。随着存储时间的延长和路径长度的增加,可以在空腔内存储更多的移动中数据,而不需要更高的数据速率来将数据引入空腔。由此,如果携带移动中数据的电磁波信号是声波,那么(与光速相比)低得多的声速使得人们能够在空腔中存储更大量的移动中数据,而不需要将数据引入空腔时的更高数据速率。

[0079] 根据示例性实施例,用于存储电磁波信号(例如移动中数据)的装置可以包括任何

形状、或尺寸的空腔。空腔可以是部分封闭的,在内部空间和空腔外部之间具有一个或多个开口。可替代地,空腔可以是完全封闭和基本密封的,在空腔的内部和外部之间没有开口。

[0080] 为了限制电磁波信号,空腔可以包括放置在空腔内的内表面或反射元件,其为电磁波信号的传播直至从空腔中的提取构建循环回路。空腔内表面的全部或仅仅部分可以是反射性的。空腔的部分或所有内表面可以包括任何种类的反射元件或材料(例如镜子、反射涂层(仅举数例))、或光栅,或者被配置为反射、再生、分离和/或处理入射电磁波信号的任何其他光子微结构材料。在实施例中,内表面的反射率可以尽可能接近1,因为内表面的高反射率将减少电磁波信号因反射而导致的功率和强度的任何损失。

[0081] 该示例性装置还可以包括一个或多个发射器和一个或多个接收器,其可以分别用作输入端口以将调制电磁波信号形式的数据引入空腔内部,以及用作输出端口以从空腔内部提取电磁波信号。发射器可以被配置为从空腔外部或空腔内部接收电子或电信号(例如,数字数据),将电信号转换成电磁波信号,并将电磁波信号引入空腔内部,使得电磁波信号传播从而限制在空腔内。应当理解,发射器可以使用任何调制方案(例如,QAM、NRZ、QPSK等)和/或本领域普通技术人员已知的确保数据在空腔内无错传播所必须的任何数字信号处理技术(例如纠错等)将电子或电信号放在电磁波信号上。发射器可以包括至少一个激光器和至少一个调制器。或者,发射器可以包括至少一个直调激光器。在实施例中,可以使用反射窗口内各种不同波长的激光器。接收器可以被配置为从空腔内部提取电磁波信号,将电磁波信号转换成相应的电信号(例如,数字数据),并将相应的电信号传输到空腔外部。接收器可以包括至少一个光电探测器。在实施例中,该装置可以包括一个或多个收发器,其中至少一个发射器和至少一个接收器在物理上或功能上被放置或组合在一起。

[0082] 在实施例中,用于存储电磁波信号(例如移动中数据)的装置可以进一步包括一个或多个放大器和/或再生器,其被配置为将电磁波信号的一些或所有方面恢复到它们的原始或先前状态。在实施例中,该装置可以进一步包括一个或多个被配置为清除限制在空腔内部并在空腔内部传播的电磁波信号的装置。在空腔内部传播的电磁波信号可能遭受强度和振幅的损失、信号的扩散和/或噪声和误差的增加,这是由于例如表面的多次反射、各种色散和非线性效应、空腔的扰动、随机散射事件和/或光的自发发射。因此,电磁波信号在空腔内传播时可能需要在不同的时间点或空间点再生。

[0083] 在实施例中,再生器可以沿电磁波束路径设置,并用于将通过的电磁波信号恢复到其原始状态和/或补偿任何退化。

[0084] 全信号再生通常被称为“3R”过程,包括信号的重定时、重整形和重放大(或放大)。该装置中的再生器可以被配置为进行全电磁波信号再生。可替代地,装置中的再生器可以被配置为通过部分地重定时和/或重整形和/或重放大电磁波信号以仅恢复电磁波信号的一些方面。在实施例中,再生器还可以被配置为实现纠错以恢复丢失的信息或纠正引入移动中数据的错误。装置的再生器数量取决于腔体的设计和腔体元件的性能,并且可以从零至到非常大的数量。

[0085] 被配置为全部或部分地重放大、重整形和/或重计时电磁波信号的任何装置均可用于构建再生器。再生器可以通过多种方式实现。在实施例中,再生器可以是全光或光电再生器,其中全光再生器被配置为在光域中以全光方式再生电磁波信号,而光电再生器被配置为将电磁波信号转换为电域中的相应电信号,以电方式再生转换后的电信号,并将再生

后的电信号转换回光域中的相应电磁波信号。在实施例中,再生器可以包括至少一个放大器和至少一个吸收器。在实施例中,再生器可以包括至少一个被配置为在饱和状态下工作的放大器。在实施例中,放大器可以是配置为放大光信号的任何装置。在实施例中,放大器可以包括晶体或光纤。在实施例中,晶体和光纤可以掺杂有荧光元件。在实施例中,放大器中使用的光纤可以包括在输入端将光信号注入光纤的附加装置,以及在输出端将波束恢复到其原始形状和尺寸的另一个装置。在实施例中,再生器可以包括非线性滤波器,该非线性滤波器被配置为提供稳定增益并降低电磁波信号中的噪声。在实施例中,再生器可以包括晶体或光纤。在实施例中,再生器可以包括掺杂的晶体或光纤。在实施例中,晶体或光学元件可以掺杂有荧光元件。在实施例中,再生器中使用的光纤可以包括在输入端的附加装置以将电磁波信号注入光纤,以及在输出端的另一装置以将电磁波束恢复到其原始形状和尺寸。

[0086] 在实施例中,用于存储电磁波信号的装置可以包括空腔,其中空腔内部被配置为能够实现的大气压水平不同于(例如,高于或低于)空腔外部大气压水平。在实施例中,空腔内部可以被配置为使得大气压水平低于空腔外部大气压水平。例如,这可以通过真空泵或任何其他减压装置来实现。在实施例中,用于存储电磁波信号的装置可以进一步包括真空泵和/或用于产生“洁净室”型环境的其他装置,该环境可以用于在空腔内部保持期望水平的真空条件(例如,真空,或者接近真空的低气压)。可替代地,该装置可以整体放置在真空中(例如外部空间),作为在空腔中提供真空条件的另一种方式。通过将空腔内部基本保持在真空条件下,减小或消除了大气对电磁波信号的影响,并且在空腔内部传播的电磁波信号遭受的功率损失或数据降级可忽略不计。例如,灰尘和其他小颗粒会引起电磁波信号的电磁波的衍射。而在真空条件下,可以在基本密封的空腔中消除灰尘和其他小颗粒。类似地,真空泵和/或用于产生“洁净室”型环境的其他装置可用于减少或消除部分密封的空腔中存在的灰尘和其他小颗粒。此外,光或电磁波信号在真空中传播产生的热量可以忽略不计,因此减少了对装置冷却系统的需求。

[0087] 根据示例性实施例,存储电磁波信号(例如移动中数据)的方法可以包括以下过程。来自空腔外部的电信号(例如,电子数字数据)可以被一个或多个发射器接收,发射器将接收到的电信号转换成电磁波信号。应当理解,发射器可以使用任何调制方案(例如,QAM、NRZ、QPSK等)和/或本领域普通技术人员已知的确保数据在空腔内无错传播所必须的任何数字信号处理技术(例如纠错等)将电子或电信号放在电磁波信号上。发射器将电磁波信号引入空腔内部,电磁波信号通过在空腔的内表面或反射元件之间经过一系列反射或来回传播而被限制在空腔内部。电磁波信号可以从空腔内部提取,并由一个或多个接收器转换成相应的电信号(例如,电子数字数据)。接收器然后将相应的电信号传输到空腔外部。

[0088] 在实施例中,为了补偿电磁波信号在空腔内部传播时的任何劣化,可以使用一个或多个再生器将电磁波信号恢复到其原始或先前的振幅或波形。在实施例中,为了减少或消除大气对电磁波信号的影响,空腔内部的大气压水平可以不同于空腔外部的大气压水平。例如,空腔内部的大气压水平可以低于空腔外部的大气压水平。该步骤可以通过例如真空泵、用于产生“洁净室”型环境的其他装置和/或任何减压装置来执行。在实施例中,通过真空泵,可以使空腔内部基本上保持在真空条件下。

[0089] 空腔的数据存储容量可以取决于光路长度L的大小、所使用的带宽B或波长范围、

所使用的调制格式(例如,信号调制的比特/符号和类型)以及每个频率/波长 M 所使用的电磁波信号所用电磁模态(例如,激光、偏振或空间复用)的数量。取决于空腔的设计,电磁波信号可以是任何空间横向和/或纵向形状(例如,圆形、正方形、轨道角度模式,仅举数例)。例如,空腔的总数据存储容量可以通过以下公式计算: $M \times L \times B / 2 \times (\# \text{bits/symbol}) / v$,其中 v 是电磁波信号在空腔内的传播速度。如果空腔处于真空状态,那么电磁波信号的速度将是真空中的光速。人们可以通过例如扩展限制在空腔内的电磁波信号的带宽或模式(例如,通过使用附加形式的多路复用)来增加空腔的数据存储容量,而不必增加更多的占地面积和/或替换现有的硬件。

[0090] 在实施例中,用于存储电磁波信号(例如移动中数据)的装置还可以被配置为通过熄灭或“关闭”限制在空腔内的电磁波信号来删除存储在空腔中的移动中数据。当电磁波信号消失时,存储在其中的数据会确定地立即丢失,并且无法恢复,这与从固态存储器中擦除的数据不同。

[0091] 现在参考附图,特别是图1,描述了一个示例性实施例,其形式为使用立方体空腔101存储移动中数据的装置100。虽然空腔壁可以是不透明的,并且不一定是透明的或半透明的,但是图1将立方体空腔101示出为其空腔壁是透明的,以便呈现在空腔内部的空腔内表面之间来回传播的电磁波信号104。如图1所示,通过在空腔的内表面之间经过一系列反射或来回传播,电磁波信号被限制在空腔101的内部。

[0092] 立方体空腔101的六个侧面中的每一个侧面的内表面的一些或所有部分可以是反射的,以允许入射电磁波信号的反射。在实施例中,空腔内表面的一些部分可以是非反射性的(而非不透明或透明的)以便于装置的工作设计。空腔101的内表面可以使用任何种类的反射元件或材料(例如镜子、反射涂层(仅举数例))或光栅,或者被配置为反射、再生、分离和/或处理入射电磁波信号的任何其他光子微结构材料。表面的反射率由反射光或电磁波信号(P_r)的功率除以入射光或电磁波信号(P_i)的功率来定义,并且小于或等于1。在实施例中,立方体空腔101的内表面的反射率尽可能接近1。

[0093] 如图1所示,用于存储电磁波信号(例如移动中数据)的示例性装置100可以包括一个或多个光学处理单元(OPUs或“终端接入点(TAP Point)”)102。每个OPU 102可以被配置为用作输入/输出(I/O)端口,以接收电信号(例如数字数据),从而作为电磁波信号存储在空腔101中,并且从空腔101访问和提取所存储的电磁波信号。用于该装置的OPUs的数量和位置不限于图1所示,并且可以是任意和灵活的,以适应耦合到该装置的任何数量和布置的计算单元、设备和/或数据中心。在实施例中,一个或多个OPUs 102可以位于空腔101的内部。

[0094] 每个OPU 102可以包括多个功能子组件,并且可以包含发射器、接收器、再生器和用于电子和/或光子处理的其他功能子组件中的一个或多个。发射器的一般目的是将数据写入空腔101。为此,发射器可以被配置为使用例如激光将电信号(例如数字数据)转换成携带移动中数据的电磁波信号104。发射器可以包括激光器和调制器,或者直调激光器。电磁波信号可使用不同波长的激光,只要它们在空腔101的反射窗口内。OPU 102可以包含所需数量的发射器。每个发射器还可以包含所需数量的数字和/或光子子组件,以调制任何复杂格式的电磁波信号104和/或为电磁波信号的波束形状生成任何横向空间模式。

[0095] 接收器的一般目的是从空腔101读取数据。接收器可以包括光电探测器,该光电探

测器被配置为将电磁波信号104转换成电信号,例如电子数字数据。OPU 102可以包含所需数量的接收器。每个接收器还可以包含用于纠错或其他数字处理目的的数字和/或光子子组件。

[0096] 在实施例中,OPU 102还可以包括一个或多个再生器,其被配置为再生在空腔101中传播的电磁波信号104。再生器可以被配置为重放大和/或重计时和/或重整形电磁波信号。再生器还可以被配置为实施纠错以恢复电磁波信号中丢失的信息(例如,丢失的数据比特)。再生器可以包括全光再生器或光电再生器。

[0097] 在实施例中,OPU 102还可以被配置为通过熄灭或“关闭”电磁波信号来删除存储在空腔中的移动中数据。当电磁波信号消失时,存储在其中的数据会立即完全丢失,并且无法提取,这与从固态存储器中擦除的数据不同。

[0098] 图2提供了根据示例性实施例的OPU 102的示意图。如图所示,电子数字数据通过数字总线201输入到OPU 102或从OPU 102输出。数字总线201耦合到一个或多个收发器202。每个收发器202可以包括至少一个发射器和至少一个接收器。在实施例中,OPU 102可以包括对应于电磁波信号不同波长的多个收发器。可以使用任何波长和任何数量的不同波长。此外,OPU 102还可以包括对应于电磁波信号不同空间模式的多个收发器。可以使用任何空间模式和任何数量的不同空间模式。

[0099] 例如,图2示出了OPU 102包括多个收发器,每个收发器对应于P个不同波长中的每一个和M个不同空间模式中的每一个,即总共 $P \times M$ 个收发器(收发器202-1-1用于 λ_1 和空间模式1, ..., 收发器202-P-1用于 λ_p 和空间模式1, ..., 收发器202-1-M,用于 λ_1 和空间模式M...收发器202-P-M,用于 λ_p 和空间模式M)。收发器202-1-x至收发器202-P-x中的每一个可以被配置为将通过数字总线201接收的数字数据转换成具有相应波长 $\lambda_1 \cdots \lambda_p$ 。应当理解,每个收发器可以使用任何调制方案(例如,QAM、NRZ、QPSK等)和/或本领域普通技术人员已知的确保数据在空腔内无错传播所必须的任何数字信号处理技术(例如纠错等)将电子或电信号放在电磁波信号上。

[0100] 在实施例中,OPU 102还可以包括一个或多个波分复用器/解复用器。例如,图2示出了OPU 102包括多个波分复用器/解复用器203-1...203-M,每个对应于电磁波信号的M个不同空间模式中的一个。每个波分多路复用器203可以被配置为将不同波长的不同电磁波束组合成单个电磁波束,而每个波分多路分解器203可以被配置为相反的功能,即将包含许多波长的电磁波束分离成不同波长的电磁波束。每个波分复用器/解复用器可以通过使用一组滤波器、棱镜、谐振器和/或光栅来实现,这些滤波器、棱镜、谐振器和/或光栅被配置为基于电磁波束的波长来重定向电磁波束。

[0101] 如图2所示,来自收发器202-1-x至202-P-x的具有P个不同波长的电磁波束可以由波分复用器203-x组合成单个电磁波束,其可以由对应于空间模式x的波束形成器204-x进一步处理。例如,OPU102可以包括对应于M个不同横向空间模式的M个波束形成器204-1...204-M,如图2所示。每个波束形成器204可以被配置为将入射电磁波束转换成具有特定波束轮廓(例如,特定横向空间模式)的电磁波束。这些波束形成器可以产生任何空间模式和任何数量的不同空间模式。在实施例中,波束形成器204可以包括可被重新编程的基于液晶的空间光调制器。可替代地,波束形成器204可以包括具有反射或透明表面的相位掩模,该相位掩模可以相对于电磁波束的横向空间位置修改电磁波束的相位。

[0102] 在实施例中,OPU 102还可以包括空间模式复用器/解复用器205。空间模式复用器205可以被配置为将不同波束轮廓(例如,具有不同横向空间模式)的电磁波束组合成包含所有入射波束轮廓(例如,横向空间模式)的单个波束。另一方面,空间模式解复用器205可以被配置为执行相反的功能,即将包含许多波束轮廓(例如,横向空间模式)的电磁波束分离成具有不同波束轮廓(例如,横向空间模式)的电磁波束。在实施例中,空间模式复用器可以包括耦合器或组合器,其可以通过将两个入射电磁波束组合成一个分束器的组合来实现。在实施例中,空间模式解复用器可以包括在另一个方向上使用的分束器,使得入射电磁波束被传播到不同的路径中。在每个路径上,可以使用包括空间光调制器或相位掩模的空间滤波器,其被配置为分离不同的波束轮廓(例如,横向空间模式)。

[0103] 如图2所示,具有M个不同横向空间模式的来自波束形成器204-1...204-M的电磁波信号可以由空间模式复用器205组合成单个电磁波信号,该单个电磁波信号现在包含P个不同的波长和M个不同的空间模式。该单个电磁波信号可以被发送至可由控制器接口209控制的开关206。当开关206接通时,基于接收到的电信号(例如数字数据)产生并由OPU 102处理以包括P个不同波长和M个不同空间模式的电磁波信号通过例如光环行器207被引入空腔101的内部。光环行器是一种多端口光学装置,其被配置为使得进入任何端口的电磁波束从下一个端口射出。

[0104] 在实施例中,OPU 102可以包括一个或多个再生器208。例如,包含在空腔101中的电磁波信号可以通过环行器207从空腔内部提取,并被发送到再生器208用于完全或部分再生。来自再生器208的再生电磁波信号然后可以被发送到开关206,使得再生电磁波信号可以通过光环行器207被重新引入空腔101的内部,如图2所示。

[0105] 在实施例中,图2所示的OPU 102还可按以下方式允许读取或提取存储在空腔101中的电磁波信号(例如,携带移动中数据的电磁波信号):电磁波信号可以通过环行器207从空腔101中提取,由再生器208再生,并发送到单个 2×2 开关206。或者,可以使用两个 1×2 光开关来代替单个开关206。电磁波信号然后可以分别由空间模式解复用器205和波长解复用器203解复用成具有不同横向空间模式和不同波长的电磁波束。收发器202然后将电磁波信号转换回电子域中的相应电信号,并通过数字总线201将相应的电信号发送到空腔外部。

[0106] 在实施例中,与任何OPU 102分离的一个或多个再生器可以沿光路放置在空腔101的内部。例如,图3示出了放置在空腔内部的示例性再生器301的工作。再生器301可以包括无定形非晶体材料或具有补偿特性的晶体堆。优选地,再生器301被配置为将电磁波信号束(例如,进入的微弱电磁波信号束303)重放大、重整形和/或重计时为再生的电磁波信号束304,而不改变其形状和/或向电磁波信号添加噪声。优选地,再生器301被配置为允许从泵302到电磁波信号304的有效能量传递。在实施例中,再生器301中晶体的泵送可以通过电或者通过附着在晶体上的光学激光器来进行。再生器301的晶体可以是高度非线性的或者最终掺杂有荧光元素。在实施例中,再生器301可以是全光再生器或光电再生器。

[0107] 图2中所示的OPU 102不仅可以用于立方体空腔,例如图1中所示的立方体空腔101,还可以用于任何尺寸或形状的空腔,包括矩形空腔(如图7A-7B中所示)、管腔(例如图8中所示的管腔801),卵形腔(例如图9中的卵形腔901),以及谐振腔,仅举数例。

[0108] 回到图1,根据示例性实施例,可选地,用于存储电磁波信号的示例性装置100可以

包括真空泵105。真空泵105可用于确保空腔101内部保持期望水平的真空条件。真空可用于通过减少或消除空腔101内的大气畸变或灰尘颗粒来保持电磁波信号束104的期望质量或强度。

[0109] 现在参考图4A,描绘了立方体空腔101的两个相对侧的内表面402的截面图,示出了根据本发明的示范性实施例在内表面之间来回传播的电磁波束401。电磁波束401具有横向光斑尺寸 s (或者,如果电磁波束是圆形的,则具有直径)。电磁波束的光斑可以是任何形状,这取决于电磁波束401的横向空间模式或波束形状。

[0110] 如图4A所示,装置100的OPU 102或发射器可以被配置为使得电磁波束401从与腔体上侧平行的立方体的角403进入腔体101的内部。然而,电磁波束进入空腔的位置和方式不受本发明的限制,电磁波束可以以任何方式从空腔壁的任何位置进入空腔。

[0111] 在立方体空腔101的两个相对侧的每一边,可以放置一组倾斜的反射镜402。这些反射镜402中的每一个可以被配置为将入射电磁波束反射到位于相对侧上的下一个反射镜,使得电磁波束401以曲折方式在立方体空腔101的两个相对侧的内表面之间传播,如图4A所示。

[0112] 在实施例中,反射镜402可以进一步被配置为将入射电磁波束反射到位于相对侧上的下一个反射镜,使得电磁波束401在基本上垂直于立方体空腔101的两个相对侧的平面中以曲折方式传播。例如,每个反射镜401可以相对于立方体的相应边倾斜角度 $\alpha = \sin^{-1}(s / (2\sqrt{c^2 + s^2}))$,其中 c 是立方体空腔101的边长, s 是电磁波束的横向光斑尺寸。如图4A所示,电磁波束401通过被立方体相对侧上的上述反射镜402反射,可以以曲折方式扫过立方体空腔的一面,其中该面的表面积为 c^2 ,厚度为 s 。在实施例中,倾斜反射镜402还可以包括光学功率,以聚焦或散焦入射电磁波束。在实施例中,倾斜反射镜402可以被配置为重新聚焦电磁波束以保持其小。在实施例中,代替倾斜的反射镜,信号聚焦装置、光子结构、衍射结构、超材料或其他光学元件可以被放置在立方体空腔的侧面以将电磁波束偏转期望的角度(例如,角度 α)。

[0113] 空腔101还可以包括信号导向装置或元件,其被配置为将传播中的电磁波束导向不同的方向。例如,信号引向元件404可以放置在与电磁波束被引入空腔101内部的点403对角相对的角,如图4A所示。信号引向元件404可以被配置为相对于垂直于图4A所示的电磁波束传播401的平面以一定角度(例如,角度 α)引导电磁波束401。例如,信号引向元件404可以包括反射镜,该反射镜略大于电磁波束尺寸,并且可以放置在角附近并且相对于电磁波束传播401的平面倾斜一定角度(例如,角度 α)。可替代地,信号引向元件404可以包括其他光学元件或材料,例如其折射率被设计成以期望的方式引导电磁波束的透明材料、波导、梯度折射率(GRIN)材料、棱镜或这些元件和材料的任何合适的组合。尽管这些光学材料和元件的带宽可能有限,但是使用这些材料和元件的适当组合可以克服它们的局限性。

[0114] 电磁波束可以由信号引向元件404导向至立方体相对侧上的另一个信号引向元件,例如,相对于与图4B所示的前一电磁波束传播的平面平行的平面倾斜角度 α 的反射镜405。该信号引向元件405可以被配置为以角度 α 引导电磁波束,使得电磁波束的传播变得平行于图4A所示的先前传播的平面。在被信号引向元件405反射之后,电磁波束401通过图4B所示反射镜的402反射以曲折方式开始在下一个与图4A所示先前传播的平面邻近并平行的平面中传播。

[0115] 在实施例中,空腔101可以进一步包括附加的信号引向元件,使得电磁波束401可以通过重复上述反射过程(例如,在x-y平面中以曲折方式反射)并引导至下一级(例如,由信号引向元件404、405在z方向上引导)而在一个方向上扫过立方体空腔101的体积。

[0116] 在实施例中,空腔101可以进一步包括附加的信号引向元件,其被配置为在垂直于先前传播方向的方向上引导电磁波束,使得当立方体空腔101的体积已经被电磁波束在一个方向上扫过时,该信号引向元件可以被配置为引导电磁波束在立方体空腔内的垂直于初始传播平面(例如,x-y平面)的平面(例如,x-z平面)中传播。例如,在电磁波束已经完成了在一个方向上扫描立方体空腔的体积的位置,可以放置比电磁波束尺寸稍大的反射镜,以90°引导电磁波束。为此,反射镜相对于空腔的侧壁倾斜45°,该侧壁平行于入射电磁波束的方向。可替代地,信号引向元件可以包括其他光学元件或材料,例如其折射率设计成以期望的方式引导电磁波束的透明材料、波导、梯度折射率(GRIN)材料、棱镜或这些元件和材料中的任何一种的任何合适的组合。虽然这些光学材料和元件的带宽可能有限,但是使用这些材料和元件的适当组合可以克服它们的局限性。

[0117] 在实施例中,电磁波束在垂直于电磁波束传播的初始平面的平面中的传播可以通过放置在立方体的另外两个不同侧面上的反射镜之间的反射来实现,反射镜的布置类似于图4A所示。当立方体空腔101已经被第二次扫过时(例如,在x-z平面中的之字形),可以在空腔101内提供其他信号引向元件以在垂直方向上引导电磁波束,使得电磁波束在垂直于电磁波束先前使用的两个传播平面(例如,x-y和x-z平面)的平面(例如,在y-z平面中的之字形)中传播。这样,电磁波束可以在垂直于前两次扫描的方向上第三次扫描空腔101。

[0118] 在实施例中,在电磁波束已经第三次扫过立方体空腔101之后,附加的信号引向元件,例如垂直于电磁波束传播方向设置的反射镜,可以用于在相反的方向上反射电磁波束,使得电磁波束可以开始在相反的方向上再扫过立方体空腔101的体积三次。

[0119] 回到图4A,假设s小于c,因此角度α较小,在电磁波束传播的每个平面中,电磁波束401从内表面402反弹 $2c/s$ 次,并且在每次反弹之后传播大约距离c。因此,每个平面的电磁波束的路径长度是 $2c^2/s$ 。假设立方体空腔101的所有侧面具有与图4A所示相同的内表面布置,电磁波束在三个垂直方向上扫过立方体空腔体积六次的路径长度是 $L=12c^3/s^2$ 。

[0120] 根据内表面(例如镜子)的反射率,放大器和/或再生器可以沿电磁波束路径放置以将电磁波信号恢复到其原始强度和形状(例如,上文结合图3所讨论的)。此外,通过例如使用真空泵105实现空腔101内部的真空条件,电磁波束在两个内表面(例如,反射镜402)之间的传播期间不被吸收。在这种情况下,可以使用可用激光器的整个频谱来扩展带宽,从而扩展空腔的数据存储时间和容量。

[0121] 此外,空腔内可使用各种光学装置以重聚焦或重整形在空腔内传播的电磁波束。例如,这种光学装置的构造可使用透镜、光栅、超材料、和被配置为修改电磁波束的波前的其他光学元件或材料中的一个或多个。

[0122] 电磁波信号的波束尺寸可能是空腔的数据存储容量的重要因素。电磁波束的束腰作为距离R的函数由(1)给出:

$$[0123] \quad w(R) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{R}{R_f}\right)^2}, \quad \text{其中 } w_0 = \sqrt{\lambda R_f / \pi} \quad (1)$$

[0124] 其中 λ 是电磁波束的波长, R_f 是瑞利(Rayleigh)范围。

[0125] 如果从孔径发射准直波束,那么束腰及其直径在作为远场(far field)起点的瑞利范围 R_f 之外扩展 $\sqrt{2}$ 倍。图5示出了准直波束如何在瑞利范围 R_f 内的近场中保持准直,并在瑞利范围之外的恒定角度波束宽度处开始发散。

[0126] 在实施例中,反射表面可以用于将电磁波束聚焦在两个反射表面之间,而不是使用曲面来将反射的电磁波恢复为准直波。在这种情况下,电磁波束在相对的反射表面上具有相同的尺寸,而不是大 $\sqrt{2}$ 倍。例如,图6示出了电磁波束大小在焦点的两侧是相同的。

[0127] 电磁波束的尺寸可以保持较小以便在空腔内存储大量的数据。此外,为了避免过度的功率损失,每个聚焦元件优选地被配置为捕获高百分比的电磁波束。为了捕获高百分比的电磁波束,光学元件(例如孔径、透镜、镜子等)的直径 D 可膨胀1.5倍,相当于束腰 w_0 的3倍,如(2)所示:

$$[0128] \quad D = 3 \sqrt{(\lambda R_f / \pi)}, \quad (2)$$

[0129] 在实施例中,诸如OAM模式的空间模式可以与高斯模式一起使用,以增加数据存储能力。这种基本高斯波束是已知发散度最低的电磁波波束。如果使用OAM模式,则电磁波束尺寸可以基于设计波长来设置,并且在相同的波束尺寸内,许多OAM模式可以位于较短的波长内。根据空间复用的示例性实施例,任意给定范围的OAM模式的束腰随着OAM模式数 L 的绝对值的平方根而增加。这样,波束直径 D 的公式(2)可以修改为(3):

$$[0130] \quad D = 3 \sqrt{(\lambda R_f (\sqrt{L}) / \pi)}, \quad (3)$$

[0131] 其中假设链路两端的电磁波束直径相同。

[0132] 在实施例中,具有特定设计波长的高斯模式的电磁波束可用于数据存储。在较短的波长下,通过使用更多的OAM模式,可以使波束尺寸保持不变。波长越短,可以使用的OAM模式越多。

[0133] 在实施例中,电磁波信号可以存储在具有两个彼此面对的平行反射板的空腔内,该两个平行反射板之间的距离为瑞利范围。例如,移动中数据可以通过电磁波束在两个反射板之间沿一个方向来回传播而存储在空腔中。当电磁波束打在对面板上时,其直径扩大了 $\sqrt{2}$ 倍。在这种情况下,不需要使用远场角衍射极限,因为两板之间的距离在近场和远场之间的过渡处。

[0134] 现在参考图4C,其描绘了根据另一示例性实施例的立方体空腔101的截面图,该立方体空腔101在空腔的两个相对侧上具有两个倾斜的连续镜板431。当电磁波束到达空腔内表面上的反射元件时,为了最小化电磁波束的束斑尺寸,电磁波束优选在两个相对的立方体侧壁之间的中途达到其最小尺寸。此外,为了在接收器处捕获高百分比(例如,超过99%)的电磁波束,孔径优选地具有至少 $s = 3 \sqrt{(\lambda c / \pi)}$ 的直径,其中 λ 是电磁波束的波长, c 是立方体空腔101的边长。

[0135] 对于多波长电磁波束,电磁波束的横向光斑尺寸可以根据电磁波束的波长而不同。如图4C所示,具有短波长的电磁波束432具有较小的光斑尺寸,而具有长波长的电磁波束433具有较大的光斑尺寸。因此,为了确保没有电磁波束重叠,可以使用最高波长来计算两个镜板431相对于立方体的相应侧倾斜的角度 α 。由于处于最高波长的电磁波束的小部分(例如,小于1%)可能仍然重叠,为了不丢失电磁波束的那些部分,连续反射镜431或信号聚焦装置可以用作立方体空腔101侧壁上的内表面,如图4C所示。实际上,最高波长的范围是

从1微米至20微米,相当于 5×10^{-4} 弧度至 10^{-2} 弧度的角度。在这种情况下,光程长度的上限由 $L=4c^2\pi/(3\lambda)$ 给出,其中 c 是立方体空腔的边长, λ 是电磁波信号的波长。

[0136] 在实施例中,空腔101内的电磁波束可以在撞击空腔的内表面或反射元件之前和/或之后聚焦到较小的光斑尺寸,以增加电磁波束的路径长度。这可以通过例如将一个或多个信号聚焦装置放置在空腔的内表面上或邻近该内表面来实现,所述信号聚焦装置是被配置为将每个电磁波束聚焦到小光斑尺寸(例如,小至几微米)的光学装置,即使电磁波束可能重叠。在实施例中,信号聚焦装置也可以放置在腔内任何地方的任何反射元件上或邻近。在实施例中,信号聚焦装置可以被配置为区分和分离两个相邻的重叠电磁波束,并将它们聚焦到空腔的内表面或反射元件上的分离点。在实施例中,信号聚焦装置可用于补偿多波长电磁波信号上的任何最终色散。

[0137] 例如,信号聚焦装置可以包括一层或多层梯度折射率(GRIN)材料。图4D示出了根据示例性实施例,由多层GRIN材料制成的信号聚焦装置453如何区分和分离重叠的入射电磁波束451和出射电磁波束452,并将它们聚焦到空腔内表面454上的分离点。

[0138] 图4E是根据示例性实施例的立方体空腔101的两个相对侧上的内表面443的剖视图,其中信号聚焦装置442放置在该内表面上或与其相邻。图4E示出了电磁波束441在每次从内表面443和信号聚焦装置442反射时被重定向。在该示例中,信号聚焦装置442被配置为区分两个重叠的电磁波束,并将它们聚焦在内表面443上的不同位置。

[0139] 在实施例中,信号聚焦装置可以由其他光学元件代替或与其他光学元件结合使用,例如被配置为将波束聚焦在空腔的任一侧的特殊几何形状的反射镜,和/或像信号聚焦装置中的孔的光子晶体结构,和/或衍射结构,以实现期望的光学效果。例如,高斯电磁波束可以在空腔内飞行时部分叠加,只要它们在恢复点相互区分。为了在例如发射器、接收器或收发器的输入/输出处分离电磁波束,可以使用不同角度的反射镜和/或信号聚焦装置的组合。图4F是根据另一示例性实施例的立方体空腔101的截面图。在立方体空腔101的一侧,放置了以一定角度倾斜的信号聚焦装置462和连续镜板464的组合,而在空腔101的相对侧,放置了以不同角度倾斜的镜463、465的组合。该示例性实施例被配置为在收发器处将重叠的电磁波束461离散成不同的电磁波束。

[0140] 为了增加空腔(例如立方体空腔)的数据存储容量,可以在空腔内部放置多个平行板。每个板的每一边可以部分或全部包括反射表面或其上设置有反射元件的表面。反射表面和反射元件中的每一个可以包括任何种类的反射元件或材料(例如镜子、反射涂层(仅举数例)、或光栅,或者被配置为反射、再生、分离和/或处理入射电磁波信号的任何其他光子微结构材料。在实施例中,如图4G所示,这些平行板471可以在立方体空腔101的内部彼此基本等距地设置。这些板可以沿着平行于立方体面的三个垂直方向中的任何一个放置。

[0141] 在实施例中,第二组平行板可以沿着平行于立方体面的另外两个垂直方向之一进一步添加到空腔中。第二组平行板可以彼此基本等距放置。在实施例中,第三组平行板可以进一步添加到空腔中,其中第三组平行板垂直于第一组和第二组平行板。第三组平行板可以彼此基本等距放置。第二和第三组平行板中的每一组的每一边可以部分或全部包括反射表面或其上设置有反射元件的表面。反射表面和反射元件中的每一个可以包括任何类型的反射元件或材料(例如镜子、反射涂层(仅举数例)、或光栅,或者被配置为反射、再生、分离和/或处理入射电磁波信号的任何其他光子微结构材料。第一、第二和第三组平行板可以一

起限定多个子空腔。这些子空腔中的一些或全部可以被配置为限制电磁波信号。

[0142] 假设一组多个平行板装配在整个立方体空腔101中,并且等距排列在具有边长为 c 的立方体空腔的两个相对侧之间,如图4G所示,则对于空腔中的 $(N+1)$ 个板,两个平行板471之间的距离为 c/N 。在这种情况下,因为瑞利范围更短,电磁波束的尺寸减小。在垂直于板的方向上,高斯波束的最佳横向波束尺寸将变为 $s=3\sqrt{(\lambda c/N\pi)}$ 。尽管两个平行板471之间的每个隔室的体积减小到 c^3/N ,但是在垂直于板的方向上,隔室中的光路保持不变,并且等于 $L=4c^2\pi/(9\lambda)$ 。当另外两个传播方向相加时,总光程长度从 $L=4c^2/(3\lambda)$ 增加到 $L=4(2+N)c^2\pi/(9\lambda)$ 。因此,使用沿一个方向排列的 $(N+1)$ 个平行板的示例性实施例可以将立方体空腔的数据存储容量增加 $(2+N)/3$ 倍。

[0143] 通过在每个隔间中的另外两个垂直方向上增加平行板,并遵循类似的理由,可以表明,如果在另一个方向上添加 $(N+1)$ 个平行板,则数据存储容量将增加 $(1+2N)/3$ 倍,如果在所有三个垂直方向上添加 $(N+1)$ 个平行板,则增加 N 倍。当在所有三个垂直方向的每一个方向上添加 $(N+1)$ 个平行板从而在空腔101内形成 N^3 子空腔时,立方体空腔的总数据存储容量将增加 N 倍。

[0144] 现在参考图7A和7B,示出了使用矩形空腔701和702来存储电磁波信号(例如移动中数据)的装置形式的示例性实施例,每个空腔具有长度 l 、高度 h 和宽度 w 。类似于例如图1和4A所示的立方体空腔的示例性实施例,优选地,矩形空腔701、702的所有方向和内表面被配置为最大化数据存储容量。基于上面结合立方体空腔101讨论的类似理由,其中 $h=l=w$,矩形腔701、702中的光路长度可以由 $L=12hlw/s^2$ 给出,其中 s 是从腔壁反弹的电磁波束斑的直径。

[0145] 为了最小化反弹次数,可以选择仅在平行于例如矩形腔的长度 l 的方向上传播电磁波束(例如激光束)。在该示例中,光路长度将减少3倍,并且反弹次数将从 $4hw/s^2+4lw/s^2+4hl/s^2$ 减少到 $4hw/s^2$,当矩形腔701的长度 l 大于其宽度 w 和高度 h 时,反弹次数的减少可能更为明显,如图7A所示。如果反射率小于1,减少反射次数可以减少空腔内表面的反射镜对电磁波束能量的吸收。从而对再生器的需求减少,消耗的功率也减少。

[0146] 图7B示出了矩形空腔702,其中其长度 l 小于其宽度 w 和高度 h 。图7B的这种短矩形空腔702对于在空腔内传播的电磁波信号仍然具有与图7A的较长矩形空腔701相同的存储时间。

[0147] 在实施例中,类似于上文结合例如图4D-4F描述的立方体空腔的示例性实施例,具有不同折射率的不同光学材料的信号聚焦装置,例如梯度折射率材料,以及光栅、透镜、光子结构、衍射结构、超材料和/或特殊几何形状的反射镜,可以用于矩形腔701、702中以分离重叠的电磁波束或者将电磁波束重新聚焦在腔壁上。在实施例中,类似于上文结合图4G讨论的立方体空腔的示例性实施例,多个平行板可以在三个垂直方向中的一个或多个方向上放置在矩形空腔701、702内,以增加数据存储容量。

[0148] 在实施例中,再生器可以沿光路放置在矩形空腔701、702内,用于将电磁波信号恢复到其原始状态和/或补偿任何退化。

[0149] 在实施例中,光学装置可用于重聚焦或重整形在矩形空腔701、702内传播的电磁波束。这种光学装置可以包括透镜、光栅、超材料或光学材料或元件的组合,其被配置为修改电磁波束的波前。

[0150] 根据另一示例性实施例,用于存储电磁波信号(例如移动中数据)的装置可以使用管腔。例如,可被准直或衍射的电磁波束可以以任何角度注入管腔。管腔可以包括被配置为重定向电磁波束的内部反射镜和/或其他光学元件。根据入射电磁波束的角度和用于重定向电磁波束的内部光学元件,可以构造任意长度的光路。

[0151] 图8是管腔801的底部802的剖视图。管腔801具有长度 l ,其底部具有直径 d 。例如,如果电磁波束平行于管长度传播,并且仅考虑与安装在盘状底部802内的正方形803覆盖的部分,则管腔801的光路长度可以估计为 $L=4ld^2/(2s^2)$ 。如果使用未被正方形803覆盖的部分,则可以获得甚至更多的数据存储容量。

[0152] 在实施例中,类似于上述基于立方体空腔和矩形腔的示例性实施例,具有不同折射率的不同光学材料(例如GRIN材料)的信号聚焦装置,以及光栅、透镜、超材料和/或特殊几何形状的反射镜,可以在管腔801内使用,以分离重叠的电磁波束或者将电磁波束重新聚焦在腔壁上。

[0153] 在实施例中,再生器可以沿着管腔801内的光路放置,并用于将电磁波信号恢复到其原始状态和/或补偿任何退化。

[0154] 在实施例中,光学装置可用于重聚焦或重整形在管腔801内传播的电磁波束。该光学装置可以包括透镜、光栅、超材料或光学材料或元件的组合,其被配置为修改电磁波束的波前。

[0155] 根据又一示例性实施例,用于存储电磁波信号(例如移动中数据)的装置可以使用卵形空腔。在实施例中,携带移动中数据的电磁波束可以以任何角度进入卵形空腔。根据进入的角度,电磁波束可以在卵形空腔内传播期望光学长度的路径。

[0156] 图9是根据示例性实施例的具有卵形弯曲反射内表面162的卵形空腔901的截面图。在该实施例中,输入/输出耦合器(例如,OPU)可以是反射表面162的部分透射部161,其允许输入波束163进入空腔,并且将空腔中功率的适当部分在每次往返中作为输出波束164耦合出。为了提供信号擦除和信号再生,擦除器103和增益介质153可以设置在位于信号波束路径中的空腔内。此外,非线性滤波器和/或多路复用元件也可以设置在空腔系统内。

[0157] 在实施例中,卵形腔901内可以使用具有不同折射率的不同光学材料(例如GRIN材料)制成的信号聚焦装置,以及光栅、透镜、超材料和/或特殊几何形状的反射镜,以分离重叠的电磁波束或者将电磁波束重新聚焦在腔壁上。

[0158] 在实施例中,再生器可以沿光路放置在卵形腔901内,并用于将电磁波信号恢复到其原始状态和/或补偿任何退化。

[0159] 在实施例中,光学装置可用于重聚焦或重整形在卵形腔901内传播的电磁波束。这种光学装置可以包括透镜、光栅、超材料或光学材料或元件的组合,其被配置为修改电磁波束的波前。

[0160] 根据另一示例性实施例,用于存储电磁波信号(例如移动中数据)的装置可以使用谐振腔,该谐振腔被配置为在电磁波信号的一个或多个频率处产生谐振。谐振腔可以是任何尺寸和形状,只要它被配置为在电磁波信号的一个或多个频率上产生谐振。例如,立方体空腔、矩形空腔、管状空腔和卵形空腔中的每一个都可以通过将电磁波信号的频率与空腔往返行程的倒数的倍数精确对准而产生谐振。在这样的谐振腔中,所有电磁波信号频率相长干涉,而任何寄生频率将被相消干涉所消除。在使用放大器补偿损耗的情况下,在谐振腔

中存储移动中数据可能是有用的。

[0161] 虽然已经结合以上概述的和附图中示出的示例性实施例描述了本发明,但是很明显,本发明的原理可以使用任何数量的无论当前是否已知的技术来实现,并且在形式和细节上的许多替代、修改和变化对于本领域技术人员来说是显而易见的。在不脱离本发明的范围的情况下,可以对这里描述的系统、装置和方法进行修改、添加或省略。例如,系统和装置的组件可以是集成的或分离的。此外,本文公开的系统 and 装置的工作可以由更多、更少或其他组件来执行,并且所描述的方法可以包括更多、更少或其他步骤。另外,步骤可以以任何合适的顺序执行。

[0162] 如本文所定义的,电磁波包括声波。因此,信息或任何种类的数据的移动中存储也可以使用声波(即声音)来实现。声速的代表值包括水中约1500米/秒,空气中约330米/秒,钢中约6000米/秒。(每种情形都有一个速度范围)。频率方面,声波可以在几十MHz的范围内。例如,一些医疗超声装置在几十MHz的范围内工作。通常,较低频率的声音在距离上的衰减也较小。

[0163] 在使用声波进行移动中存储的一个优点是相对较慢的声速。在这点上,如果携带信息或任何种类的移动中数据的波信号是声波,那么低得多的声速(与光速相比)使得人们能够在空腔中存储更大量的移动中数据,而不需要更高数据速率以将数据引入空腔。

[0164] 声波需要某种介质才能传播。使用各种传输介质(例如空气和钢,仅举数例)中的声波,可以在结构之间或结构内传输和/或反射信息或任何种类的数据。使用声波的移动中存储的实施例可以使用这样的介质来构建。对于钢来说,铁轨可能是一种长距离媒介。声波可以使用各种振动源产生,包括晶体换能器和扬声器,等等。麦克风检测声波。声学技术是音响系统、消除振动系统和测量振动系统的重要基础。根据在本申请中公开的实施例中采用的原理,该装置技术可以用于开发使用声波的移动中存储系统。

[0165] 因此,如上所述,本发明的示例性实施例旨在是说明性的,而不是限制性的,并且本发明的精神和范围将被宽泛地解释,并且仅由所附权利要求限定,而不由前述说明书限定。

[0166] 此外,除非另有特别说明,附图中描绘的物品不一定按比例绘制。

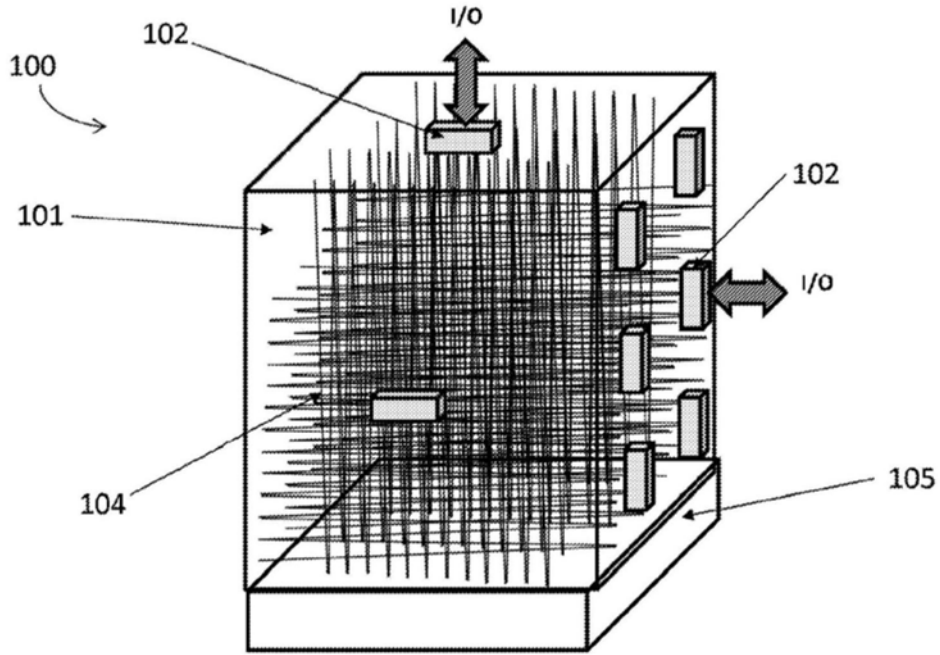


图1

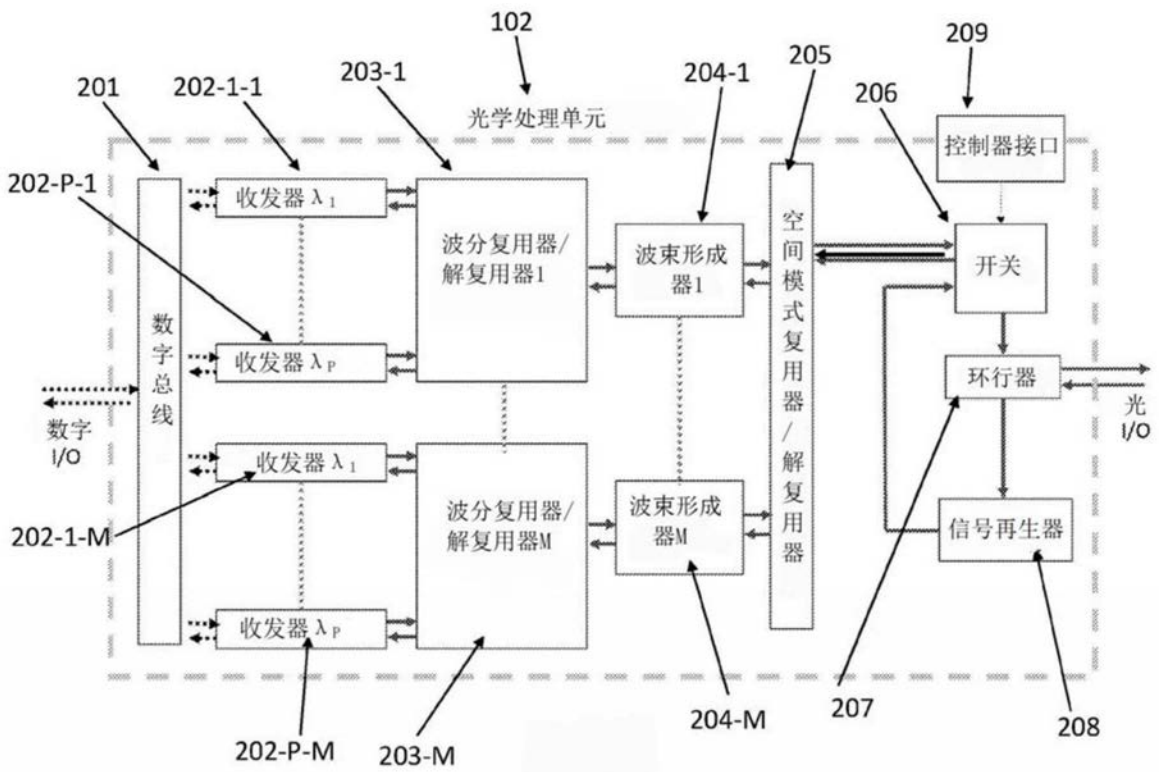


图2

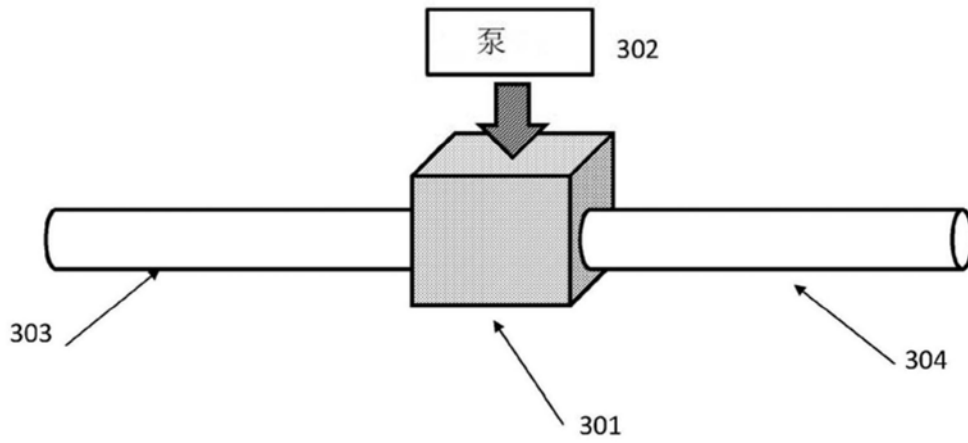


图3

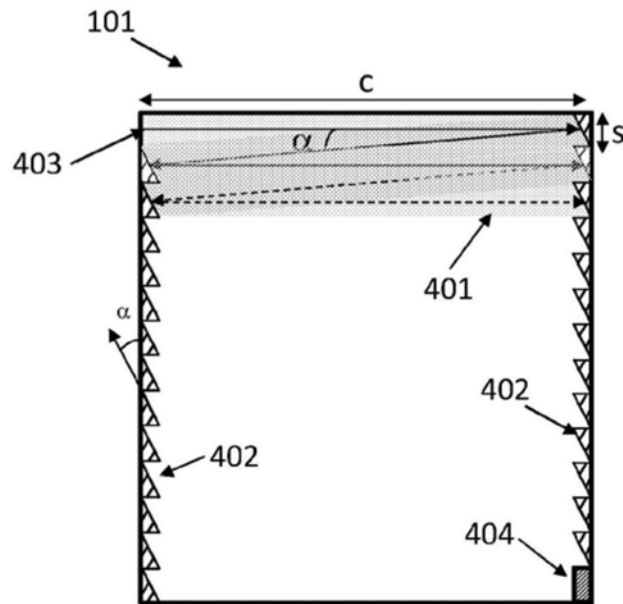


图4A

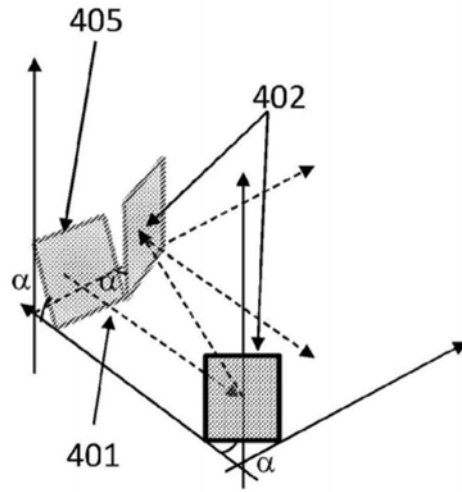


图4B

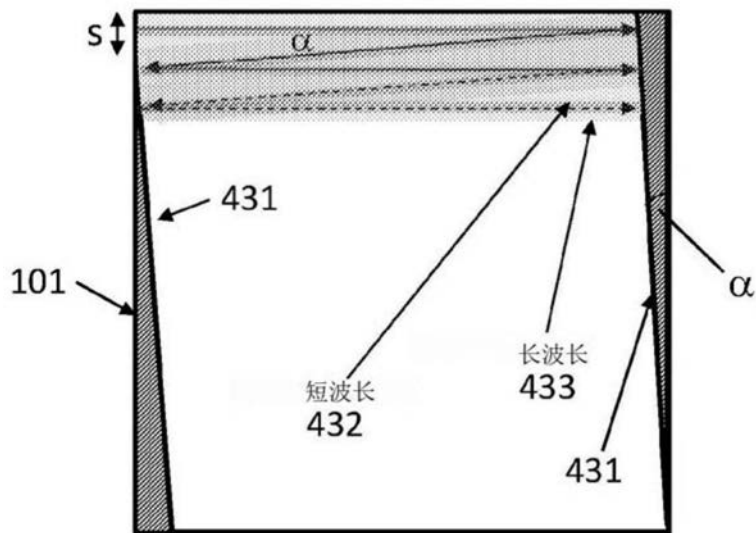


图4C

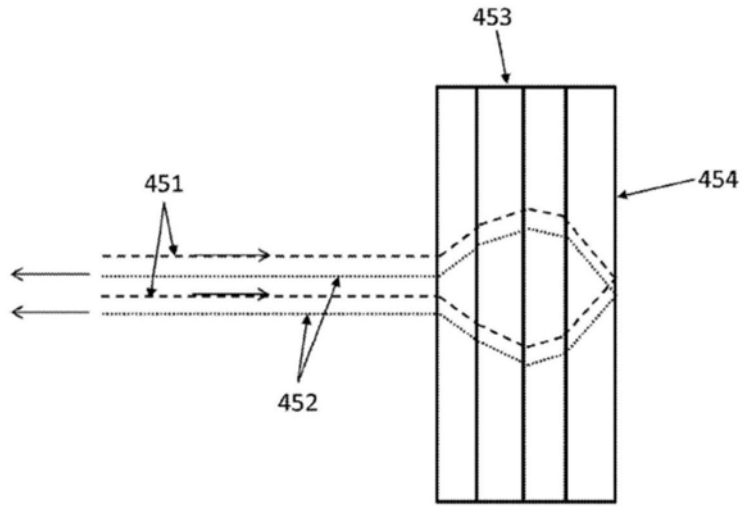


图4D

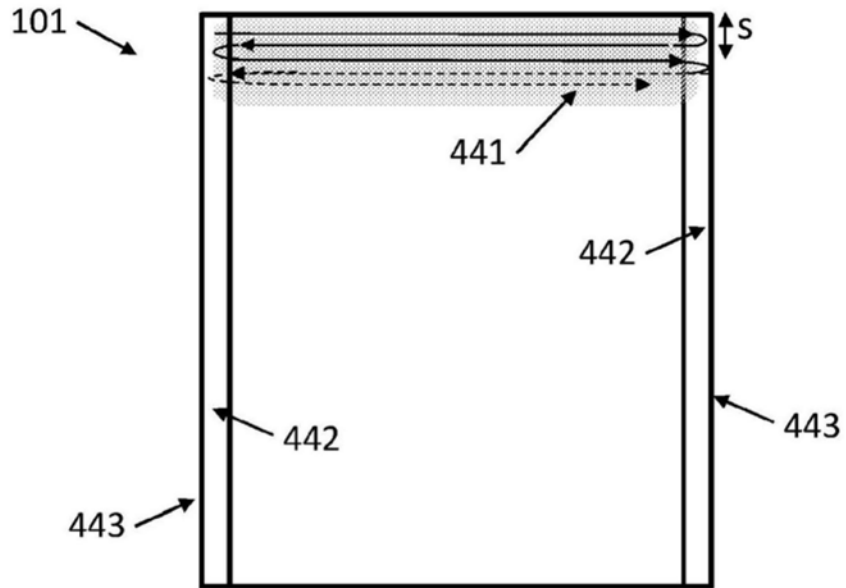


图4E

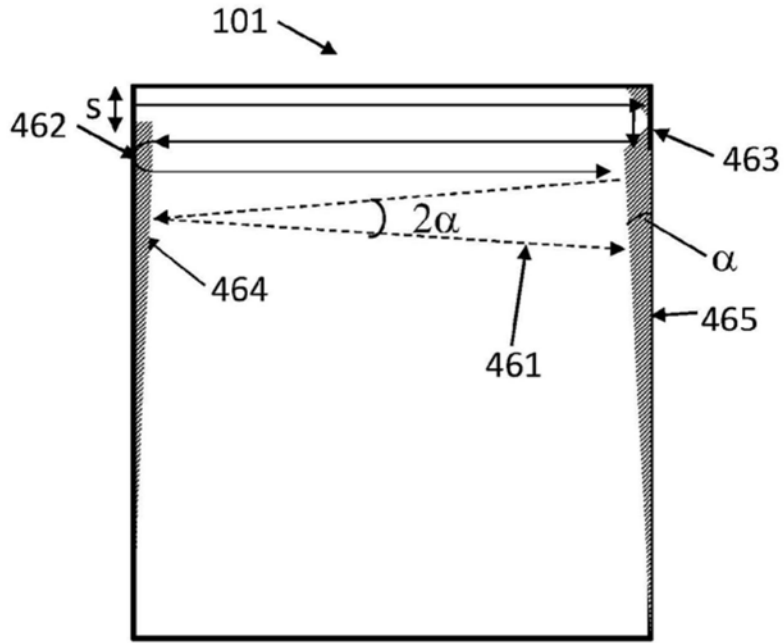


图4F

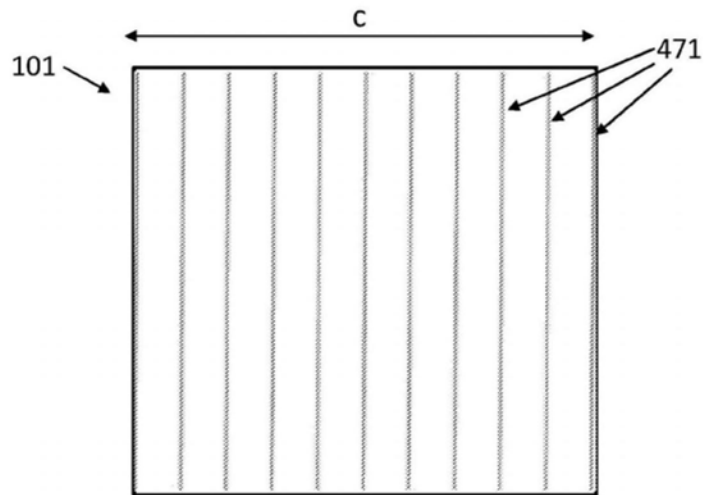


图4G

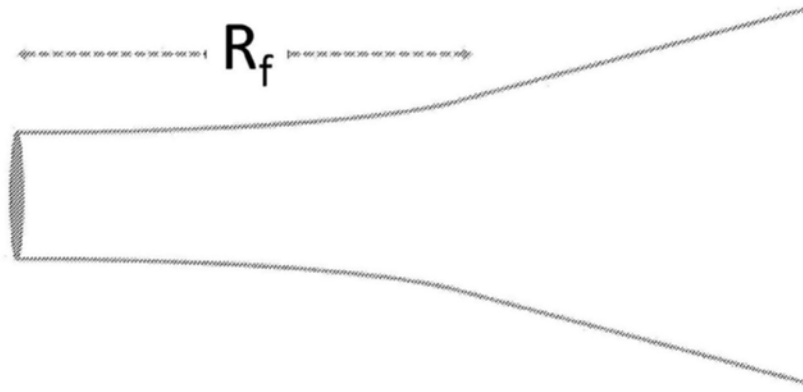


图5

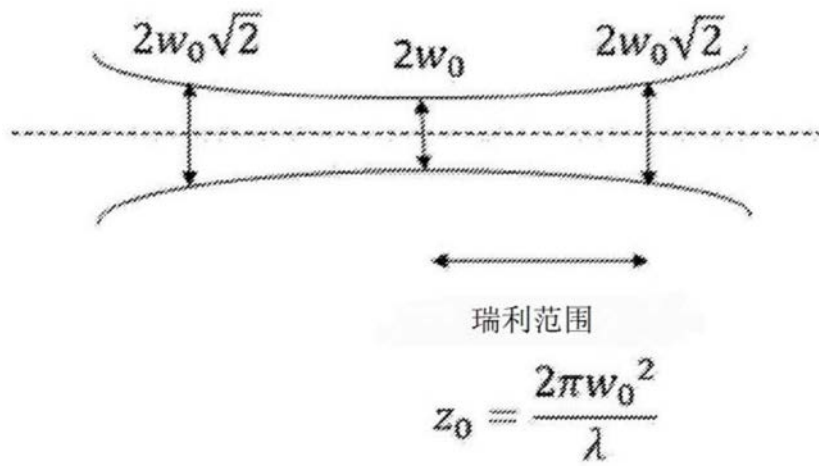


图6

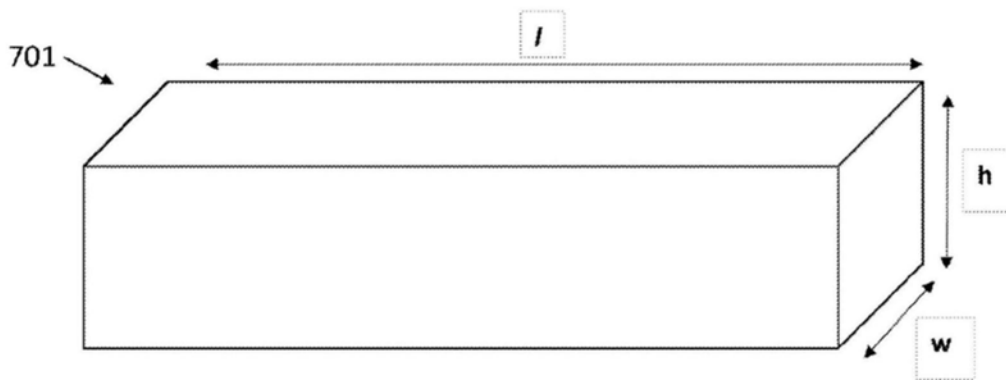


图7A

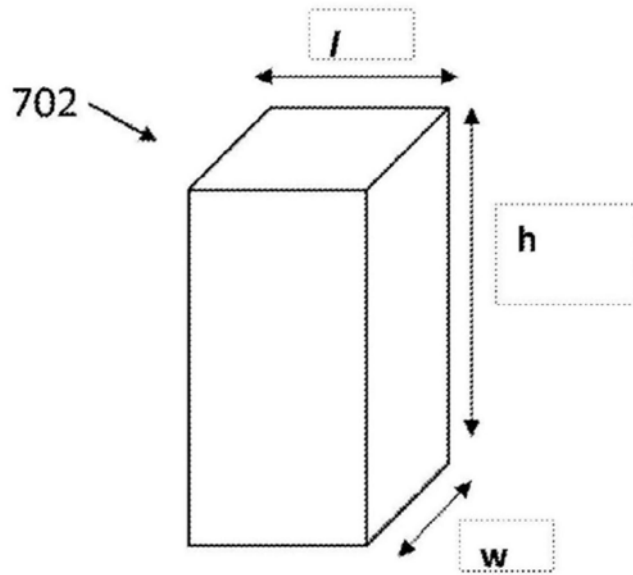


图7B

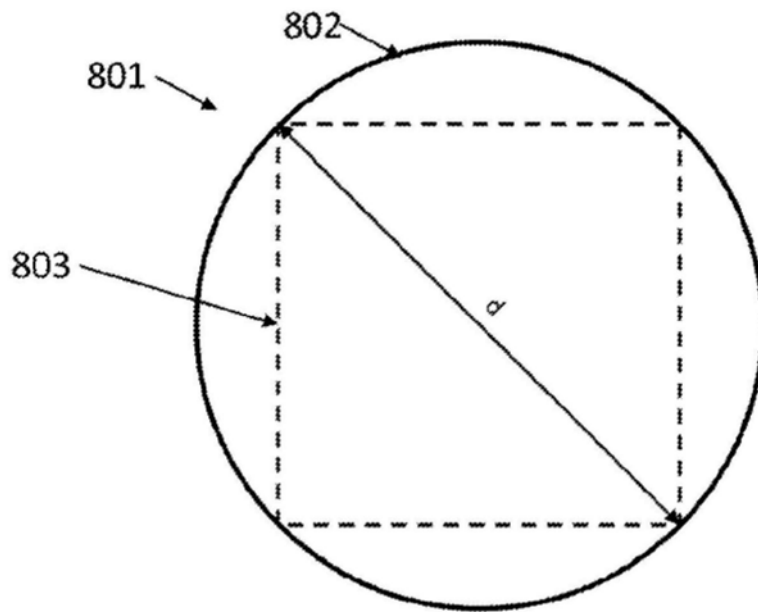


图8

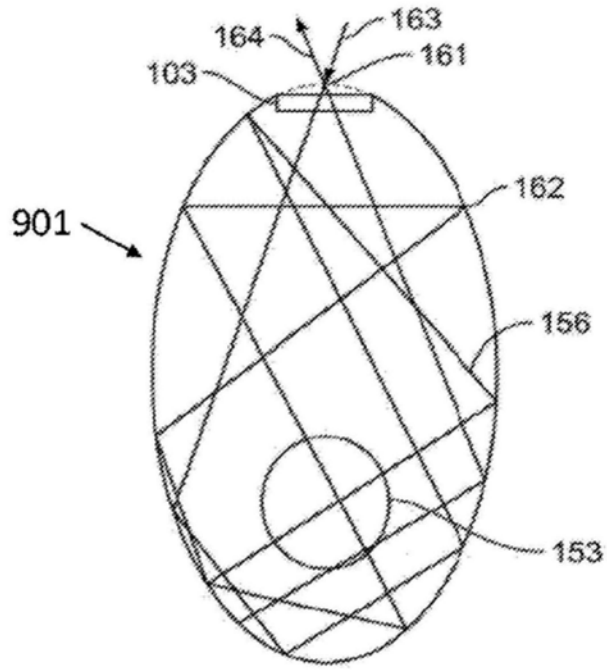


图9