



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114286962 A

(43) 申请公布日 2022. 04. 05

(21) 申请号 202080058158.8

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247

(22) 申请日 2020.06.18

代理人 王英杰 于静

(30) 优先权数据

62/863,871 2019.06.20 US

63/024,343 2020.05.13 US

(51) Int.Cl.

G02B 27/01 (2006.01)

G02B 27/42 (2006.01)

G02B 27/44 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.02.17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2020/038456 2020.06.18

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/257469 EN 2020.12.24

(71) 申请人 奇跃公司

地址 美国佛罗里达州

(72) 发明人 K·梅塞尔 M·A·克鲁格

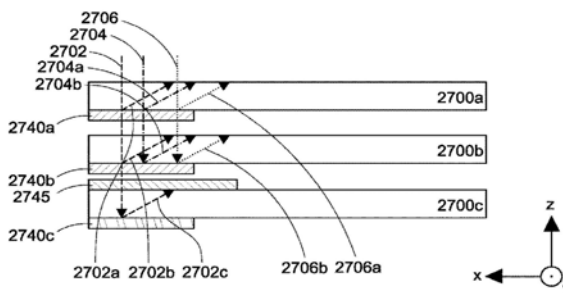
权利要求书8页 说明书96页 附图97页

(54) 发明名称

用于增强现实显示系统的目镜

(57) 摘要

一种增强现实显示系统。系统可包括具有第一输入耦合光栅 (ICG) 区域的第一目镜波导。第一 ICG 区域可接收对应于具有对应视场 (FOV) 的输入图像的输入光束集, 并且可以耦入输入光束的第一子集。输入光束的第一子集可以对应于 FOV 的第一子部分。系统还可包括具有第二 ICG 区域的第二目镜波导。第二 ICG 区域可接收并至少耦入光束的第二子集。输入光束的第二子集可以对应于 FOV 的第二子部分。FOV 的第一和第二子部分可以至少部分不同, 但是一起包括输入图像的完整 FOV。



1. 一种增强现实显示系统,包括:

第一目镜波导,其包括第一光学透射衬底;

第一输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在第一目镜波导上或中,所述第一ICG区域被配置为接收与具有对应视场的输入图像相对应的输入光束集合,以及将所述输入光束的第一子集耦合到所述衬底中作为被引导的光束的第一集合,所述输入光束的第一子集对应于所述输入图像的视场的第一子部分;

第二目镜波导,其包括第二光学透射衬底;以及

第二输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在第二目镜波导上或中,所述第二ICG区域被配置为至少接收对应于所述输入图像的所述输入光束的第二子集,以及将所述输入光束的第二子集耦合到所述衬底中作为被引导的光束的第二集合,所述输入光束的第二子集对应于所述输入图像的所述视场的第二子部分,

其中,所述视场的所述第一子部分和所述第二子部分至少部分不同,但是一起包括所述输入图像的完整视场。

2. 根据权利要求1所述的增强现实显示系统,其中,所述输入图像的所述视场在至少一个尺寸上大于在所述第一和第二目镜波导的厚度方向上的全内反射传播角度的范围。

3. 根据权利要求1所述的增强现实显示系统,还包括:

第三目镜波导,其包括第三光学透射衬底;以及

第三输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在所述第三目镜波导上或中,所述第三ICG区域被配置为至少接收对应于所述输入图像的所述输入光束的第三子集,以及将输入光束的第三子集耦合到所述衬底中作为被引导的光束的第三集合,所述输入光束的第三子集对应于所述输入图像的所述视场的第三子部分,

其中,所述视场的所述第一子部分、所述第二子部分和所述第三子部分至少部分不同,但是一起包括所述输入图像的所述完整视场。

4. 根据权利要求3所述的增强现实显示系统,其中,

所述第一ICG区域包括具有第一空间周期的周期性衍射特征,

所述第二ICG区域包括具有第二空间周期的周期性衍射特征,

所述第三ICG区域包括具有第三空间周期的周期性衍射特征,

所述第一空间周期小于所述第二空间周期,以及

所述第二空间周期小于所述第三空间周期。

5. 根据权利要求4所述的增强现实显示系统,其中,

对于折射率 $n \leq 1.5$,所述第一空间周期 $< 336\text{nm}$,所述第二空间周期为 $408-458\text{nm}$,以及所述第三空间周期 $> 546\text{nm}$,

对于折射率 $1.5 < n \leq 1.6$,所述第一空间周期 $< 325\text{nm}$,所述第二空间周期为 $380-454\text{nm}$,以及所述第三空间周期 $> 521\text{nm}$,

对于折射率 $1.6 < n \leq 1.7$,所述第一空间周期 $< 318\text{nm}$,所述第二空间周期为 $359-427\text{nm}$,以及所述第三空间周期 $> 492\text{nm}$,

对于折射率 $1.7 < n \leq 1.8$,所述第一空间周期 $< 314\text{nm}$,所述第二空间周期为 $338-403\text{nm}$,以及所述第三空间周期 $> 463\text{nm}$,

对于折射率 $1.8 < n \leq 1.9$,所述第一空间周期 $< 308\text{nm}$,所述第二空间周期为 $321-382\text{nm}$,

以及所述第三空间周期 $>440\text{nm}$,

对于折射率 $1.9 < n \leq 2.0$,所述第一空间周期 $<302\text{nm}$,所述第二空间周期为 $306\text{-}362\text{nm}$,以及所述第三空间周期 $>419\text{nm}$,或

对于折射率 $2.0 < n \leq 2.1$,所述第一空间周期 $<298\text{nm}$,所述第二空间周期为 $298\text{-}346\text{nm}$,以及所述第三空间周期 $>397\text{nm}$ 。

6. 根据权利要求4所述的增强现实显示系统,还包括:投影仪系统,其被配置为将对应于所述输入图像的输入光束集合朝向所述第一目镜波导、所述第二目镜波导和所述第三目镜波导而投射,

其中,所述第一目镜波导沿着所述输入光束集合的光路而位于所述第二目镜波导之前,以及

其中,所述第二目镜波导沿着所述输入光束集合的所述光路而位于所述第三目镜波导之前。

7. 根据权利要求3所述的增强现实显示系统,其中,
所述视场的所述第一子部分和所述第二子部分部分重叠,以及
所述视场的所述第二子部分和所述第三子部分部分重叠。

8. 根据权利要求3所述的增强现实显示系统,其中,所述第一ICG区域、所述第二ICG区域和所述第三ICG区域横向对准。

9. 根据权利要求3所述的增强现实显示系统,其中,
所述第一ICG区域、所述第二ICG区域和所述第三ICG区域被配置为接收对应于所述输入图像的多个颜色分量的输入光束;

所述第一ICG区域被配置为将用于所述颜色分量中的两个或两个以上的所述输入光束的第一子集耦合到所述第一衬底中作为被引导的光束的第一集合,所述输入光束的第一子集对应于所述输入图像的所述颜色分量的所述视场的第一子部分,

所述第二ICG区域被配置为将用于所述颜色分量中的两个或两个以上的所述输入光束的第二子集耦合到所述第二衬底中,所述输入光束的所述第二子集对应于所述输入图像的所述颜色分量的所述视场的第二子部分,

所述第三ICG区域被配置为将用于所述颜色分量中的两个或两个以上的所述输入光束的第三子集耦合到所述第三衬底中,所述输入光束的第三子集对应于所述输入图像的所述颜色分量的所述视场的第三子部分,并且,

所述输入图像的相应颜色分量的所述视场的所述第一子部分、所述第二子部分和所述第三子部分至少部分不同,但是一起包括所述输入图像的所述颜色分量的所述完整视场。

10. 根据权利要求9所述的增强现实显示系统,其中,
所述第一ICG区域包括多个空间分离的子部分,每个子部分对应于所述颜色分量中的一个,

所述第二ICG区域包括多个空间分离的子部分,每个子部分对应于所述颜色分量中的一个,以及

所述第三ICG区域包括多个空间分离的子部分,每个子部分对应于所述颜色分量中的一个。

11. 根据权利要求9所述的增强现实显示系统,其中,所述第三ICG区域具有小于10%的

二阶衍射效率。

12. 根据权利要求9所述的增强现实显示系统,还包括:光学滤波器,其沿着所述输入光束的光路而位于所述第二目镜波导之后,所述光学滤波器被配置为选择性地吸收用于具有最短波长的颜色分量的输入光束。

13. 根据权利要求12所述的增强现实显示系统,其中,所述光学滤波器是黄色滤波器,其吸收蓝光的至少90%。

14. 根据权利要求12所述的增强现实显示系统,其中,所述光学滤波器被配置为选择性地吸收用于具有两个最短波长的两个颜色分量的输入光束。

15. 根据权利要求14所述的增强现实显示系统,其中,所述光学滤波器是红色滤波器,其吸收绿光和蓝光的至少90%。

16. 根据权利要求12所述的增强现实显示系统,其中,所述光学滤波器是提供在所述第二目镜波导与所述第三目镜波导之间的组件。

17. 根据权利要求12所述的增强现实显示系统,其中,所述光学滤波器是提供在所述第三目镜波导中的管芯。

18. 根据权利要求1所述的增强现实显示系统,其中,所述第一ICG区域和所述第二ICG区域具有5-90%的一阶衍射效率。

19. 根据权利要求18所述的增强现实显示系统,其中,所述第一ICG区域被配置为使得所述输入光束的第二子集通过而不被衍射。

20. 根据权利要求1所述的增强现实显示系统,其中,所述第一目镜波导和所述第二目镜波导具有1.5-2.1的折射率。

21. 根据权利要求1所述的增强现实显示系统,其中,

对于折射率 $n \leq 1.5$,在至少一个方向上的所述输入图像的所述视场大于 29.0° 但小于或等于 44.5° ,

对于折射率 $1.5 < n \leq 1.6$,在至少一个方向上的所述输入图像的所述视场大于 34.9° 但小于或等于 50.4° ,

对于折射率 $1.6 < n \leq 1.7$,在至少一个方向上的所述输入图像的所述视场大于 41.0° 但小于或等于 54.2° ,

对于折射率 $1.7 < n \leq 1.8$,在至少一个方向上的所述输入图像的所述视场大于 47.2° 但小于或等于 57.5° ,

对于折射率 $1.8 < n \leq 1.9$,在至少一个方向上的所述输入图像的所述视场大于 53.5° 但小于或等于 60.9° ,

对于折射率 $1.9 < n \leq 2.0$,在至少一个方向上的所述输入图像的所述视场大于 60.0° 但小于或等于 64.7° ,或

对于折射率 $2.0 < n \leq 2.1$,在至少一个方向上的所述输入图像的所述视场大于 66.7° 但小于或等于 68.0° 。

22. 根据权利要求1所述的增强现实显示系统,其中,所述第一目镜波导和所述第二目镜波导具有相同尺寸。

23. 根据权利要求1所述的增强现实显示系统,其中,所述第一目镜波导和所述第二目镜波导横向对准,并且通过间隙纵向分离。

24. 根据权利要求1所述的增强现实显示系统,还包括:

第一正交光瞳扩展器(OPE)区域、或第一多向光瞳扩展器(MPE)区域、或第一组合光瞳扩展器-提取器(CPE)区域,其形成在所述第一目镜波导上或中,所述第一OPE、MPE或CPE区域被配置为接收所述被引导的光束的第一集合,并且在所述第一目镜波导的空间分布部分上复制它们;以及

第二OPE区域、或第二MPE区域、或第二CPE区域,其形成在所述第二目镜波导上或中,所述第二OPE、MPE或CPE区域被配置为接收所述被引导的光束的所述第二集合,并且在所述第二目镜波导的空间分布部分上复制它们。

25. 根据权利要求1所述的增强现实显示系统,还包括:

第一输出耦合光栅区域,其形成在所述第一目镜波导上或中,所述第一输出耦合光栅区域被配置为从所述第一目镜波导输出所述被引导的光束的第一集合作为输出光束的第一集合;以及

第二输出耦合光栅区域,其形成在所述第二目镜波导上或中,所述第二输出耦合光栅区域被配置为从所述第二目镜波导输出所述被引导的光束的第二集合作为输出光束的第二集合,

其中,所述输出光束的第一集合和所述输出光束的第二集合一起包括所述输入图像的所述完整视场。

26. 一种增强现实显示系统,包括:

第一目镜波导,其包括第一光学透射衬底;

第一输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在所述第一目镜波导上或中,所述第一ICG区域被配置为接收输入光束集合,所述输入光束集合与对应于输入图像的k空间中的k矢量集合相关联,并且将所述k矢量集合平移到k空间中的位置,以使得所述k矢量的第一子集位于与所述第一目镜波导相关联的第一k空间环内,所述第一k空间环对应于与所述第一目镜波导中的被引导的传播相关联的k空间中的区域;

第二目镜波导,其包括第二光学透射衬底;以及

第二输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在所述第二目镜波导上或中,所述第二ICG区域被配置为接收所述输入光束集合的至少一部分,并且将所述k矢量集合平移到k空间中的位置,以使得所述k矢量的第二子集位于与所述第二目镜波导相关联的第二k空间环内,所述第二k空间环对应于与所述第二目镜波导中的被引导的传播相关联的k空间中的区域;

其中,所述k矢量的第一和所述k矢量的第二子集至少部分不同,但是一起包括对应于所述输入图像的k矢量的完整集合。

27. 根据权利要求26所述的增强现实显示系统,其中,对应于所述输入图像的所述k矢量集合具有大于所述第一k空间环和所述第二k空间环的宽度的k空间中的至少一个尺寸。

28. 根据权利要求26所述的增强现实显示系统,还包括:

第三目镜波导,其包括第三光学透射衬底;以及

第三输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在所述第三目镜波导上或中,所述第三ICG区域被配置为接收所述输入光束集合的至少一部分,并且将所述k矢量集合平移到k空间中的位置,以使得所述k矢量的第三子集位于与所述第三目镜波导相关联的第三k空间环内,所述第三k空间环对应于与所述第三目镜波导中的被引导的传播相关联的k空间中的区域;

其中,所述k矢量的第一子集、第二子集和第三子集至少部分不同,但是一起包括对应于所述输入图像的k矢量的所述完整集合。

29.根据权利要求28所述的增强现实显示系统,其中,所述显示系统满足所述等式 $\frac{\lambda_{\text{蓝色}}}{\Lambda_2} + \frac{k_{\text{FOV}}}{2} < n$,其中,n是所述第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{蓝色}}$ 是蓝色输入光的中心波长, Λ_2 是所述第二ICG区域的周期,以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的输入图像的k空间尺寸。

30.根据权利要求28所述的增强现实显示系统,其中,所述显示系统满足所述等式 $n - \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_1} > 1 - \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_2}$,其中,n是所述第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{绿色}}$ 是绿色输入光的中心波长, Λ_1 是所述第一ICG区域的周期,以及 Λ_2 是所述第二ICG区域的周期。

31.根据权利要求28所述的增强现实显示系统,其中,所述显示系统满足所述等式 $n - \frac{\lambda_{\text{红色}}}{\Lambda_1} > 1 - \frac{\lambda_{\text{红色}}}{\Lambda_2}$,其中,n是所述第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{红色}}$ 是红色输入光的中心波长, Λ_1 是所述第一ICG区域的周期,以及 Λ_2 是所述第二ICG区域的周期。

32.根据权利要求28所述的增强现实显示系统,其中,所述显示系统满足所述等式 $\Lambda_1 < \frac{\lambda_{\text{蓝色}}}{1 + \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$,其中,n是所述第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{蓝色}}$ 是蓝色输入光的中心波长, Λ_1 是所述第一ICG区域的周期,以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的输入图像的k空间尺寸。

33.根据权利要求28所述的增强现实显示系统,其中,所述显示系统满足所述等式 $\Lambda_3 > \frac{\lambda_{\text{红色}}}{n - \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$,其中,n是所述第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{红色}}$ 是红色输入光的中心波长, Λ_3 是所述第三ICG区域的周期,以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的所述输入图像的k空间尺寸。

34.根据权利要求28所述的增强现实显示系统,其中,所述显示系统满足所述等式 $\frac{2\lambda_{\text{蓝色}}}{\Lambda_2} - \frac{k_{\text{FOV}}}{2} > n$,其中,n是所述第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{蓝色}}$ 是蓝色输入光的中心波长, Λ_2 是所述第二ICG区域的周期,以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的所述输入图像的k空间尺寸。

35.根据权利要求28所述的增强现实显示系统,其中,所述显示系统满足所述等式 $\Lambda_2 > \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{n - \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$,其中,n是所述第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{绿色}}$ 是绿色输入光的中心波长, Λ_2 是所述第二ICG区域的周期,以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的所述输入图像的k空间尺寸。

36.根据权利要求28所述的增强现实显示系统,其中,所述显示系统满足所述等式 $\frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_3} - 1 > \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_2} - n$,其中,n是所述第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{绿色}}$ 是绿色输入光的中心波长, Λ_2 是所述第二ICG区域的周期,以及 Λ_3 是所述第三ICG区域的周期。

37.根据权利要求28所述的增强现实显示系统,其中,所述显示系统满足所述等式

$\frac{2\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_3} - \frac{k_{\text{FoV}}}{2} > n$, 其中, n 是所述第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{绿色}}$ 是绿色输入光的中心波长, Λ_3 是所述第三ICG区域的周期, 以及 k_{FoV} 是在ICG矢量的方向上的所述输入图像的 k 空间尺寸。

38. 根据权利要求28所述的增强现实显示系统, 其中:
 所述第一ICG区域具有带有第一幅度的一阶光栅矢量,
 所述第二ICG区域具有带有第二幅度的一阶光栅矢量,
 所述第三ICG区域具有带有第三幅度的一阶光栅矢量,
 所述第一幅度大于所述第二幅度, 以及
 所述第二幅度大于所述第三幅度。

39. 根据权利要求38所述的增强现实显示系统, 还包括: 投影仪系统, 其被配置为将所述输入光束集合朝向所述第一目镜波导、所述第二目镜波导和所述第三目镜波导而投射,
 其中, 所述第一目镜波导沿着所述输入光束集合的光路而位于所述第二目镜波导之前, 以及

其中, 所述第二目镜波导沿着所述输入光束集合的光路而位于所述第三目镜波导之前。

40. 根据权利要求28所述的增强现实显示系统, 其中:
 所述 k 矢量的所述第一和第二子集部分重叠, 以及
 所述 k 矢量的所述第二和第三子集部分重叠。

41. 根据权利要求28所述的增强现实显示系统, 其中, 所述第一ICG区域、所述第二ICG区域和所述第三ICG区域横向对准。

42. 根据权利要求28所述的增强现实显示系统, 其中:

所述第一ICG区域、所述第二ICG区域和所述第三ICG区域被配置为接收用于所述输入图像的多个颜色分量的输入光束, 用于每个颜色分量的输入光束与 k 空间中的 k 矢量集合相关联,

所述第一ICG区域被配置为将所述 k 矢量集合平移到 k 空间中的位置, 以使得用于所述颜色分量中的两个或两个以上的 k 矢量的第一子集位于所述第一 k 空间环内,

所述第二ICG区域被配置为将所述 k 矢量集合平移到 k 空间中的位置, 以使得用于所述颜色分量中的两个或两个以上的 k 矢量的第二子集位于所述第二 k 空间环内,

所述第三ICG区域被配置为将所述 k 矢量集合平移到 k 空间中的位置, 以使得用于所述颜色分量中的两个或两个以上的所述 k 矢量的第三子集位于所述第三 k 空间环内, 以及

用于所述输入图像的相应颜色分量的所述 k 矢量的第一、第二和第三子集至少部分不同, 但是一起包括用于所述输入图像的所述颜色分量的 k 矢量的完整集合。

43. 根据权利要求42所述的增强现实显示系统, 其中,

所述第一ICG区域包括多个空间分离的子部分, 每个子部分对应于所述颜色分量中的一个,

所述第二ICG区域包括多个空间分离的子部分, 每个子部分对应于所述颜色分量中的一个, 以及

所述第三ICG区域包括多个空间分离的子部分, 每个子部分对应于所述颜色分量中的

一个。

44. 根据权利要求42所述的增强现实显示系统,其中,所述第三ICG区域具有小于10%的二阶衍射效率。

45. 根据权利要求42所述的增强现实显示系统,还包括:光学滤波器,其沿着所述输入光束的光路而位于所述第二目镜波导之后,所述光学滤波器被配置为选择性地吸收用于具有最短波长的颜色分量的输入光束。

46. 根据权利要求45所述的增强现实显示系统,其中,所述光学滤波器是黄色滤波器,其吸收蓝光的至少90%。

47. 根据权利要求45所述的增强现实显示系统,其中,所述光学滤波器被配置为选择性地吸收用于具有两个最短波长的两个颜色分量的输入光束。

48. 根据权利要求47所述的增强现实显示系统,其中,所述光学滤波器是红色滤波器,其吸收绿光和蓝光的至少90%。

49. 根据权利要求45所述的增强现实显示系统,其中,所述光学滤波器是提供在所述第二目镜波导与所述第三目镜波导之间的组件。

50. 根据权利要求45所述的增强现实显示系统,其中,所述光学滤波器是提供在所述第三目镜波导中的管芯。

51. 根据权利要求26所述的增强现实显示系统,其中,所述第一和第二ICG区域具有5-90%的一阶衍射效率。

52. 根据权利要求51所述的增强现实显示系统,其中,所述第一ICG区域被配置为使得所述k矢量的第二子集通过而不被衍射。

53. 根据权利要求26所述的增强现实显示系统,其中,所述第一和第二目镜波导具有1.5-2.1的折射率。

54. 根据权利要求26所述的增强现实显示系统,其中,所述第一和第二目镜波导具有相同尺寸。

55. 根据权利要求26所述的增强现实显示系统,其中,所述第一目镜波导和第二目镜波导横向对准,并且通过间隙纵向分离。

56. 根据权利要求26所述的增强现实显示系统,还包括:

第一正交光瞳扩展器(OPE)区域、或第一多向光瞳扩展器(MPE)区域、或第一组合光瞳扩展器-提取器(CPE)区域,其形成在所述第一目镜波导上或中,所述第一OPE、MPE或CPE区域被配置为接收对应于所述k矢量的第一子集的光束,并且在所述第一目镜波导的空间分布部分上复制它们;以及

第二OPE区域、或第二MPE区域、或第二CPE区域,其形成在所述第二目镜波导上或中,所述第二OPE、MPE或CPE区域被配置为接收对应于所述k矢量的第二子集的光束,并且在所述第二目镜波导的空间分布部分上复制它们。

57. 根据权利要求26所述的增强现实显示系统,还包括:

第一输出耦合光栅区域,其形成在所述第一目镜波导上或中,所述第一输出耦合光栅区域被配置为将所述k矢量的第一子集平移到所述第一k空间环的中心位置;以及

第二输出耦合光栅区域,其形成在所述第二目镜波导上或中,所述第二输出耦合光栅区域被配置为将所述k矢量的第二子集平移到所述第二k空间环的中心位置,

其中,所述k矢量的第一和第二子集一起包括对应于所述输入图像的所述k矢量的完整集合。

用于增强现实显示系统的目镜

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2019年6月20日提交的并且题为“EYEPIECES FOR AUGMENTED REALITY DISPLAY SYSTEM(用于增强现实显示系统的目镜)”的美国临时专利申请62/863,871和2020年5月13日提交的并且题为“EYEPIECES FOR AUGMENTED REALITY DISPLAY SYSTEM(用于增强现实显示系统的目镜)”的美国临时专利申请63/024,343的优先权。这些申请中的每一个,以及与本申请一起提交的申请数据表中标识了外国或国内优先权要求的任何和所有其他申请,在37CFR 1.57下通过引用并入本文。

技术领域

[0003] 本公开涉及用于虚拟现实、增强现实和混合现实系统的目镜。

背景技术

[0004] 现代计算和显示技术促进了虚拟现实、增强现实和混合现实系统的发展。虚拟现实或“VR”系统为用户创造模拟的环境来体验。这可以通过将计算机生成的图像数据通过头戴式显示器呈现给用户来完成。该图像数据创造了让用户沉浸在模拟环境中的感觉体验。虚拟现实场景通常涉及仅计算机生成的图像数据的呈现,而不涉及实际的真实世界的图像数据的呈现。

[0005] 增强现实系统通常用模拟元素来补充真实世界环境。例如,增强现实或“AR”系统可以通过头戴式显示器向用户提供周围真实世界环境的视图。然而,计算机生成的图像数据也能够呈现在显示器上,以增强现实世界环境。该计算机生成的图像数据可以包括与现实世界环境相关的元素。这样的元素可以包括模拟的文本、图像、对象等。混合现实或“MR”系统是还将模拟的对象引入到现实世界环境中的一类AR系统,但是这些对象通常以更大程度的交互性为特征。模拟元素通常能够实时地交互多次。

[0006] 图1描绘了示例的AR场景1,其中用户看到以背景中的人、树、建筑为特征的真实世界的公园设置6以及实体平台20。除了这些项目以外,计算机生成的图像数据也呈现给用户。计算机生成的图像数据可以包括例如站在真实世界的平台20上的机器人雕像10,以及看起来像飞行的蜜蜂的化身的卡通式的头像角色2,尽管这些元素2、10不实际存在于真实的世界环境中。

发明内容

[0007] 在一些实施例中,一种增强现实显示系统,包括:第一目镜波导,其包括第一光学透射衬底;第一输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在第一目镜波导上或中,第一ICG区域被配置为接收与具有对应视场的输入图像相对应的输入光束集合,以及将输入光束的第一子集耦合到衬底中作为引导光束的第一集合,输入光束的第一子集对应于输入图像的视场的第一子部分;第二目镜波导,其包括第二光学透射衬底;以及第二输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在第二目镜波导上或中,第二ICG区域被配置为至少接收对应于输入图像的输入光束

的第二子集,以及将输入光束的第二子集耦合到衬底中作为被引导的光束的第二集合,输入光束的第二子集对应于输入图像的视场的第二子部分,其中,视场的第一和第二子部分至少部分不同,但是一起包括输入图像的完整视场。

[0008] 在一些实施例中,一种增强现实显示系统,包括:第一目镜波导,其包括第一光学透射衬底;第一输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在第一目镜波导上或中,第一ICG区域被配置为接收输入光束集合,输入光束集合与对应于输入图像的k空间中的k矢量集合相关联,并且及将k矢量集合平移到k空间中的位置,使得k矢量的第一子集位于与第一目镜波导相关联的第一k空间环内,第一k空间环对应于与第一目镜波导中被引导的传播相关联的k空间中的区域;第二目镜波导,其包括第二光学透射衬底;以及第二输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在第二目镜波导上或中,第二ICG区域被配置为接收输入光束集合的至少一部分,以及将k矢量集合平移到k空间中的位置,使得k矢量的第二子集位于与第二目镜波导相关联的第二k空间环内,第二k空间环对应于与第二目镜波导中的被引导的传播相关联的k空间中的区域;其中,k矢量的第一和第二子集至少部分不同,但是一起包括对应于输入图像的k矢量的完整集合。

附图说明

[0009] 图1示出了通过AR系统对增强现实(AR)场景的用户视图。

[0010] 图2示出了可穿戴显示系统的示例。

[0011] 图3示出了用于为用户模拟三维图像数据的传统显示系统。

[0012] 图4示出了使用多个深度平面来模拟三维图像数据的方法的各方面。

[0013] 图5A至图5C示出了曲率半径和焦点半径之间的关系。

[0014] 图6示出了用于在AR目镜中向用户输出图像信息的波导堆叠的示例。

[0015] 图7A至图7B示出了由波导输出的出射光束的示例。

[0016] 图8示出了堆叠波导组件的示例,其中每个深度平面包括使用多种不同分量颜色形成的图像。

[0017] 图9A示出了各自包括内耦合光学元件的一组堆叠波导的示例的剖面侧视图。

[0018] 图9B示出了图9A的多个堆叠波导的示例的透视图。

[0019] 图9C示出了图9A和图9B的多个堆叠波导的示例的俯视平面图。

[0020] 图10是示例AR目镜波导堆叠的透视图。

[0021] 图11是具有边缘密封结构的示例目镜波导堆叠的一部分的剖面图,该边缘密封结构用于在堆叠配置中支撑目镜波导。

[0022] 图12A和图12B示出处于操作中的目镜波导在其朝向用户眼睛投射图像的俯视图。

[0023] 图13A示出了可用于表示光线或光束的传播方向的k矢量。

[0024] 图13B示出了平面波导内的光线。

[0025] 图13C示出了用于给定角频率 ω 的光在具有折射率 n 的无界均匀介质中传播的允许k矢量。

[0026] 图13D示出了用于给定角频率 ω 的光在具有折射率 n 的均匀平面波导介质中传播的允许k矢量。

[0027] 图13E示出了对应于可在具有折射率 n_2 的波导内被引导的光波的k矢量的k空间中

的环。

[0028] 图13F示出了示出k矢量和在对应于该k矢量的被引导的光束与在波导上或中形成的衍射光栅之间的相互作用的密度之间的关系的关系的k空间图和目镜波导。

[0029] 图13G示出了衍射光栅和其一些相关联的k空间衍射光栅矢量 (G-2、G-1、G1、G2) 的俯视图。

[0030] 图13H示出了衍射光栅的横视图和其在k空间中对对应于垂直 (normally) 入射光线或光束的k矢量的影响。

[0031] 图13I示出了图13G所示的衍射光栅的横视图和其在k空间中对对应于倾斜入射光线或光束的k矢量的影响。

[0032] 图13J是示出了投射到AR目镜波导中的图像的视场的k空间图。

[0033] 图13K是示出了由位于目镜波导的入射光瞳处的输入耦合光栅 (ICG) 引起的FOV矩形的k空间中的平移移位的k空间图。

[0034] 图14A示出了具有ICG区域、正交光瞳扩展器 (OPE) 区域和出射光瞳扩展器 (EPE) 区域的示例目镜波导。

[0035] 图14B示出了图14A所示的目镜波导的k空间操作。

[0036] 图14C示出了图14A和图14B所示的OPE区域的光学操作。

[0037] 图14D示出了用于确定OPE区域和EPE区域的大小和形状的技术。

[0038] 图15A示出了其中OPE区域倾斜并且定位以使得其下边界平行于EPE区域的上边界的波导目镜的示例实施例。

[0039] 图15B包括示出图15A所示的目镜波导的操作的k空间图。

[0040] 图15C是示出图15A所示的目镜波导的操作的另一k空间图。

[0041] 图15D是图15A所示的目镜波导实施例的OPE区域与输入光束之间的第一代相互作用的图。

[0042] 图15E是图15A所示的目镜波导实施例的OPE区域与输入光束之间的第二代相互作用的图。

[0043] 图15F是图15A所示的目镜波导实施例的OPE区域与输入光束之间的第三代相互作用的图。

[0044] 图15G是示出来自ICG区域的单个输入光束如何由OPE区域复制并作为多个光束重引导到EPE区域的图。

[0045] 图16A示出了具有多向光瞳扩展器 (MPE) 区域而不是OPE区域的示例目镜波导。

[0046] 图16B示出了示例2D光栅的一部分连同其相关联的光栅矢量,其可在图16A所示的MPE区域中使用。

[0047] 图16C是示出图16A所示的目镜波导的MPE区域的k空间操作的k空间图。

[0048] 图16D是进一步示出图16A所示的目镜波导的MPE区域的k空间操作的k空间图。

[0049] 图16E是示出图16A所示的目镜波导的k空间操作的k空间图。

[0050] 图16F是图16A所示的目镜波导实施例的MPE区域与输入光束之间的第一代相互作用的图。

[0051] 图16G是图16A所示的目镜波导实施例的MPE区域与输入光束之间的第二代相互作用的图。

- [0052] 图16H是图16A所示的目镜波导实施例的MPE区域与输入光束之间的第三代相互作用的图。
- [0053] 图16I是图16A所示的目镜波导实施例的MPE区域与输入光束之间的第四代相互作用的图。
- [0054] 图16J是示出根据图16A所示的目镜波导实施例的光束可遵循通过MPE区域并最终到EPE区域的各种路径的图。
- [0055] 图16K是示出来自ICG区域的单个输入光束如何由MPE区域复制并作为多个光束重引导到EPE区域的图。
- [0056] 图16L是示出具有OPE区域的目镜波导的性能与具有MPE区域的目镜波导的性能的并排式比较。
- [0057] 图16M进一步示出了具有MPE区域的目镜波导与具有OPE区域的其他目镜波导的性能比对。
- [0058] 图17A示出了示例2D光栅的一部分连同其相关联的光栅矢量,其可在目镜波导的MPE区域中使用。
- [0059] 图17B是示出目镜波导的MPE区域的k空间操作的k空间图。
- [0060] 图17C是示出具有MPE区域的目镜波导的k空间操作的k空间图。
- [0061] 图17D是输入光束与目镜波导的MPE区域之间的第一代相互作用的图。
- [0062] 图17E是输入光束与目镜波导的MPE区域之间的第二代相互作用的图。
- [0063] 图17F是输入光束与目镜波导的MPE区域之间的第三代相互作用的图。
- [0064] 图17G是输入光束与目镜波导的MPE区域之间的第四代相互作用的图。
- [0065] 图18A示出了具有ICG区域、两个正交光瞳扩展器区域和出射光瞳扩展器区域的示例目镜波导。
- [0066] 图18B和图18C示出了图18A所示的目镜波导的EPE区域的俯视图。
- [0067] 图19示出了具有扩展视场的目镜波导的实施例。
- [0068] 图20A示出了具有由EPE区域重叠的MPE区域的扩展FOV目镜波导的实施例。
- [0069] 图20B示出了示例2D光栅的一部分连同其相关联的光栅矢量,其可在图20A中的目镜波导的MPE区域中使用。
- [0070] 图20C是示出图20A所示的目镜波导的ICG区域的k空间操作的k空间图。
- [0071] 图20D是示出图20A所示的目镜波导的MPE区域的k空间操作的一部分的k空间图。
- [0072] 图20E是示出图20A所示的目镜波导的MPE区域的k空间操作的另一部分的k空间图。
- [0073] 图20F类似于图20E,例外的是,它示出了来自图20D的FOV矩形上的MPE区域的k空间操作,其被平移到9点钟位置(而不是3点钟位置,如图20E所示)。
- [0074] 图20G是示出图20A中的目镜波导中的EPE区域的k空间操作的k空间图。
- [0075] 图20H是概述图20A所示的目镜波导的k空间操作的k空间图。
- [0076] 图20I是示出光束如何通过图20A所示的目镜波导传播的图。
- [0077] 图20J示出了图20A中的目镜波导中的MPE区域的衍射效率可以如何空间变化以便增强波导中的亮度均匀性。
- [0078] 图20K示出了图20A中的目镜波导中的EPE区域的衍射效率可以如何空间变化以便

增强波导中的亮度均匀性。

[0079] 图20L示出了包括围绕波导的外围边缘的一个或多个衍射镜的图20A中的目镜波导的实施例。

[0080] 图20M示出了包含图20A中的目镜波导的一个或多个实例的眼镜的示例实施例。

[0081] 图20N示出了包含图20A中的目镜波导的一个或多个实例的眼镜的另一示例实施例。

[0082] 图21A示出了具有由EPE区域重叠的MPE区域的目镜波导的另一实施例。

[0083] 图21B是示出图20A中的目镜波导在对应于输入图像的FOV的第一子部分的输入光束的第一集合上的k空间操作的k空间图。

[0084] 图21C是示出图21A中的目镜波导在对应于输入图像的FOV的第二子部分的输入光束的第二集合上的k空间操作的k空间图。

[0085] 图21D是概述图21A所示的目镜波导的k空间操作的k空间图。

[0086] 图21E示出了包含图21A中的目镜波导的一个或多个实例的眼镜的示例实施例。

[0087] 图21F示出了对应于图21E中的眼镜的示例FOV。

[0088] 图21G示出了图21A所示的目镜波导的另一实施例的k空间操作。

[0089] 图22A示出了可以投射在两个方向上扩展的FOV的目镜波导的实施例。

[0090] 图22B示出了图22A所示的目镜波导的相对侧。

[0091] 图22C示出了图22A所示的目镜波导实施例中的ICG区域和OPE区域的k空间操作。

[0092] 图22D示出了图22A中的目镜波导实施例中的MPE区域的k空间操作。

[0093] 图22E示出了图22A中的目镜波导实施例中的EPE区域的k空间操作。

[0094] 图23示出了被设计为与成角(angled)投影仪一起工作的目镜波导的示例实施例。

[0095] 图24A是具有多个组合光瞳扩展器-提取器(CPE)区域的示例目镜波导的边缘视图。

[0096] 图24B示出了根据通过目镜波导的第一类型的主光路在物理空间和k空间中的第一和第二CPE区域的操作。

[0097] 图24C示出了根据通过目镜波导的第二类型的主光路在物理空间和k空间中的第一和第二CPE区域的操作。

[0098] 图24D示出了根据通过目镜波导的第一和第二类型的主光路在物理空间和k空间中的第一和第二CPE区域的操作。

[0099] 图24E是图24A所示的目镜波导实施例的CPE区域与输入光束之间的第一代相互作用的图。

[0100] 图24F是图24A所示的目镜波导实施例的CPE区域与输入光束之间的第二代相互作用的图。

[0101] 图24G是图24A所示的目镜波导实施例的CPE区域与输入光束之间的第三代相互作用的图。

[0102] 图24H是图24A所示的目镜波导实施例的CPE区域与输入光束之间的第四代相互作用的图。

[0103] 图24I是图24A所示的目镜波导实施例的CPE区域与输入光束之间的第五代相互作用的图。

- [0104] 图24J示出了在k空间中通过图24A所示的目镜波导的光的高阶路径。
- [0105] 图24K是示出光束如何通过图24A所示的目镜波导传播的图。
- [0106] 图25A是具有单个2D组合光瞳扩展器-提取器(CPE)光栅区域的示例目镜波导的边缘视图。
- [0107] 图25B示出了物理空间和k空间中的2D CPE区域的操作。
- [0108] 图26A是在其每一侧具有2D组合光瞳扩展器-提取器(CPE)光栅区域的示例目镜波导的边缘视图。
- [0109] 图26B示出了所谓的“屏蔽门效应”,其是与来自目镜波导的输出光束的密度相关的图像伪影。
- [0110] 图26C示出了输入耦合光栅再反弹,其是使得光从目镜波导不利地丢失的效应。
- [0111] 图26D示出了图26A中的双面2D CPE光栅如何增加来自目镜波导的输出光束的密度。
- [0112] 图26E示出了图24A(双面1D CPE光栅)、图25A(单面2D CPE光栅)和图26A(双面2D CPE光栅)所示的目镜波导的输出光束的密度。
- [0113] 图26F示出了由具有2D CPE光栅的目镜波导产生的示例模拟图像;示出了用于图25A的单面实施例和图26A的双面实施例的情况的图像。
- [0114] 图27A示出了具有增强FOV的目镜波导堆叠的示例实施例。
- [0115] 图27B示出了具有增强FOV的目镜波导堆叠的另一示例实施例。
- [0116] 图27C至图27E包括示出针对三个不同折射率的图27A和图27B所示的目镜波导堆叠的示例实施例的k空间操作的k空间图。
- [0117] 图27F至图27H示出了根据某些实施例的可耦入到图27A和图27B所示的堆叠中的目镜波导中的每一个中的输入图像的每个颜色分量的FOV的子部分,在这些实施例中每个颜色分量部分地承载在两个目镜波导中。
- [0118] 图27I至图27K类似于图27F至图27H,因为它们示出了可耦入到堆叠中的目镜波导中的每一个中的输入图像的每个颜色分量的FOV的子部分,例外的是,图27I至图27K示出了其中每个颜色分量部分地承载在三个目镜波导而不是两个目镜波导中的某些实施例。
- [0119] 图27L至图27N示出了可耦入到每层单色分量(single-color-component-per-layer)目镜波导中的输入图像的每个颜色分量的FOV的子部分。
- [0120] 图28A示出了具有增强FOV和直列(in-line)光瞳ICG配置的目镜波导堆叠的另一示例实施例。
- [0121] 图28B示出了具有增强FOV和分割光瞳ICG配置的目镜波导堆叠的另一示例实施例。
- [0122] 图29是将表1中的FOV值绘制为折射率的函数的图。
- [0123] 图30示出了使用图27A至图27B和图28A至图28B所示的目镜波导堆叠的改进的输出图像均匀性的示例。

具体实施方式

[0124] 总览

[0125] 本公开描述了可在AR显示系统中用于将图像投射到用户眼睛的各种目镜波导。目

镜波导用物理术语并且使用k空间表示描述。

[0126] 示例HMD设备

[0127] 图2示出示例可穿戴显示系统60。显示系统60包括显示器或目镜70以及支持该显示器70的功能的各种机械和电子模块和系统。显示器70可以耦合到框架80,框架80可由显示系统用户90佩戴并且被配置为将显示器70定位在用户90的眼睛前方。在一些实施例中,显示器70可以被认为是眼镜。在一些实施例中,扬声器100耦合到框架80并且位于用户90的耳道附近。显示系统还可以包括一个或多个麦克风110来检测声音。麦克风110能够允许用户向系统60提供输入或命令(例如,语音菜单命令、自然语言问题等的选择)和/或能够允许与其他人(例如,与类似显示系统的其他用户)的音频通信。麦克风110还能够收集来自用户周围的音频数据(例如,来自用户和/或环境的声音)。在一些实施例中,显示系统还可以包括外围传感器120a,该外围传感器120a可以与框架80分离并且附接到用户90的身体(例如,头部、躯干和四肢上等)。在一些实施例中,外围传感器120a可以获取表征用户90的生理状态的数据。

[0128] 显示器70通过通信链路130(诸如通过有线导线或无线连接)可操作地耦合到本地数据处理模块140,该本地数据处理模块140可以以各种配置安装,诸如固定地附接到框架80,固定地附接到用户穿戴的头盔或帽子,嵌入到耳机中,或可移除地附接到用户90(例如,以背包方式的配置,或以带式耦合方式的配置)。类似地,传感器120a可以通过通信链路120b(例如,有线导线或无线连接)可操作地耦合到本地处理和数据模块140。本地处理和数据模块140可以包括硬件处理器以及诸如非易失性存储器(例如,闪存存储器或硬盘驱动)的数字存储器,二者都可用于辅助数据的处理、缓冲以及存储。数据可以包括如下数据:1)从传感器(其可以例如可操作地耦合到框架80或以其他方式附接到用户90)捕获的数据,诸如图像捕获设备(例如,相机)、麦克风、惯性测量单元、加速度计、指南针、GPS单元、无线电设备、陀螺仪和/或在此公开的其他传感器;和/或2)使用远程处理模块150和/或远程数据储存库160获取和/或处理的数据(包括与虚拟内容有关的数据),可能在这种处理或检索之后传送给显示器70。本地处理和数据模块140可以通过诸如经由有线或无线通信链路的通信链路170、180操作性地耦合到远程处理模块150和远程数据储存库160,使得这些远程模块150、160操作性地彼此耦合并作为资源可用于本地处理和数据模块140。在一些实施例中,本地处理和数据模块140可以包括以下中的一个或多个:图像捕获设备、麦克风、惯性测量单元、加速度计、指南针、GPS单元、无线电设备和/或陀螺仪。在一些其他实施例中,这些传感器中的一个或多个可以附接到框架80,或者可以是通过有线或无线通信路径与本地处理和数据模块140通信的独立设备。

[0129] 远程处理模块150可以包括分析和处理数据的一个或多个处理器,例如图像和音频信息。在一些实施例中,远程数据储存库160可以是数字数据存储设施,其可以通过互联网或其它网络配置以“云”资源配置而可用。在一些实施例中,远程数据储存库160可以包括一个或多个远程服务器,其向本地处理和数据模块140和/或远程处理模块150提供信息(例如,用于生成增强现实内容的信息)。在其他实施例中,在本地处理和数据模块中存储全部数据,并且执行全部计算,允许从远程模块完全自主使用。

[0130] 将图像感知为“三维”或“3D”可以通过向用户的每只眼睛提供稍微不同的图像呈现来实现。图3示出用于为用户模拟三维图像数据的传统显示系统。两个不同的图像190、

200被输出给用户,一个图像用于每只眼睛210、220。图像190、200与眼睛210、220沿着平行于用户视线的光轴线或z轴线间隔开距离230。图像190、200是平坦的,并且眼睛210、220可以通过呈现(assume)单个适应(accommodate)状态来聚焦在图像上。这种3D显示系统依赖于人类视觉系统以组合图像190、200来提供组合图像的深度和/或缩放的感知。

[0131] 然而,人类视觉系统是复杂的,并且提供对深度的现实感知是具有挑战性的。例如,传统的“3-D”显示系统的许多用户发现这种系统不舒服,或者根本不能感知到深度感。由于聚散度和适应性的组合而将该对象感知为“三维”。两只眼睛彼此相对的聚散运动(例如,眼睛的旋转使得瞳孔彼此相向或远离运动,以会聚眼睛的相应的视线来注视对象)与眼睛晶状体的聚焦(或“适应性”)密切相关。在正常情况下,改变眼睛晶状体的焦点或适应眼睛,以将焦点从在不同距离处的一个对象改变到另一个对象,将会在称为“调节-聚散反射(accommodation-vergence reflex)”的关系以及瞳孔的扩张或收缩下自动地导致在聚散上的匹配改变达到相同的距离。同样,在正常情况下,聚散的改变将引发晶状体形状和瞳孔尺寸的适应性的匹配改变。如在此所指出的,许多立体或“3-D”显示系统使用稍微不同的呈现(并且因此稍微不同的图像)来向每只眼睛显示场景,以使得人类视觉系统感知到三维视角。然而,这样的系统由于它们简单地提供单个适应性状态的图像信息并且违背“调节-聚散反射”进行工作,而对于一些用户来说不舒服。提供调节和聚散之间的更好匹配的显示系统可以形成三维图像数据的更逼真且舒适的模拟。

[0132] 图4示出了使用多个深度平面来模拟三维图像数据的方法的各方面。参照图4,眼睛210、220呈现不同的调节状态从而聚焦于Z轴上的各种距离处的对象。因此,可以说特定的调节状态与所示的深度平面240中的特定一个深度平面相关联,该特定深度平面具有相关联的焦距,以使得当眼睛处于该深度平面的调节状态时,特定深度平面中的对象或对象的部分被聚焦。在一些实施例中,可以通过为眼睛210、220中的每一只眼睛提供不同的图像呈现来模拟三维图像数据,并且还通过提供与多个深度平面对应的图像的不同呈现来模拟三维图像数据。虽然为了清楚说明而将眼睛210、220的相应视野示出为分开,但是它们可以例如随沿着Z轴的距离增加而重叠。另外,虽然为了便于说明而将深度平面示出为平坦的,但应理解的是,深度平面的轮廓可以在物理空间中是弯曲的,以使得深度平面中的所有特征在特定的调节状态下与眼睛对焦。

[0133] 对象与眼睛210或220之间的距离还可以改变来自该对象的光的发散量,如该眼睛所观察的。图5A-5C示出了距离与光线的发散之间的关系。对象与眼睛210之间的距离以距离减小的顺序表示为R1、R2和R3。如在图5A-5C中所示,随着到对象的距离减小,光线变得更加发散。随着距离的增加,光线变得更加准直。换句话说,可以说由点(对象或对象的部分)产生的光场具有球面波前曲率,这是该点距用户眼睛有多远的函数。曲率随着对象和眼睛210之间的距离减小而增加。因此,在不同的深度平面处,光线的发散度也不同,发散度随着深度平面与用户的眼睛210之间的距离减小而增加。尽管在图5A-5C和在此的其它附图中为了清楚说明仅示出单只眼睛210,将会理解,关于眼睛210的讨论可以应用于用户的双眼210和220。

[0134] 因此,通过向眼睛提供对应于这些有限数量的深度平面中的每一个的图像的不同呈现,可以实现感知深度的高度可信的模拟。不同的呈现可以由用户的眼睛单独聚焦,从而有助于基于针对位于不同深度平面上的场景而聚焦不同图像特征所需的眼睛调节量和/或

基于观察离焦的不同深度平面上的不同图像特征,向用户提供深度线索。

[0135] 用于AR或MR目镜的波导堆叠组件的示例

[0136] 图6示出了AR目镜中向用户输出图像信息的波导堆叠的示例。显示系统250包括可以用于采用多个波导270、280、290、300、310向眼睛/大脑提供三维感知的波导堆叠或堆叠波导组件260。在一些实施例中,显示系统250是图2的系统60,图6更详细地示意性示出了该系统60的一些部分。例如,波导组件260可以是图2的显示器70的一部分。将清楚的是,在一些实施例中,显示系统250可以被认为是光场显示器。

[0137] 波导组件260还可以包括在波导之间的多个特征320、330、340、350。在一些实施例中,特征320、330、340、350可以是一个或多个透镜。波导270、280、290、300、310和/或多个透镜320、330、340、350可以被配置为以各种级别的波前曲率或光线发散向眼睛发送图像信息。每个波导级别可以与特定的深度平面相关联,并且可以被配置为输出与该深度平面对应的图像信息。图像注入设备360、370、380、390、400可以用作波导的光源并且可以用于将图像信息注入到波导270、280、290、300、310中,如在此所述,每个图像注入设备可以被配置为分布入射光穿过每个相应的波导,用于朝向眼睛210输出。光从每个相应的图像注入设备360、370、380、390、400的输出表面410、420、430、440、450出射并被注入到相应波导270、280、290、300、310的相应输入表面460、470、480、490、500。在一些实施例中,输入表面460、470、480、490、500中的每个可以是相应波导的边缘,或者可以是相应波导的主表面的一部分(即,直接面向世界510或用户的眼睛210的波导表面中的一个)。在一些实施例中,光束(例如,准直光束)可以注入到每个波导中,并且可以在波导中诸如经过衍射通过采样为子光束进行复制,接着以与关联于特定波导的深度平面对应的光焦度(optical power)量引导朝向眼睛210。在一些实施例中,图像注入设备360、370、380、390、400中的单个一个图像注入设备可以与波导270、280、290、300、310中的多个(例如,三个)相关联并将光注入其中。

[0138] 在一些实施例中,图像注入设备360、370、380、390、400是分立显示器,其中每一个产生用于分别注入到相应波导270、280、290、300、310中的图像信息。在一些其它实施例中,图像注入设备360、370、380、390、400是单个复用显示器的输出端,其可以经由一个或多个光导管(诸如,光纤线缆)向图像注入设备360、370、380、390、400中的每一个图像注入设备发送图像信息。应该理解,由图像注入设备360、370、380、390、400提供的图像信息可以包括不同波长或颜色的光。

[0139] 在一些实施例中,由包括光模块530的光投影系统520提供注入到波导270、280、290、300、310的光,光模块530可以包括光源或光发射器(诸如发光二极管(LED))。来自光模块530的光可以经由分束器(BS)550由光调制器540(例如,空间光调制器)进行引导和调制。光调制器540可以在空间上和/或在时间上改变注入到波导270、280、290、300、310中的光的感知强度。空间光调制器的示例包括液晶显示器(LCD),其包括硅上液晶(LCOS)显示器和数字光处理(DLP)显示器。

[0140] 在一些实施例中,光投影系统520或者其一个或多个部件可以附接到框架80(图2)。例如,光投影系统520可以是框架80的临时部分(例如,耳柄82)的一部分或者设置在显示器70的边缘处。在一些实施例中,光模块530可以与BS 550和/或光调制器540分离。

[0141] 在一些实施例中,显示系统250可以是包括一个或多个扫描光纤的扫描光纤显示器,将光以各种模式(例如,光栅扫描、螺旋扫描、李萨如模式等)投射到一个或多个波导

270、280、290、300、310中并且最终投射到用户的眼睛210中。在一些实施例中,所示的图像注入设备360、370、380、390、400可以示意性表示单个扫描光纤或扫描光纤束,扫描光纤或扫描光纤束被配置为将光注入到波导270、280、290、300、310中的一个或多个。在一些其他实施例中,所示的图像注入设备360、370、380、390、400可以示意性表示多个扫描光纤或多个扫描光纤束,每一个扫描光纤或扫描光纤束被配置为将光注入到波导270、280、290、300、310中的相关联的一个波导。一个或多个光纤可以将光从光模块530发送到一个或多个波导270、280、290、300和310。另外,一个或多个中间光学结构可以设置在一个或多个扫描光纤与一个或多个波导270、280、290、300、310之间,从而例如将从扫描光纤出射的光重定向到一个或多个波导270、280、290、300、310中。

[0142] 控制器560控制堆叠波导组件260的操作,包括图像注入设备360、370、380、390、400、光源530和光调制器540的操作。在一些实施例中,控制器560可以是本地数据处理模块140的一部分。控制器560包括调节图像信息到波导270、280、290、300、310的定时和提供的编程(例如,在非暂时性介质中的指令)。在一些实施例中,控制器可以是单个整体设备,或通过有线或无线通信通道连接的分布式系统。在一些实施例中,控制器560可以是处理模块140或150(图2)的部分。

[0143] 波导270、280、290、300、310可以被配置为通过全内反射(TIR)在每个相应的波导内传播光。波导270、280、290、300、310可以各自是平面的或具有其他形状(例如,弯曲的),具有主要的顶表面和底表面以及在主要的顶表面和底表面之间延伸的边缘。在所示的配置中,波导270、280、290、300、310可以各自包括外耦合光学元件570、580、590、600、610,其被配置为通过将在每个相应波导内传播的光重定向到波导外从而向眼睛210输出图像信息。提取的光也可以被称为外耦合光,并且外耦合光学元件也可以被称为光提取光学元件。提取的光束可以在波导中传播的光照射光提取元件的位置处通过波导输出。例如,外耦合光学元件570、580、590、600、610可以是包括衍射光栅的衍射光学特征,如在此进一步讨论的。虽然外耦合光学元件570、580、590、600、610被示出为设置在波导270、280、290、300、310的底部主表面处,但是在一些实施例中,它们可以设置在顶部和/或底部主表面处,和/或可以直接设置在波导270、280、290、300、310的体积中,如在此进一步讨论。在一些实施例中,外耦合光学元件570、580、590、600、610可以形成在附接到透明基板材料层中以形成波导270、280、290、300、310。在一些其它实施例中,波导270、280、290、300、310可以是单片材料,并且外耦合光学元件570、580、590、600、610可以形成在该片材料的表面上和/或该片材料的内部中。

[0144] 每个波导270、280、290、300、310可以输出光以形成与特定深度平面对应的图像。例如,最接近眼睛的波导270可以将准直光束传递到眼睛210。准直光束可以代表光学无限远焦平面。下一个上行波导280可以输出准直光束,该准直光束在到达眼睛210之前穿过第一透镜350(例如,负透镜)。第一透镜350可以向准直光束增加轻微的凸面的波前曲率,使得眼睛/大脑将来自波导280的光解释为源于第一焦平面,该第一焦平面从光学无穷远更向内靠近朝向眼睛210。类似地,第三波导290使其输出光在到达眼睛210之前穿过第一透镜350和第二透镜340两者。第一透镜350和第二透镜340的组合光功率可以增加波前曲率的另一增量,使得眼睛/大脑将来自第三波导290的光解释为源于第二焦平面,该第二焦平面从光学无穷远比来自第二波导280的光更向内靠近。

[0145] 其他波导层300、310和透镜330、320被类似地配置,其中堆叠中的最高波导310通过它与眼睛之间的全部透镜发送其输出,用于表示最靠近人的焦平面的聚合光焦度(aggregate focal power)。当在堆叠波导组件260的另一侧上观看/解释来自世界510的光时,为了补偿透镜320、330、340、350的堆叠,补偿透镜层620可以设置在堆叠的顶部处以补偿下面的透镜堆叠320、330、340、350的聚合光功率。这种配置提供了与可用波导/透镜配对一样多的感知焦平面。波导的外耦合光学元件和透镜的聚焦方面都可以是静态的(即,不是动态的或电激活的)。在一些替代实施例中,两者之一或者两者都可以是使用电激活特征而动态的。

[0146] 在一些实施例中,波导270、280、290、300、310中的两个或更多个可以具有相同的关联深度平面。例如,多个波导270、280、290、300、310可以输出设定到相同深度平面的图像,或波导270、280、290、300、310的多个子集可以输出设定到相同的多个深度平面的图像,其中对于每个深度平面设定一个。这可以为形成平铺图像提供优势,以在这些深度平面处提供扩大的视场。

[0147] 耦出光学元件570、580、590、600、610可以被配置为将光重定向到它们相应的波导之外并且对于与波导相关联的特定深度平面输出具有适当的发散量或准直量的该光。结果,具有不同相关联深度平面的波导可具有耦出光学元件570、580、590、600、610的不同配置,其取决于相关联的深度平面输出具有不同发散量的光。在一些实施例中,光提取元件570、580、590、600、610可以是体积或表面特征,其可以被配置为以特定角度输出光。例如,光提取光学元件570、580、590、600、610可以是体积全息图、表面全息图和/或衍射光栅。在一些实施例中,特征320、330、340、350可以不是透镜;相反,它们可以简单地是间隔物(例如,用于形成气隙的包层和/或结构)。

[0148] 在一些实施例中,耦出光学元件570、580、590、600、610是衍射效率足够低的衍射特征,使得仅光束的功率的一部分在每次相互作用中朝向眼睛210重定向,同时剩余的继续经由TIR移动通过波导。相应地,光模块530的出射光瞳穿过波导进行复制,从而创建携带来自光源530的图像信息的多个输出光束,有效扩展眼睛210可以拦截复制的光源出射光瞳的位置数量。这些衍射特征还可以跨越它们的几何形状具有可变的衍射效率以提高波导输出的光的均匀性。

[0149] 在一些实施例中,一个或多个衍射特征可以在它们主动地衍射的“开”状态和它们不显著衍射的“关”状态之间可切换。例如,可切换的衍射特征可以包括聚合物分散液晶层,其中微滴在主体介质中形成衍射图案,并且微滴的折射率可以切换为基本上匹配主体材料的折射率(在这种情况下,图案不明显地衍射入射光),或者微滴可以切换为与主体介质的指数不匹配的指数(在这种情况下,该图案主动地衍射入射光)。

[0150] 在一些实施例中,相机组件630(例如,数码相机,包括可见光和红外(IR)光相机)可以设置为捕获眼睛210、眼睛210的部分或者眼睛210周围的组织的至少一部分,从而例如检测用户输入、从眼睛提取生物识别信息、评估和跟踪眼睛的注视方向,以监测用户的心理状态等。在一些实施例中,相机组件630可以包括图像捕获设备和将光(例如,IR或近IR光)投射到眼睛的光源,接着该光可以由眼睛反射并且由图像捕获设备检测。在一些实施例中,光源包括在IR或近IR发光的发光二极管(“LED”)。在一些实施例中,相机组件630可以附接到框架80(图2)并且可以与处理模块140或150电通信,处理模块140或150可以处理来自相

机组件630的图像信息以做出关于例如用户的心理状态、佩戴者的注视方向、虹膜识别等的各种确定。在一个实施例中,可以针对每个眼睛使用一个相机组件630,从而分开监视每个眼睛。

[0151] 图7A示出了由波导输出的出射光束的示例。(以透视图)示出了一个波导,但是波导组件260(图6)中的其他波导可以类似的发挥作用。光640在波导270的输入表面460处被注入到波导270中,并且通过TIR在波导270内传播。通过与衍射特征的相互作用,光作为出射光束650离开波导。出射光束650从投影仪设备复制出射光瞳,该投影仪设备将图像投影到波导中。出射光束650中的任何一个包括输入光640的总能量的子部分。并且在完全有效的系统中,所有出射光束650中的能量的总和将等于输入光640的能量。出射光束650在图7A中示出为基本平行,但是,如本文所讨论的,取决于与波导270相关联的深度平面,可以赋予一定量的光功率。平行的出射光束可以指示具有如下的外耦合光学元件的波导,其中外耦合光学元件将光外耦合以形成看起来被设定在距眼睛210远距离(例如,光学无穷远)处的深度平面上的图像。其它波导或者其他的外耦合光学元件组可以输出更加发散的出射光束图案,如图7B所示,这将需要眼睛210适应更近距离以将它聚焦在视网膜上,并且将被大脑解释为光来自比光学无穷远更接近眼睛210的距离。

[0152] 在一些实施例中,可以通过在每个分量颜色(例如三种或更多种分量颜色,诸如红色、绿色和蓝色)中覆盖图像,在每个深度平面处形成全色图像。图8示出了堆叠的波导组件的示例,其中每个深度平面包括使用多个不同分量颜色形成的图像。所示实施例示出深度平面240a-240f,但也可以考虑更多或更少的深度。每个深度平面可以具有与其相关联的三个或多个分量颜色图像,包括:第一颜色G的第一图像;第二颜色R的第二图像;以及第三颜色B的第三图像。在图中通过字母G、R和B之后的不同屈光度表示不同的深度平面。这些字母的每个字母之后的数字表示屈光度(1/m),或者深度平面与用户距离的倒数,并且图中的每个框代表单个分量颜色图像。在一些实施中,为了考虑眼睛对于不同波长的光的聚焦上的差异,可以改变针对不同分量颜色的深度平面的精确放置。例如,对于给定深度平面的不同分量颜色图像可以被放置在与距用户的不同距离对应的深度平面上。这样的布置可以增加视敏度和用户舒适度或可以减少色差。

[0153] 在一些实施例中,每种分量颜色的光可以由单个专用波导输出,因此,每个深度平面可以具有与其相关联的多个波导。在这样的实施例中,图中的每个框可以被理解为表示单独的波导,并且可以为每个深度平面提供三个波导,从而每个深度平面显示三个分量颜色图像。虽然为了便于说明,在该图中示出与每个深度平面相关联的波导彼此相邻,但是应该理解,在物理设备中,波导可以全部以每个层级一个波导的形式布置在堆叠中。在一些其它实施例中,多个分量颜色可以由相同的波导输出,使得例如可以为每个深度平面仅提供单个波导。

[0154] 继续参考图8,在一些实施例中,G是绿色,R是红色,B是蓝色。在一些其他实施例中,除了红色、绿色或蓝色中的一个或多个颜色之外,还可以使用与其他波长的光相关联的其他颜色(包括黄色、品红色和青色),或者这些其他颜色可以代替红色、绿色或蓝色中的一个或多个颜色。在一些实施例中,特征320、330、340和350可以是有源或无源光学滤波器,其被配置为阻挡或选择性地将来自周围环境的光传送到用户的眼睛。

[0155] 贯穿本公开对给定颜色的光的参考应当被理解为包括一个或多个波长的光,该一

个或多个波长的光被用户感知为该给定颜色的光的波长范围内。例如,红光可以包括在约620-780nm范围内的一个或多个波长的光,绿光可以包括在约492-577nm范围内的一个或多个波长的光,并且蓝光可以包括在约435-493nm范围内的一个或多个波长的光。

[0156] 在一些实施例中,光源530(图6)可以被配置为在用户的视觉感知范围之外发射一个或多个波长的光,例如,红外或紫外波长。红外光可以包括波长范围从700nm到10 μ m的光。在一些实施例中,红外光可以包括波长范围从700nm到1.5 μ m的近红外光。另外,显示器250的波导的内耦合、外耦合、以及其他光重定向结构可以被配置为将该光从显示器引导出并朝向用户的眼睛210发射,例如用于成像和/或用户刺激应用。

[0157] 现在参考图9A,在一些实施例中,入射在波导上的光可能需要被重定向,以将该光内耦合到波导中。可以使用内耦合光学元件来将光重定向并将光内耦合到其对应的波导中。图9A示出了各自包括内耦合光学元件的堆叠波导组660的示例的横截面侧视图。波导可以各自被配置为输出一个或多个不同波长的光,或者一个或多个不同波长范围的光。应当理解的是,堆叠660可以对应于堆叠260(图6),并且所示出的堆叠660的波导可以对应于多个波导270、280、290、300、310的一部分,除了来自图像注入装置360、370、380、390、400中的一个或多个的光从需要光重定向以进行耦合的位置或方位注入到波导中。

[0158] 所示的堆叠波导集660包括波导670、680和690。每个波导包括相关联的耦合光学元件(其还可以被称为波导上的光输入区域),具有例如设置在波导670的主表面(例如,上部主表面)上的耦合光学元件700,设置在波导680的主表面(例如,上部主表面)上的耦合光学元件710,以及设置在波导690的主表面(例如,上部主表面)上的耦合光学元件720。在一些实施例中,耦合光学元件700、710、720中的一个或多个可以设置在相应的波导670、680、690的底部主表面上(尤其是在一个或多个耦合光学元件是反射光学元件的情况下)。如所示,耦合光学元件700、710、720可以被设置在它们相应的波导670、680、690的上部主表面上(或下一个较低波导的顶部),特别是在那些耦合光学元件是透射光学元件的情况下。在一些实施例中,耦合光学元件700、710、720可以设置在相应的波导670、680、690的主体中。在一些实施例中,如在此所讨论的,耦合光学元件700、710、720是波长选择性的,使得它们选择性地重定向一个或多个波长的光,同时透射其他波长的光。虽然在它们相应的波导670、680、690的一侧或角部上示出,但应理解的是,在一些实施例中,耦合光学元件700、710、720可以设置在它们相应的波导670、680、690的其他区域中。

[0159] 如图所示,耦合光学元件700、710、720可以彼此横向偏移。在一些实施例中,每个耦合光学元件可以偏移使得它接收光而该光没有穿过另一内耦合光学元件。例如,每个耦合光学元件700、710、720可以被配置为从图6所示的不同图像注入设备360、370、380、390、和400接收光,并且可以与其他耦合光学元件700、710、720分离(例如,横向间隔开)使得它基本上不接收来自耦合光学元件700、710、720中的其他耦合光学元件的光。

[0160] 每个波导还包括相关联的光分布元件,其中例如设置在波导670的主表面(例如,顶部主表面)上的光分布元件730,设置在波导680的主表面(例如,顶部主表面)上的光分布元件740,以及设置在波导690的主表面(例如,顶部主表面)上的光分布元件750。在一些其他实施例中,光分布元件730、740、750可以分别设置在相关联的波导670、680、690的底部主表面上。在一些其他实施例中,光分布元件730、740、750可以分别设置在相关联的波导670、680、690的顶部和底部主表面上;或光分布元件730、740、750可以分别设置在不同的相关联

的波导670、680、690中的顶部主表面和底部主表面中的不同主表面上。

[0161] 波导670、680、690可以通过例如气体、液体或固体材料层隔开并且分离。例如，如图所示，层760a可以将波导670和680分离；并且层760b可以将波导680和690分离。在一些实施例中，层760a和760b由低折射率材料（即，具有比形成波导670、680、690中的直接相邻的一个波导的材料更低的折射率的材料）形成。优选地，形成层760a、760b的材料的折射率比形成波导670、680、690的材料的折射率至少小0.05或至少小0.10。有利的是，较低折射率层760a、760b可以用作促进穿过波导670、680、690的光的TIR（例如，每个波导的顶部和底部主表面之间的TIR）的包层。在一些实施例中，层760a、760b由空气形成。虽然未示出，但应当理解的是，图示的波导组660的顶部和底部可以包括紧邻的包层。

[0162] 优选地，为了便于制造和其他考虑，形成波导670、680、690的材料类似或相同，并且形成层760a、760b的材料类似或相同。在其他实施例中，形成波导670、680、690的材料可以在一个或多个波导之间不同，或形成层760a、760b的材料可以不同，同时仍然保持上述的各种折射率关系。

[0163] 继续参考图9A，光线770、780、790入射在波导组660上。光线770、780、790可以通过一个或多个图像注入设备360、370、380、390、400（图6）注入到波导670、680、690中。

[0164] 在一些实施例中，光线770、780、790具有不同的性质（例如，不同的波长或不同的波长范围），其可以对应于不同的颜色。内耦合光学元件700、710、720各自将入射光重定向，使得该光通过TIR传播经过波导670、680、690中的相应波导。

[0165] 例如，耦入光学元件700可以被配置为使具有第一波长或第一波长范围的光线770重定向。类似地，透射的光线780照射在内耦合光学元件710上并被其重定向，该耦入光学元件710被配置为使第二波长或第二波长范围的光重定向。同样，光线790被耦入光学元件720重定向，该耦入光学元件720被配置为选择性地重定向第三波长或第三波长范围的光。

[0166] 继续参考图9A，光线770、780、790被重定向，使得它们传播通过相应的波导670、680、690；也就是说，每个波导的耦入光学元件700、710、720使光重定向到相应的波导670、680、690中从而将光耦入到该相应的波导中。光线770、780、790以使得光通过TIR传播通过相应的波导670、680、690的角度被重定向。光线770、780、790通过TIR传播通过相应的波导670、680、690，直到与波导的相应的光分布元件730、740、750相互作用。

[0167] 现在参考图9B，示出了图9A的多个堆叠波导的示例的透视图。如上所述，光线770、780、790分别被耦入光学元件700、710、720耦入，然后通过TIR分别在波导670、680、690内传播。然后光线770、780、790分别与光分布元件730、740、750相互作用。光分布元件730、740、750使光线770、780、790重定向，使得它们分别朝向耦出光学元件800、810、820传播。

[0168] 在一些实施例中，光分布元件730、740、750是正交光瞳扩展器（OPE）。在一些实施例中，OPE将光重定向到外耦合光学元件800、810、820，并且还通过当光线770、780、790传播到外耦合光学元件时在横跨光分布元件730、740、750的多个位置处对光线770、780、790进行采样来扩展与该光相关联的光瞳。在一些实施例中（例如，在出射光瞳已经具有期望尺寸的情况下），可以省略光分布元件730、740、750，并且可以内耦合光学元件700、710、720可以被配置为将光直接重定向到外耦合光学元件800、810、820。例如，参照图9A，光分布元件730、740、750可以分别被外耦合光学元件800、810、820替代。在一些实施例中，外耦合光学元件800、810、820是将光重定向离开波导并且朝向用户的眼睛210（图7）的出射光瞳（EP）或

出射光瞳扩展器 (EPE)。OPE 可以被配置为在至少一个轴上增加眼箱的尺寸,并且 EPE 可以被配置为在与 OPE 的轴交叉 (例如,正交) 的轴上增加适眼区 (eye box)。

[0169] 因此,参考图 9A 和 9B,在一些实施例中,波导组 660 针对每个分量颜色包括波导 670、680、690;耦入光学元件 700、710、720;光分布元件 (例如,OPE) 730、740、750;以及耦出光学元件 (例如,EPE) 800、810、820。波导 670、680、690 可以与每一个之间用气隙/包层堆叠。内耦合光学元件 700、710、720 将入射光 (不同的内耦合光学元件接收不同波长的光) 定向到相应的波导中。然后光以支持相应的波导 670、680、690 内的 TIR 的角度进行传播。由于 TIR 仅在特定角度范围内发生,因此光线 770、780、790 的传播角度的范围受到限制。在这样的示例中可以考虑支持 TIR 的角度范围,例如可以由波导 670、680、690 显示的视场的角度限制。在所示的示例中,光线 770 (例如,蓝光) 由第一耦入光学元件 700 耦入,然后在沿波导向下行进时继续从波导的表面来回反射,其中光分布元件 (例如,OPE) 730 以前面描述的方式逐渐对其进行采样以产生另外的复制光线,该复制光线被引导朝向耦出光学元件 (例如,EPE) 800。光线 780 和 790 (例如,分别为绿光和红光) 将穿过波导 670,其中光线 780 照射在耦入光学元件 710 上并且被其耦入。光线 780 接着经由 TIR 沿波导 680 向下传播,继续前进到其光分布元件 (例如,OPE) 740,然后到耦出光学元件 (例如,EPE) 810。最后,光线 790 (例如,红光) 穿过波导 670、680 从而照射到波导 690 的光耦入光学元件 720。光耦入光学元件 720 使光线 790 耦入,使得该光线通过 TIR 传播到光分布元件 (例如,OPE) 750,然后通过 TIR 到达耦出光学元件 (例如,EPE) 820。然后耦出光学元件 820 最后将光线 790 向外耦合到用户,该用户也从其他波导 670、680 接收耦出光。

[0170] 图 9C 示出了图 9A 和图 9B 的多个堆叠波导的示例的俯视平面图。如图所示,波导 670、680、690 连同每个波导的相关联的光分布元件 730、740、750 和相关联的耦出光学元件 800、810、820 可以垂直地对准。然而,如本文所讨论的,耦入光学元件 700、710、720 未垂直地对准;而是,耦入光学元件可以是非重叠的 (例如,如在俯视图中看到的横向隔开)。该非重叠空间布置有助于在一对一基础上将来自不同的源的光注入到不同的波导中,从而允许特定光源唯一地光学耦合到特定波导。在一些实施例中,包括非重叠的空间分离的耦入光学元件的布置可以被称为移位的 (shifted) 光瞳系统,并且这些布置内的耦入光学元件可以对应于子光瞳。

[0171] 图 10 是示例 AR 目镜波导堆叠 1000 的透视图。目镜波导堆叠 1000 可以包括世界侧覆盖窗口 1002 和眼睛侧覆盖窗口 1006,以保护位于覆盖窗口之间的一个或多个目镜波导 1004。在其他实施例中,可以省略覆盖窗 1002、1006 中的一个或两个。如已经讨论的,目镜波导 1004 可以以分层配置布置。目镜波导 1004 可以耦合在一起,例如,每个单独的目镜波导耦合到一个或多个相邻的目镜波导。在一些实施例中,波导 1004 可以用边缘密封件 (诸如图 11 中所示的边缘密封件 1108) 耦合在一起,使得相邻的目镜波导 1004 不彼此直接接触。

[0172] 每个目镜波导 1004 可以由至少部分透明的衬底材料制成,诸如玻璃、塑料、聚碳酸酯、蓝宝石等。所选择的材料可以具有高于 1.4 的折射率,例如,或者高于 1.6,或高于 1.8,以便于光导。每个目镜波导基板的厚度可以是例如 325 微米或更小,但是也可以使用其他厚度。每个目镜波导可以包括一个或多个耦入区域、光分布区域、图像扩展区域和耦出区域,其可以由形成在每个波导基板 902 上或其中的衍射特征构成。

[0173] 尽管在图 10 中未示出,目镜波导堆叠 1000 可包括用于将其支撑在用户眼睛前方的

物理支撑结构。在一些实施例中，目镜波导堆叠1000是如图2所示的头戴式显示系统60的一部分。通常，目镜波导堆叠1000被支撑使得外耦合区域直接位于用户眼睛前方。应该理解，图10仅示出了目镜波导堆叠1000的与用户的一只眼睛相对应的部分。完整的目镜可以包括相同结构的镜像，两个半部可能由鼻架分开。

[0174] 在一些实施例中，目镜波导堆叠1000可以将来自多个深度平面的彩色图像数据投影到用户的眼睛中。由目镜1000中的每个单独的目镜波导1004显示的图像数据可以对应于所选择的深度平面的图像数据的所选颜色分量。例如，由于目镜波导堆叠1000包括六个目镜波导1004，它可以投射对应于两个不同深度平面的彩色图像数据（例如，由红色、绿色和蓝色分量组成）：每个深度平面每个颜色分量一个目镜波导1004。其他实施例可以包括用于更多或更少颜色分量和/或更多或更少深度平面的目镜波导1004。

[0175] 图11是在堆叠配置中具有用于支撑目镜波导1104的边缘密封结构1108的示例目镜波导堆叠1100的一部分的剖面图。边缘密封结构1108对准目镜波导1104并将它们彼此分隔开，其中空气间隙或另一种材料设置在它们之间。虽然未示出，但是边缘密封结构1108可以围绕堆叠波导配置的整个周边延伸。在图11中，每个目镜波导之间的间隔是0.027mm，但是其他距离也是可能的。

[0176] 在示出的实施例中，存在两个目镜波导1104被设计用于显示红色图像数据，一个用于3米深度平面而另一个用于1米深度平面。（同样，目镜波导1104输出的光束的发散可以使图像数据看起来源自位于特定距离处的深度平面。）类似地，存在两个目镜波导1104被设计用于显示蓝色图像数据，一个用于3米深度平面，另一个用于1米深度平面，两个目镜波导1104被设计用于显示绿色图像数据，一个用于3米深度平面和另一个用于1米深度平面。这六个目镜波导1104中的每一个被示出为0.325mm厚，但是其他厚度也是可能的。

[0177] 世界侧覆盖窗口1102和眼睛侧覆盖窗口1106也在图11中示出。这些覆盖窗口可以是例如0.330mm厚。当考虑六个目镜波导1104、七个空气间隙、两个覆盖窗口1102、1106和边缘密封件1108的厚度时，所示目镜波导堆叠1100的总厚度为2.8mm。

[0178] AR目镜波导的K空间表示

[0179] 图12A和图12B示出处于操作中的目镜波导1200在其朝向用户眼睛210投射图像的俯视图。可以首先使用投影透镜1210或一些其他投影仪设备将图像从图像平面1207投射朝向目镜波导1200的入射光瞳1208。每个图像点（例如，图像像素或图像像素的一部分）具有相应的输入光束（例如，1202a、1204a、1206a），其在入射光瞳1208处沿特定方向传播（例如，以相对于投影仪透镜1210的光轴的特定角度）。尽管示出为光线，但是输入光束1202a、1204a、1206a可以是例如当它们进入目镜波导1200时直径为几毫米或更小的准直光束。

[0180] 在图12A和图12B中，中间图像点对应于输入光束1204a，输入光束1204a用实线示出。右侧图像点对应于输入光束1202a，输入光束1202a用虚线示出。并且左侧图像点对应于输入光束1206a，输入光束1206a用点划线示出。为了说明清楚，在入射光瞳1208处仅示出了三个输入光束1202a、1204a、1206a，尽管典型的输入图像将包括在x方向和y方向上以一定角度范围传播的许多输入光束，它们对应于二维图像平面中的不同图像点。

[0181] 在入射光瞳1208处的输入光束（例如，1202a、1204a、1206a）的各种传播角度与图像平面1207处的相应图像点之间存在唯一的对应关系。目镜波导1200可以被设计成将输入光束（例如，1202a、1204a、1206a）内耦合，以分布的方式通过空间复制它们，并引导它们以

形成出射光瞳1210,其大于入射光瞳1208并且由复制的光束组成,同时基本上保持图像点和光束角度之间的对应关系。目镜波导1200可以将以特定角度传播的给定输入光束(例如,1202a)转换为许多复制光束(例如,1202b),这些复制光束以基本上唯一关联于该特定输入光束及其对应的图像点的角度穿过出射光瞳1210被输出。例如,对应于每个输入光束的复制输出光束可以以与其对应的输入光束基本上相同的角度离开目镜波导1200。

[0182] 如图12A和图12B所示,对应于图像平面1207处的中间图像点的输入光束1204a被转换成一组复制输出光束1204b,用实线示出,这些复制输出光束与垂直于目镜波导1200的出射光瞳1210的光轴对准。对应于图像平面1207处的右侧图像点的光1202a的输入光束被转换为被复制的输出光束1202b的集合,用虚线表示,它们以传播角度离开目镜波导1200,使得它们似乎来自用户视场的右侧部分的位置。类似地,对应于图像平面1207处的左侧图像点的光1206a的输入光束被转换为复制输出光束1206b的集合,用点划线表示,它们以传播角度离开目镜波导1200,使得它们似乎来自用户视场的左侧部分的位置。输入光束角度和/或输出光束角度的范围越大,目镜波导1200的视场(FOV)越大。

[0183] 对于每个图像,存在多组复制的输出光束(例如,1202b、1204b、1206b)-每个图像点一组复制光束-其以不同的角度在出射光瞳1210上输出。单独输出光束(例如,1202b、1204b、1206b)可以各自被准直。对应于给定图像点的一组输出光束可以包括沿平行路径(如图12A所示)或发散路径(如图12B所示)传播的光束。在任一种情况下,该组复制输出光束的特定传播角度取决于图像平面1207处的相应图像点的位置。图12A示出了每组输出光束(例如,1202b、1204b、1206b)包括沿平行路径传播的光束的情况。这导致图像被投影以便看起来源自光学无穷远。这在图12A中表示为从外围输出光束1202b、1204b、1206b朝向目镜波导1200的世界侧(与用户眼睛210所在的一侧相对)的光学无限远延伸的虚线。图12B示出了每组输出光束(例如,1202b、1204b、1206b)包括沿发散路径传播的光束的情况。这导致图像被投影以便看起来来自具有比光学无限远更近的距离的虚拟深度平面。这在图12B中表示为从外围输出光束1202b、1204b、1206b朝向目镜波导1200的世界侧的点延伸的虚线。

[0184] 再次,每组复制的输出光束(例如,1202b、1204b、1206b)具有对应于图像平面1207处的特定图像点的传播角度。在沿着平行路径传播的一组复制的输出光束的情况下(参见图12A),所有光束的传播角度是相同的。然而,在一组沿着发散路径传播的复制输出光束的情况下,单独输出光束可以以不同角度传播,但是这些角度彼此相关,因为它们产生了聚合发散波前,并且似乎来自沿着光束集的轴的公共点(参见图12B)。正是该轴限定了该组发散输出光束的传播角度,并且该轴对应于图像平面1207处的特定图像点。

[0185] 进入目镜波导1200、在目镜波导内传播和离开目镜波导的各种光束都可以使用一个或多个波矢量或k矢量来描述,该波矢量或k矢量描述光束的(一个或多个)传播方向。k空间是将k矢量与几何点相关的分析框架。在k空间中,空间中的每个点对应于唯一k矢量,该k矢量进而可表示具有特定传播方向的光束或光线。这允许输入和输出光束及其对应的传播角度被理解为k空间中的一组点(例如,矩形)。当行进穿过目镜时改变光束的传播方向的衍射特征可以在k空间中理解为简单地平移组成图像的k空间点集合的位置。该新的平移k空间位置对应于一组新的k矢量,该k矢量进而表示在与衍射特征相互作用之后的光束或光线的新传播角度。

[0186] 目镜波导的操作可以通过其使得一点集合(诸如对应于投射图像的k空间矩形内

的点)在k空间中移动的方式来理解。这与更复杂的光线跟踪图形成对比,光线跟踪图可能以其他方式用于示出光束和其传播角度。因此,K空间是用于描述目镜波导的设计和操作的有效工具。以下讨论描述了各种AR目镜波导的特征和功能的k空间表示。

[0187] 图13A示出了可用于表示光线或光束的传播方向的k矢量1302。特别示出的k矢量1302代表具有平面波前1304的平面波。k矢量1302指向它所表示的光线或光束的传播方向。k矢量1302的幅度或长度由波数k定义。色散方程 $\omega = ck$ 与光的角频率 ω 、光速c和波数k有关。(在真空中,光速等于光速常数c。在介质中,然而,光速与介质的折射率成反比。因此,在介质中,方程变为 $k = n\omega / c$ 。)注意,通过定义, $k = 2\pi/\lambda$,并且 $\omega = 2\pi f$,其中f是光的频率(例如,以赫兹为单位)。如从该方程中明显的,具有较高角频率 ω 的光束具有较大波数,并且因此较大幅度(magnitude)的k矢量(假设相同传播介质)。例如,假定相同传播介质,蓝色光束比红色光束具有更大的幅度k矢量。

[0188] 图13B示出了对应于平面波导1300内的k矢量1302的光线1301。波导1300可以代表本文所描述的任何波导,并且可以是用于AR显示系统的目镜的一部分。波导1300可经由全内反射(TIR)引导具有特定k矢量的光线。例如,如图13B所示,由k矢量1302示出的光线1301以一定角度朝向波导1300的上表面引导。如果角度不是太陡,如斯奈尔定律所决定的,则光线1301将在波导1300的上表面以等于入射角的角度反射,并且然后向下传播到波导1300的下表面,其中光线将再次反射回上表面。光线1301将继续在波导1300内以引导方式传播,在其上表面与下表面之间来回反射。

[0189] 图13C示出了用于给定角频率 ω 的光在具有折射率n的无界均匀介质中传播的允许k矢量。示出的k矢量1302的长度或幅度k等于介质的折射率n乘以光的角频率 ω 除以光速常数c。对于在具有折射率n的均匀介质中传播的具有给定角频率 ω 的光线或光束,所有允许k矢量的幅度是相同的。并且对于非引导传播,允许所有传播方向。因此,定义所有允许k矢量的k空间中的歧管(manifold)是空心球体1306,其中球体的大小取决于光的角频率和介质的折射率。

[0190] 图13D示出了用于给定角频率 ω 的光在具有折射率n的均匀平面波导介质中传播的允许k矢量。而在无界介质中,所有允许k矢量位于空心球体1306,以确定平面波导中的允许k矢量,我们可以将允许k矢量的球体1306投射到平面(例如,x-y平面)上。这导致投射k空间中的实心圆盘1308,其表示可在平面波导内传播的k矢量。如图13D所示,可在x-y平面(例如,波导1300)中的平面波导内传播的k矢量是这样的所有矢量:该k矢量x-y平面中的分量小于或等于介质的折射率n乘以光的角频率 ω 除以光速常数c。

[0191] 实心圆盘1308内的每个点对应于可在波导中传播的波的k矢量(尽管并非所有这些k矢量导致波导内的被引导的传播,如下文关于图13E所讨论的)。在实心圆盘1308内的每个点处,存在两个允许的波:一个具有传播到页面中的z分量,并且另一个具有传播到页面外的z分量。因此,可以使用等式 $k_z = \pm\sqrt{|k|^2 - k_x^2 - k_y^2}$ 恢复k矢量的平面外分量 k_z ,其中,选择的符号确定波是传播到页面中还是传播到页面外。由于在具有折射率n的均匀介质中传播的给定角频率 ω 的所有光波具有相同幅度k矢量,因此具有其x-y分量在大小上更接近于实心圆盘1308的半径的k矢量的光波具有更小的传播z分量(导致TIR需要的较不陡峭的传播角度,如关于图13B所讨论的),而具有位于更接近于实心圆盘1308的中心的x-y分量的光

波具有更大的传播 z 分量(导致可能不TIR的较陡峭的传播角度)。此后,所有提及的 k 空间是指投射的 k 空间(除非上下文另外明显的),其中二维 k 平面对应于波导平面;除非明确地提到波导表面之间的传播方向,否则讨论和图通常仅考虑平行于波导表面的方向。此外,在绘制 k 空间时,通常最方便的是,将自由空间圆盘半径归一化为统一的,使得将绘图有效地归一化为 ω/c 。

[0192] 图13E示出了对应于可在具有折射率 n_2 (例如, $n_2=1.5$)的波导内引导的光波的 k 矢量的 k 空间中的环1310。波导由具有较低折射率 n_1 (例如, $n_1\approx 1$)的介质(例如,空气)物理上围绕。如仅关于图13D所讨论的,对应于 $x-y$ 平面中的平面波导介质内的允许波的 k 矢量是其相应 $x-y$ 分量位于 k 空间中的实心圆盘1308中的所有那些 k 矢量。实心圆盘1308的半径与波导介质的折射率成正比。因此,返回参考图13E,对应于可在具有折射率 $n_2=1.5$ 的平面波导介质中传播的光波的 k 矢量是其相应 $x-y$ 分量位于较大圆盘1308a内的 k 矢量。同时,对应于可在具有折射率 $n_1=1$ 的周围介质中传播的光波的 k 矢量是其相应 $x-y$ 分量位于较小圆盘1308b内的 k 矢量。其相应 $x-y$ 分量位于环1310内的所有 k 矢量对应于可在波导介质中传播但在周围介质(例如,空气)中传播的那些光波。这些是经由全内反射在波导介质中引导的光波,如关于图13B所描述的。因此,如果光线或光束具有位于 k 空间环1310中的 k 矢量,则它们仅可在AR目镜的波导内经历引导传播。注意,禁止在较大圆盘1308a之外传播具有 k 矢量的光波;不存在其 k 矢量位于该区域的传播波(该区域中的波具有沿着其传播方向微小衰减的、而不是恒定的幅度)。

[0193] 本文所描述的各种AR目镜波导可以通过使用衍射特征(诸如衍射结构)来耦入光,以将在自由空间($n_1\approx 1$)中传播的光束的 k 矢量(例如,从投影仪)引导到目镜波导的 k 空间环1310中。其 k 矢量位于环1310中的任何光波可以在目镜波导内以引导方式传播。环1310的宽度确定 k 矢量的范围-并且,因此,传播角度的范围-其可在目镜波导内引导。因此,通常认为 k 空间环1310的宽度确定可由目镜波导投射的最大视场(FOV)。由于环1310的宽度取决于较大圆盘1308a的半径,其本身部分取决于目镜波导介质的折射率 n_2 ,用于增加目镜FOV的一种技术是使用具有较大折射率的目镜波导介质(与目镜波导周围的介质的折射率相比较)。然而,存在关于可用于AR目镜的波导介质的折射率的实际限制,诸如材料成本。这进而被认为对AR目镜的FOV施加了实际限制。但是,如本文所解释的,存在可用于克服这些限制以便允许更大的FOV的技术。

[0194] 尽管图13E中的较大圆盘1308a的半径也取决于光的角频率 ω ,并且环1310的宽度因此取决于光的颜色,但是这并不暗示由目镜波导支持的FOV对于具有较高角频率的光更大,因为对应于FOV的任何给定角范围也与角频率成正比。

[0195] 图13F示出了类似于图13E描绘的 k 空间图的 k 空间图。 k 空间图示出了对应于折射率 n_1 的第一介质中的允许 k 矢量的较小圆盘1308b、对应于折射率 n_2 ($n_2>n_1$)的第二介质中的允许 k 矢量的较大圆盘1308a,以及较小圆盘1308a和较大圆盘1308b的外边界之间的环1310。尽管环1310的宽度1342中的所有 k 矢量对应于被引导的传播角度,但是可能的是,少于位于环1310的宽度1342内的所有 k 矢量可能对于用于显示图像是令人满意的。

[0196] 图13F还示出了具有相互比较中所示的两个被引导的光束的波导1350。第一光束在环1310的外边缘附近具有第一 k 矢量1344a。第一 k 矢量1344a对应于由折射率 n_1 的空气所围绕的具有折射率 n_2 的波导1350的剖视图中的所示的第一TIR传播路径1344b。还示出了具有

更接近于k空间环1310的中心的第二k矢量1346a的第二光束。第二k矢量1346a对应于波导1350中的第二TIR传播路径1346b。波导1350可包括波导1350上或波导1350内的衍射光栅1352。当光束遇到具有衍射光栅1352的波导1350的表面时,发生相互作用,该相互作用可将光束能量的样本发送出波导,同时光束继续在波导中TIR。光束在TIR中通过波导传播的角度确定了反射事件的密度,或每单位长度反射到具有衍射光栅1352的波导1350的表面的反弹次数。返回光束比较的示例,第一TIR传播路径1344b中的第一光束利用衍射光栅1352从波导表面反射四次,以跨衍射光栅1352的长度而产生四个出射光瞳1354(以实线示出),而第二TIR传播路径1346b中的第二光束,在相同或类似距离上,利用衍射光栅1352从波导表面反射十次,以跨衍射光栅1352的长度产生十个出射光瞳1356(以虚线示出)。

[0197] 实际上,可能希望将输出光束或出射光瞳间距限制为等于或在预选择的范围内,以确保用户将从预定义的适眼区内的任何位置看到投射内容。利用该信息,可能的是,将环1310的宽度1342限于该约束适用的k矢量的子集1344,并且取消将过度掠射(grazing)的角度包括在设计计算中的资格。取决于期望的性能、衍射光栅设计和其他优化因素,大于或小于子集1344的角度可以是可接受的。类似地,在一些实施例中,对应于相对于波导表面太陡峭且提供太多与衍射光栅1352的相互作用的传播角度的k矢量也可被取消使用资格。在这样的实施例中,可以通过有效地将可用角度的边界从较大圆盘1308a和较小圆盘1308b之间的边界径向向外移动来减小环1310的宽度1342。本文所公开的任何目镜波导的设计可以通过以这种方式限制k空间环1310的宽度来调整。

[0198] 如上文所描述的,可在目镜设计计算中省略环1310内对应于次优TIR传播路径的k矢量。可替代地,对应于具有过度掠射角度的TIR传播路径的k矢量,并且因此在具有衍射光栅的波导的表面上的反射事件的过低密度,可以使用本文所描述的各种技术来补偿。一种技术是使用耦合光栅将入射图像的视场(FOV)的部分引导到k空间环1310的两个不同区域。特别是,将入射图像引导到由第一组k矢量表示的k空间环1310的第一侧和由第二组k矢量表示的k空间环1310的第二侧可能是有利的,其中k空间环1310的第一和第二侧面基本上彼此相对。例如,第一组k矢量可对应于环1310的左侧的k矢量的FOV矩形,以及第二组k矢量可对应于环1310的右侧的k矢量的FOV矩形。左FOV矩形靠近较大圆盘1308a的外边缘具有其左边缘,对应于近掠射k矢量角。该边缘处的光线将产生稀疏的出射瞳孔。然而,位于环1310的右侧的右FOV矩形的同一左边缘将更靠近较大圆盘1308a的中心。在右FOV矩形的同一左边缘处的光将具有高密度的出射光瞳。因此,当左FOV矩形和右FOV矩形从波导中朝向用户的眼睛重新连接以产生图像时,在视场的所有区域处产生足够数量的出射光瞳。

[0199] 衍射特征,诸如衍射光栅,可用于将光耦合入目镜波导、耦合出目镜波导、和/或改变目镜波导内的光的传播方向。在k空间中,衍射光栅对由特定k矢量表示的光线或光束的影响被通过衍射光栅的平面中的k矢量分量与光栅矢量的矢量相加来确定。光栅矢量的幅度和方向取决于衍射光栅的特定性质。图13G、13H和13I示出了衍射光栅在k空间中的k矢量上的操作。

[0200] 图13G示出了衍射光栅1320和其一些相关联的k空间衍射光栅矢量(G_{-2} 、 G_{-1} 、 G_1 、 G_2)的俯视图。衍射光栅1320在x-y平面中取向,并且图13G从z方向入射在其上的光线或光束的视角示出了光栅的视图。衍射光栅1320具有相关联的k空间衍射光栅矢量的集合(例如, G_{-2} 、 G_{-1} 、 G_1 、 G_2),其在与衍射光栅相同的平面上取向。 G_1 和 G_{-1} 光栅矢量分别对应于 ± 1 衍射

级,而 G_2 和 G_{-2} 光栅矢量分别对应于 ± 2 衍射级。用于 ± 1 衍射级的光栅矢量指向相反的方向(沿着光栅的周期轴),并且具有与衍射光栅1320的周期 Λ 成反比的相等幅度。因此,具有更细节距的衍射光栅具有更大的光栅矢量。用于 ± 2 衍射级的光栅矢量也指向相反的方向,并且具有等于用于 ± 1 衍射级的光栅矢量的幅度的两倍的幅度。也可以存在用于附加更高衍射级的光栅矢量,尽管它们未示出。例如,用于 ± 3 衍射级的光栅矢量的幅度是用于 ± 1 衍射级的光栅矢量的幅度的三倍等等。注意,基本光栅矢量 G_1 仅由光栅的周期性(方向和节距)来确定,而光栅的组成(例如,表面轮廓、材料、层结构)可能影响光栅的其他特性,诸如衍射效率和衍射相位。

[0201] 由于基本光栅矢量(例如, G_{-1} 、 G_2 、 G_{-2} 等)的所有谐波仅是基本 G_1 的整数倍,因此光栅的所有衍射方向仅由光栅的周期性确定。衍射光栅1320的作用是将光栅矢量添加到对应于入射光线或光束的 k 矢量的平面内分量。这示出在图13H中。

[0202] 图13H示出了衍射光栅1320的横视图和其在 k 空间中对对应于垂直入射光线或光束的 k 矢量1302的影响。衍射光栅1320将入射光线或光束衍射成一个或多个衍射级。这些衍射级中的每一个的新光线或光束由新 k 矢量(例如,1302a-e)表示。这些新的 k 矢量(例如,1302a-e)通过 k 矢量1302的平面内分量与光栅矢量(例如, G_{-2} 、 G_{-1} 、 G_1 、 G_2)中的每一个的矢量相加来确定。在示出的垂直入射光线或光束的情况下, k 矢量1302在衍射光栅的 x - y 平面中没有分量。因此,衍射光栅1320的效果是产生一个或多个新的衍射光线或光束,其 k 矢量(例如,1302a-e)具有等于对应光栅矢量的 x - y 分量。例如,入射光线或光束的 ± 1 衍射级的 x - y 分量分别变为 G_1 和 G_{-1} 。同时,新 k 矢量的幅度被约束为 $2\pi/\omega$,因此新 k 矢量(例如1302a-e)都位于半圆上,如图13H所示。由于入射 k 矢量1302的平面内分量被添加到其长度等于基本增量或 $2x$ 基本增量的光栅矢量等等,因此每个产生的 k 矢量的幅度受到限制,但是用于不同衍射级的 k 矢量(例如,1302a-e)之间的角度不相等;相反, k 矢量(例如1302a-e)随着增加的衍射级在角度上变得更稀疏。

[0203] 在平面目镜波导上或在平面目镜波导中形成衍射光栅的情况下,新 k 矢量(例如1302a-e)的平面内分量可能是最令人感兴趣的,因为如果它们位于目镜波导的 k 空间环1310中,那么衍射光线或光束将通过目镜波导经历引导传播。但是如果新 k 矢量(例如,1302a-e)的平面内分量位于中心圆盘1308b中,那么衍射光线或光束将离开目镜波导。

[0204] 图13I示出了衍射光栅1320的横视图和其在 k 空间中对对应于倾斜入射光线或光束的 k 矢量1302的影响。该影响类似于关于图13H所描述的影响。具体地,衍射光线或光束的 k 矢量通过入射 k 矢量的平面内分量与光栅矢量(G_{-2} 、 G_{-1} 、 G_1 、 G_2)的矢量相加来确定。对于倾斜入射的 k 矢量1302,衍射光栅1320的 x - y 平面中的 k 矢量的分量是非零。该分量被添加到光栅矢量,以确定用于衍射光线或光束的新 k 矢量的平面内分量。新 k 矢量的幅度被约束为 $2\pi/\omega$ 。并且,再次,如果衍射光线或光束的 k 矢量的平面内分量位于目镜波导的 k 空间环1310中,那么衍射光线或光束将通过目镜波导经历引导传播。

[0205] 图13J是示出了投射到AR目镜波导(例如,1200、1300)中的图像的视场(FOV)的 k 空间图。 k 空间图包括较大的圆盘1308a,其定义可在目镜波导内传播的光束或光线的 k 矢量。 k 空间图还包括较小的圆盘1308b,其定义可在围绕目镜波导的介质(诸如空气)内传播的光束或光线的 k 矢量。并且,如已经讨论的, k 空间环1310定义了可在目镜波导内经历引导传播的光束或光线的 k 矢量。

[0206] 图12A和图12B示出了投射到目镜波导的入射光瞳中的输入光束(例如,1202a、1204a、1206a)。每个输入光束具有由图像平面中的对应图像点的空间位置所唯一定义的传播角度。输入光束集在x方向和y方向上具有一定的角度扩展。x方向上的角度扩展可以定义水平视场,而y方向上的角度扩展可以定义垂直视场。另外,例如,输入光束沿着x方向与y方向之间的对角线的角度扩展可以定义对角线视场。

[0207] 在k空间中,输入图像的视场可以由FOV矩形1330近似。FOV矩形1330包围对应于输入光束集合的k矢量集合。FOV矩形1330具有沿着 k_x 轴的尺寸,该尺寸对应于在x方向上的输入光束的角度扩展。具体地,FOV矩形1330的水平宽度是 $2n \cdot \sin\left(\frac{\theta_x}{2}\right)$,其中 θ_x 是总水平FOV,并且n是入射介质的折射率。FOV矩形1330也具有沿着 k_y 轴的尺寸,该尺寸定义在y方向上的输入光束的角度扩展。类似地,FOV矩形1330的垂直高度是 $2n \cdot \sin\left(\frac{\theta_y}{2}\right)$,其中 θ_y 是总垂直FOV。尽管矩形被示出为表示输入光束集合,但是在一些实施例中,输入光束集合可以使得它对应于k空间中的不同形状。但是通常使用FOV矩形或FOV正方形示出的本文中的k空间分析也可以同样适用于k空间中的其他形状。

[0208] 如图13J所示,FOV矩形1330以较小的圆盘1308b为中心并且完全位于其内。FOV矩形1330的该位置对应于输入光束集合(例如,在具有来自图像源的同轴或远心投射的配置中)或通常在 $\pm z$ 方向上传播的输出光束集合的k矢量(尽管光束集合以z轴为中心,但是除了垂直于入射光瞳或出射光瞳的光束外,所有光束相对于 $\pm z$ 方向具有一定量的角度偏差)。换句话说,当FOV矩形1330在k空间图中的较小圆盘1308b内时,当输入光束从图像源通过自由空间传播到目镜波导时,它可以表示输入光束。当输出光束从目镜波导传播到用户眼睛时,它也可以表示输出光束。FOV矩形1330内的每个k空间点对应于表示输入光束方向之一或输出光束方向之一的k矢量。为了由FOV矩形1330表示的输入光束在目镜波导内经历引导传播,FOV矩形1330必须被平移到k空间环1310。相反地,为了由FOV矩形1330表示的输出光束离开目镜波导,FOV矩形1330必须从k空间环1310平移回到较小的圆盘1308b。为了不通过波导从传播引入几何色散和色度色散,输入光束的FOV矩形1330可以与输出光束的FOV矩形重合;在这种配置中,目镜波导保持从输入到输出的光束角度。

[0209] 以下等式描述了在一些目镜波导中可能实现的FOV:

[0210]
$$\theta_x = \arcsin\left(\frac{|k_x|}{|k|}\right)$$

[0211]
$$FOV_x = \max(\theta_{x,air}) - \min(\theta_{x,air})$$

[0212]
$$FOV_x = \arcsin\left(\frac{\max(|k_{x,air}|)}{|k_{air}|}\right) - \arcsin\left(\frac{\min(|k_{x,air}|)}{|k_{air}|}\right)$$

[0213] 如果FOV水平上以 $\theta_x = 0$ 为中心,那么传统目镜波导可能具有以下限制:

[0214]
$$\max(FOV_x) = 2 \times \arcsin\left(\frac{\max(|k_{x,air}|)}{|k_{air}|}\right)$$

$$[0215] \quad \max(FOV_x) = 2 \times \arcsin \left(\frac{\frac{1}{2} \times \frac{w}{c} (n_2 - n_{air})}{\frac{w}{c} n_{air}} \right)$$

$$[0216] \quad \max(FOV_x) = 2 \times \arcsin \left(\frac{1}{2} (n_2 - 1) \right)$$

[0217] $\max(FOV_x)$ 对角频率的仅有依赖性来自波导折射率对角频率的依赖性,这在一些应用中可能是重要的细节,但是通常具有相对小的影响。

[0218] 图13K是示出了由位于目镜波导的入射光瞳处的输入耦合光栅 (ICG) 引起的FOV矩形1330的k空间中的平移移位的k空间图。ICG具有相关联的衍射光栅矢量 (G_{-1}, G_1), 如仅关于图13G至图13I所讨论的。ICG将由FOV矩形1330表示的输入光束中的每一个衍射为+1衍射级和-1衍射级。在k空间中,将输入光束衍射为+1衍射级由FOV矩形1330表示,该FOV矩形1330在 k_x 方向上通过 G_1 光栅矢量移位。类似地,在k空间中,将输入光束衍射为-1衍射级由FOV矩形1330表示,该FOV矩形1330在 $-k_x$ 方向上通过 G_{-1} 光栅矢量移位。

[0219] 对于图13K所示的特定示例,平移的FOV矩形太大以致于不能完全适合k空间环1310内。这意味着目镜波导不能在被引导的传播模式中支持FOV中的所有输入光束,无论是正衍射级还是负衍射级,因为它们之间的角度扩展太大。对应于位于较大圆盘1308a外部的平移FOV矩形中的点的k矢量将根本不会被ICG衍射,因为不允许这些k矢量。(在这种情况下,这也将防止衍射到±2级和更高的衍射级,因为与这些级相关联的光栅矢量甚至更长,并且因此会将k矢量进一步平移到更大的圆盘1308a之外)。同时,如果在由ICG平移之后,经平移的FOV矩形的任何部分仍位于较小的圆盘1308b内,那么对应于那些特定k矢量的光束将通过其平面传输以离开目镜波导,导致TIR失效,并且将不通过波导经历引导传播。

[0220] 为了在被引导模式中支持由平移FOV矩形1330表示的更多输入光束可以进行的一种可能的修改是增加目镜波导的折射率与周围介质的折射率之间的差。这将增大较大圆盘1308a的大小和/或减小较小圆盘1308b的大小(如果波导没有被空气包围,则较小圆盘1308b的大小的减小是可能的),从而增大k空间环1310的大小。

[0221] 具有正交光瞳扩展器的示例AR目镜波导

[0222] 图14A示出了具有ICG区域1440、正交光瞳扩展器 (OPE) 区域1450和出射光瞳扩展器 (EPE) 区域1460的示例目镜波导1400。图14B包括示出了k空间中的目镜波导1400的这些组件中的每一个的效果的k空间图。目镜波导1400的ICG区域1440、OPE区域1450和EPE区域1460包括各种衍射特征,该衍射特征将输入光束耦合到目镜波导中以经由被引导模式传播,在空间中的多个分布位置处复制光束,并且使得复制光束离开目镜波导并投射到用户的眼睛。

[0223] 对应于输入图像的输入光束可以从一个或多个输入设备投射到目镜波导1400中。输入光束可以入射在ICG区域1440上,ICG区域1440可以与目镜波导1400的入射光瞳重合。用于投射输入光束的输入设备可包括例如空间光调制器投影仪(相对于用户的脸部位于目镜波导1400的前面或后面)。在一些实施例中,输入设备可以使用液晶显示器 (LCD)、硅上液晶 (LCoS)、光纤扫描显示器 (FSD) 技术或扫描微机电系统 (MEMS) 镜显示器,尽管也可以使用其他显示器。来自输入设备的输入光束以不同的传播角度投射到目镜波导1400中,通常在

示出的-z方向上,并且从目镜波导的衬底外部入射在ICG区域1440上。

[0224] ICG区域1440包括衍射特征,该衍射特征重引导输入光束,使得其经由全内反射在目镜波导1400内传播。在一些实施例中,ICG区域1440的衍射特征可以形成一维周期(1D)衍射光栅,该衍射光栅由许多线组成,该线在示出的y方向上垂直延伸并在示出的x方向上周期性地水平重复。在一些实施例中,该线可以蚀刻到目镜波导1400的前表面或后表面,和/或它们可以由沉积在前表面或后表面上的材料形成。线的周期、占空比、深度、轮廓、闪耀角等可基于目镜波导1400设计的光的角频率 ω 、光栅的期望衍射效率和其他因素来选择。在一些实施例中,ICG区域1440被设计为将输入光耦合到+1和-1衍射级中。(衍射光栅可以被设计为减少或消除第0衍射级和第一衍射级以外的更高衍射级。这可以通过适当地塑造每条线的轮廓来实现。然而,在AR显示器的许多实际ICG中,所有较高的衍射级对应于位于k空间环之外的k矢量。因此,不管像光栅占空比、深度和轮廓的非k空间属性如何,这些较高的衍射级将被禁止。)来自ICG区域1440的 ± 1 衍射级中的一个中的衍射光束然后通常沿着-x方向向OPE区域1450传播,而 ± 1 衍射级中的另一个中的衍射光束然后通常沿着+x方向传播并且离开目镜波导1400。

[0225] OPE区域1450包括可执行至少两个功能的衍射特征:第一,它们可通过在空间上复制,通常在-x方向上的许多新位置处,每个输入光束,来执行光瞳扩展;第二,它们可以通常将路径上的每个复制光束朝向EPE区域1460引导。在一些实施例中,这些衍射特征是在目镜波导1400的衬底上或中形成的线。线的周期、占空比、深度、轮廓、闪耀角等可基于目镜波导1400设计的光的角频率 ω 、光栅的期望衍射效率和其他因素来选择。OPE区域1450的特定形状可以变化,但是通常它可以基于来自ICG区域1440的光束的扇出以及EPE区域1460的大小和位置来确定。这关于图14D进一步讨论。

[0226] OPE区域1450的衍射光栅可设计有相对低和/或可变衍射效率。这些性质可允许OPE区域1450复制从ICG区域1440到达的每个光束和/或在至少一个维度上更均匀地分布光能。由于相对低的衍射效率,光束与光栅的每次相互作用仅衍射光束中的功率的一部分,而剩余部分继续沿着相同方向传播。(可用于影响光栅的衍射效率的一些参数是线特征的高度和宽度,或线特征与背景介质之间的折射率差的幅度。)即,当光束与OPE区域1450中的衍射光栅相互作用时,其功率的一部分将向EPE区域1460衍射,而剩余部分将继续在OPE区域内传输,以在不同的空间位置处再次遇到光栅,其中,光束功率的另一部分可向EPE区域1460衍射,等等。由于在向EPE区域1460衍射之前,每个光束的功率的某些部分比其他部分更进一步穿过OPE区域1450,因此存在许多入射光束的副本从-x方向上的不同位置向EPE区域行进。因此,在原始入射光束通过OPE区域1450的传播方向上,复制光束的空间范围有效地增加,而入射光束的强度相应地降低,因为组成输入光束的光现在被分成许多复制光束。

[0227] OPE区域1450中的衍射光栅相对于从ICG区域1440到达的光束倾斜取向,以便使光束通常向EPE区域1460衍射。OPE区域1450中的衍射光栅的倾斜的特定角度可以取决于目镜波导1400的各种区域的布局,并且也许可以在图14B中稍后发现和讨论的k空间图中更清楚地看到。在目镜波导1400中,ICG区域1440位于OPE区域1450的右边,而EPE区域1460位于OPE区域下面。因此,为了将光从ICG区域1440重引导到EPE区域1460,OPE区域1450的衍射光栅可以相对于所示x轴约 45° 而取向。

[0228] 图14C是图14A和图14B所示的OPE区域1450的光学操作的三维图示。图14C示出了

ICG区域1440和OPE区域1450,这两者都在更接近于观看者的波导的一侧。光栅线不能看到,因为它们是可微的。在这种情况下,示出了单个输入光束1401,但是图像将由许多这样的输入光束组成,这些输入光束在稍微不同的方向上通过目镜波导1400传播。输入光束1401从ICG区域1440进入OPE区域1450。然后,输入光束1401继续经由全内反射通过目镜波导1400传播,在其表面之间反复来回反射。这在图14C中通过示出的每个光束的传播中的锯齿形来表示。

[0229] 当输入光束1401与在OPE区域1450中形成的衍射光栅相互作用时,其功率的一部分向EPE区域衍射,而其功率的另一部分沿着通过OPE区域1450的相同路径继续。如已经提到的,这部分归因于光栅的相对低衍射效率。进一步地,向EPE区域衍射的光束可重新遇到OPE区域1450的光栅,并衍射回到输入光束1401的原始传播方向。在图14C中通过箭头指示这些光束中的一些的路径。效果在于,由于输入光束在其通过OPE区域1450传播时被复制,因此光的空间范围被扩展。这从图14C是明显的,图14示出了输入光束1401被复制成许多光束,这些光束最终通常在-y方向上向EPE区域行进。

[0230] EPE区域1460同样包括可执行至少两个功能的衍射特征:第一,它们可沿着另一方向复制光束(例如,通常与OPE区域1450所复制的光束的方向相正交的方向);第二,它们可以将每个光束从目镜波导1400中衍射到用户的眼睛。EPE区域1460可以以与OPE区域1450相同的方式复制光束。即,当光束通过EPE区域1460传播时,它与衍射光栅重复相互作用,并且其功率的部分衍射为第一衍射级,从而耦出到用户的眼睛。光束的功率的其他部分零阶衍射,并且在EPE区域1460内在相同方向上继续传播,直到稍后再次与光栅相互作用。EPE区域1460的衍射光学特征还可将一定程度的光焦度给予复制的输出光束,使它们看起来好像它们来自期望的深度平面,如本文其他地方所讨论的。这可以通过使用透镜函数将曲率给予EPE区域1460中的衍射光栅线来实现。

[0231] 图14B示出了k空间中的目镜波导1400的操作。具体地,图14B包括目镜波导1400的每个组件的k空间图(KSD),以示出该组件的k空间效应。k空间图中的FOV矩形,以及显示光通过目镜波导的对应传播方向的箭头,具有匹配阴影。第一k空间图KSD1示出了从输入设备入射在ICG区域1440上的输入光束的k空间表示。如已经讨论的,输入光束集合可以在k空间中由FOV矩形1430表示,其 k_x 和 k_y 尺寸对应于在x和y方向上的输入光束的角度扩展。KSD1中的FOV矩形中的每个特定点对应于与输入光束中的一个相关联的k矢量,其中 k_x 分量指示在x方向上的输入光束的传播角度,并且 k_y 分量指示在y方向上的输入光束的传播角度。更精确地, $k_x = \sin(\theta_x)$,其中, θ_x 是由输入光束与y-z平面形成的角度,并且 $k_y = \sin(\theta_y)$,其中, θ_y 是由输入光束与x-z平面形成的角度。KSD1中的FOV矩形以图的 k_z 轴为中心的事实意味着:所表示的输入光束具有以在-z方向上传播的输入光束为中心的传播角度,以及因此所有输入光束通常在-z方向上传播。(尽管此处未示出,但是本文所描述的任何波导显示器也可设计用于相对于±z方向偏轴的FOV。)

[0232] 第二k空间图KSD2示出了ICG区域1440的k空间操作。如已经讨论的,衍射光栅具有相关联的光栅矢量(例如, G_1 、 G_{-1})。KSD2示出了 G_1 光栅矢量和 G_{-1} 光栅矢量,其幅度相等并且在沿着ICG的周期轴的方向上相反。ICG区域1440将输入光束衍射为±1衍射级。并且,在k空间中,这意味着:ICG通过使用 G_1 和 G_{-1} 光栅矢量,来平移FOV矩形将其复制到两个新位置。在示出的实例中,基于输入光束的角频率 ω ,ICG设计有周期 Λ ,使得光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 的幅度

将复制的FOV矩形完全放置在波导的k空间环内。因此,所有衍射输入光束进入被引导的传播模式。

[0233] 以 $-k_x$ 轴上的点为中心的FOV矩形的副本(k空间环内的9点钟位置)指示对应衍射光束具有以光束为中心的传播角度,该光束的目镜波导1400的平面内的传播分量在 $-x$ 方向上。因此,所有那些光束通常向OPE区域1450传播,同时经由TIR在目镜波导1400的前表面和后表面之间来回反射。同时,以 $+k_x$ 轴上的点为中心的FOV矩形的副本(k空间环内的3点钟位置)指示对应衍射光束具有以光束为中心的传播角度,该光束的目镜波导1400的平面内的传播分量在 $+x$ 方向上。因此,所有那些光束通常向目镜波导1400的右边缘传播,同时经由TIR在目镜波导1400的前表面和后表面之间来回反射。在该特定目镜波导1400中,那些光束通常丢失,并且不会有意义地有助于图像向用户的眼睛的投射。

[0234] KSD2未示出高阶光栅矢量,该高阶光栅矢量是示出的一阶光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 的倍数。ICG不将光束衍射为那些衍射级,因为在该实例中,这样做将组成FOV矩形的k矢量平移到k空间圆盘的外周长之外,该外周长定义所允许的k矢量。因此,在本实施例中不出现更高的衍射级。

[0235] 第三k空间图KSD3示出了OPE区域1450的k空间操作。再次,由于OPE区域1450包括衍射光栅,因此其具有幅度相等且沿着OPE光栅的周期轴的方向相反的相关联的光栅矢量(例如, G_1 、 G_{-1})。在这种情况下,衍射光栅的周期轴在关于x轴的 45° 角处。因此,OPE衍射光栅的光栅矢量(例如, G_1 、 G_{-1})指向关于 k_x 轴的 45° 角。如KSD3所示,光栅矢量中的一个将FOV矩形平移到以位于 $-k_y$ 轴上的点为中心的新位置(k空间环内的6点钟位置)。FOV矩形的该副本指示对应衍射光束具有以光束为中心的传播角度,该光束的目镜波导1400平面内的传播分量在朝向EPE区域1460的 $-y$ 方向上。同时,另一个示出的OPE光栅矢量将FOV矩形放置在k空间圆盘的外周长之外的位置。但是不允许圆盘之外的k矢量,因此OPE衍射光栅不将光束衍射到该衍射级中。OPE区域1450中的衍射光栅的周期轴不一定精确地是 45° 。例如,如通过检查KSD3看出,周期轴可以在略微大于或小于 45° 的角度处,同时仍将FOV矩形平移到6点钟位置,其中FOV矩形可以完全适合k空间环内。这会将FOV矩形放置在6点钟位置处,但是FOV矩形不一定沿着 $-k_y$ 轴在k空间环中居中。

[0236] 在示出的实例中,基于输入光束的角频率 ω ,OPE衍射光栅被设计有周期 Λ ,使得光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 中的一个将复制的FOV矩形完全放置在6点钟位置的波导的k空间环内。因此,所有衍射输入光束保持在被引导的传播模式中。由于k空间环中9点钟位置到6点钟位置的k空间距离(其是由OPE光栅执行的平移)大于从k空间图的原点到环的距离(其是由ICG执行的平移),OPE光栅矢量在幅度上必须不同于ICG光栅矢量。特别是,OPE光栅矢量比ICG光栅矢量长,这意味着OPE光栅因此具有比ICG光栅更短的周期。

[0237] 第四k空间图KSD4示出了EPE区域1460的k空间操作。此外,由于EPE区域1460包括衍射光栅,因此其具有幅度相等且沿着EPE光栅的周期轴的方向相反的相关联的光栅矢量(例如, G_1 、 G_{-1})。在这种情况下,衍射光栅的周期轴沿着目镜波导1400的y轴。因此,EPE衍射光栅的光栅矢量(例如, G_1 、 G_{-1})指向 $\pm k_y$ 方向。如KSD4所示,光栅矢量中的一个将FOV矩形平移到以k空间图的原点为中心的新位置。FOV矩形的该副本指示:对应的衍射光束具有以光束为中心的传播角度,该光束的目镜波导1400平面内的传播分量在朝向用户眼睛的 $+z$ 方向上。同时,另一个一阶EPE光栅矢量将FOV矩形放置在k空间圆盘的外周长之外的位置,因

此EPE衍射光栅不将光束衍射到该衍射级中。然而,二阶EPE光栅矢量中的一个将FOV矩形平移到k空间环中的12点钟位置。因此,EPE光栅可以将光中的一些衍射为二阶衍射级中的一个。二阶衍射方向可对应于沿着+y方向的引导传播方向,并且通常是不期望的效果。例如,如下文所描述的,当扰动EPE光栅以引入光焦度时,二阶衍射可导致视觉伪影,从而在呈现给用户的图像中产生闪光或拖尾效应。

[0238] 在示出的实例中,基于输入光束的角频率 ω ,EPE衍射光栅被设计有周期 Λ ,使得光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 中的一个将复制的FOV矩形完全放置点的波导的内部k空间圆盘内。因此,由EPE衍射光栅衍射的所有光束不再处于被引导的传播模式,并且因此离开目镜波导1400。而且,由于EPE衍射光栅将FOV矩形平移回k空间图的原点(对应于输入光束的FOV矩形位于该原点),因此输出光束具有与其对应的输入光束相同的传播角度。在示出的实施例中,EPE衍射光栅具有与ICG相同的周期 Λ ,因为这两个衍射光栅将FOV矩形平移相同的k空间距离。然而,这不是要求。如果FOV矩形的 k_y 尺寸小于6点钟位置处的k空间环的 k_y 尺寸,那么FOV矩形可以在环中的不同 k_y 位置处具有一系列可能的6点钟位置。因此,对于EPE光栅矢量-并且进而OPE矢量,可能存在许多工程选择,以将FOV矩形放置在k空间环内和/或k空间图的原点附近的位置处。

[0239] 在一些实施例中,EPE衍射光栅的线可以稍微弯曲,以便将光焦度给予离开EPE区域1460的输出光束。例如,EPE区域1460中的衍射光栅的线可以在波导平面中朝向OPE区域弯曲以给予负光焦度。例如,这可用于使输出光束遵循发散路径,如图12B所示。这使得投射图像出现在比光学无限远更近的深度平面处。特定曲率可由透镜函数确定。在k空间中,这意味着EPE区域1460内的不同空间区域将具有指向稍微不同方向的光栅矢量,这取决于该特定区域中的光栅线的曲率。在这些实施例中,这使得FOV矩形被平移到以k空间图的原点为中心的各种不同位置。这进而使得对应于每个平移FOV矩形的输出光束集合以不同的传播角度为中心,其进而引起深度错觉。

[0240] 图14D示出了用于确定OPE区域1450和EPE区域1460的大小和形状的技术。图14D示出了图14A和图14B所示的相同目镜波导1400,包括ICG区域1440、OPE区域1450和EPE区域1460。图14D还包括k空间图KSD1、KSD2和KSD3的简化版本。参考第一k空间图KSD1,FOV矩形的四个角k矢量是对应于从输入平面中的图像的角以最斜角入射在ICG上的输入光束的矢量(参见图12A和图12B)。由于这些输入光束的传播角度是视场中的所有光束中的最极端情况,因此它们的k矢量位于k空间中FOV矩形的四个角。

[0241] 图14D示出了定义来自ICG区域1440的四个衍射光束的光线,ICG区域1440对应于输入图像的四个角。特别是,靠近OPE区域1450顶部的光线定义了对应于输入光束的衍射光束,该输入光束在向上和远离OPE区域的方向上以最严重的(severe)传播角度入射在ICG区域1440上(即,位于FOV矩形的右上角的k矢量)。并且靠近OPE区域1450底部的光线定义了对应于输入光束的衍射光束,该输入光束在向下和远离OPE区域的上以最严重的传播角度入射在ICG区域1450上(即,位于FOV矩形的右下角的k矢量)。这两个光束定义了来自ICG区域1440的衍射光束的扇出。为了创建这两个光束的复制实例以及其之间的所有其他实例,并将它们投射到用户的眼睛,OPE区域的顶部和底部边界应当包括这两个光束的传播路径。它们的特定传播路径可以参考第二k空间图KSD2来确定。

[0242] KSD2示出了从ICG区域1440向OPE区域1450衍射的光束的产生的k矢量。KSD2中的

箭头示出了对应于位于FOV矩形的右上角的k矢量的光束的传播角度。

[0243] EPE区域1460的大小、形状和位置可以通过使用从第三k空间图KSD3中的k矢量而明显的传播角度,执行向后光线跟踪来确定。从KSD3明显的,FOV矩形的左上角和右上角k矢量定义了这样的传播路径的扇出:光束在从OPE区域1450向EPE区域1460的方向上传播时所遵循该传播路径。通过使用这些传播角度从位于离OPE区域1450最远的EPE区域1460的部分(即,EPE区域的下角)向后追踪,人们可以确定将到达EPE区域的下角的那些光线的OPE区域中的原点,其中传播角度由左上角和右上角k矢量定义。这些光线的这些原点可用于确定OPE区域1450的剩余边界。例如,为了将光束从OPE区域1450引导到EPE区域1460的左下角,最坏情况下的传播角度是由FOV矩形的右上角k矢量所指示的传播角度。因此,具有该角度的传播路径可用于定义OPE区域1450的左边界。类似地,为了将光束从OPE区域1450引导到EPE区域的右下角,最坏情况下的传播角度是由FOV矩形的左上角k矢量所指示的传播角度。因此,具有该角度的传播路径可用于定义OPE区域1450的右边界。

[0244] 如图14D所示,在示出的目镜波导1400的情况下,EPE区域1460位于来自ICG区域1440的-x和-y方向上。并且衍射光束中的一些沿着在那些相同方向上的路径从ICG区域1440扇出。为了避免这些衍射光束在首先传播通过OPE区域1450之前进入EPE区域,ICG区域1440可以位于在+y方向上离EPE区域足够远的位置,使得衍射光束的扇出不与EPE区域1460相交。这导致OPE区域1450的大部分下边界与EPE区域1460的上边界之间的间隙。在一些实施例中,可能希望通过移除或减小该间隙来减小目镜波导的大小。图15A示出了实现这些目标的示例实施例。

[0245] 图15A示出了其中OPE区域1500倾斜并且定位以使得其下边界平行于EPE区域1560的上边界的波导目镜1500的示例实施例。事实上,OPE区域1550和EPE区域1560实际上可能共享边界。根据该实施例,通过减小或消除图14A所示的目镜波导实施例中的OPE和EPE区域之间的间隙,可以使波导目镜1500的大小更紧凑。

[0246] 为了适应OPE区域1550的倾斜取向,可以修改ICG区域1540,使得来自ICG区域的衍射光束的扇出是倾斜的,以匹配OPE区域1550的倾斜取向。例如,ICG区域1540的光栅线可以被取向,使得在传播方向上没有衍射光束离开ICG区域,该传播方向具有在-y方向上的分量。另外,ICG区域1540可以位于OPE区域1550和EPE区域1560的共享边界附近,但是使得ICG区域的部分不在-y方向上延伸到该共享边界之外。ICG区域1540的操作可以在图15B所示的k空间图中看到。

[0247] 图15B包括示出图15A所示的目镜波导1500的操作的k空间图。第一k空间图KSD1示出了对应于输入光束的FOV矩形,该输入光束从位于目镜波导1500外部的投影仪投射到ICG区域1540。在示出的实施例中,这些输入光束具有以-z方向为中心的传播角度。因此,在k空间中,它们可以由FOV矩形表示,该FOV矩形以KSD1的原点处的 k_z 轴为中心。

[0248] 第二k空间图KSD2示出了ICG区域1540在输入光束上的操作。ICG区域1540衍射输入光束并将其重引导到OPE区域1550。在k空间中,这对应于,使用与ICG区域1540相关联的(一个或多个)光栅矢量,来平移FOV矩形。在该实施例中,ICG区域1540中的光栅线以周期轴取向,该周期轴具有在+y方向上的分量。这意味着与ICG 1540相关联的光栅矢量也具有在 $+k_y$ 方向上的分量。在 $+k_y$ 方向上的该分量的幅度可以大于或等于在 k_y 方向上的FOV矩形的宽度的一半。这意味着在由ICG区域1540平移之后,FOV矩形的部分不延伸到k空间图KSD2的水

平轴下面。这进而意味着没有来自ICG区域1540的衍射光束具有在 $-k_y$ 方向上的分量的传播角度。因此,没有衍射光束从ICG区域1540向下行进到EPE区域1560。并且,因此,没有衍射光束将在通过OPE区域1550之前进入EPE区域1560。

[0249] 第三k空间图KSD3示出了OPE区域1550在来自ICG区域1540的衍射光束上的操作。如图所示,OPE区域1550的衍射光栅可以被取向,以便以对应于正被平移至从k空间环中的6点钟位置稍微位移的位置的FOV矩形的角度,来重引导光束。例如,通过与KSD2中的平移FOV矩形从9点钟位置位移相同的角度,KSD3中的平移FOV矩形可以从k空间环中的6点钟位置位移。换句话说,KSD3中的平移FOV矩形可以与KSD2中的平移FOV矩形分离 90° 。然而,不要求该特定的角度分离;每个FOV矩形的特定位置可取决于目镜波导的各种区域相对于彼此的布局。

[0250] 由于KSD3中的平移FOV矩形以具有在 $-k_x$ 方向上的分量的k矢量为中心,因此来自OPE区域1550的光束通常以具有在 $-x$ 方向上的分量的角度而朝向EPE区域1560行进。从图15A可以看出,由于该角度,来自OPE区域1550的尖端部分1555的一些光束,将不与EPE区域1560相交。由于OPE区域1550的尖端部分1555可向EPE区域1560贡献相对小的部分光,因此消除上尖端1555的大小优势可超过任何光学缺点。在一些实施例中,因此可以通过消除OPE区域1550的上尖端1555,使波导目镜1500更加紧凑。

[0251] 最后,第四k空间图KSD4示出EPE区域1560具有被设计为将FOV矩形平移回到k空间图的原点的衍射光栅。由于图15A所示的目镜波导实施例的KSD4中的FOV矩形的起始位置与图14A所示的目镜波导实施例的KSD4中的FOV矩形的起始位置稍微不同,因此EPE区域1560中的衍射光栅的设计也略微不同。例如,EPE区域1560中的衍射光栅的光栅线的取向可以倾斜,使得相关联的光栅矢量具有在 $+k_x$ 方向上的分量,使得OPE区域1550不需要延伸超出EPE区域1560的左边缘(参见图14D的讨论,并且将图14D中的KSD3中的右上角k矢量的位置与图15B中的KSD3中的对应k矢量的位置进行比较)。这导致图15B的KSD4中的FOV矩形被平移回k空间图的原点,这意味着由平移FOV矩形表示的光束,以其对应输入光束相同的传播角度,从目镜波导1500耦出到用户的眼睛,如本文已经描述的(即,表示输出光束的FOV矩形与表示输入光束的FOV矩形在k空间图上的相同位置)。

[0252] 图15C是示出图15A所示的目镜波导1500的操作的另一k空间图。图15C中的k空间图是图15B所示的所有k空间图的叠加。并且它还示出了通过OPE区域1550传播的光束可以在通常在 $-k_x$ 方向上的传播角度(由位于k空间环的9点钟位置附近的FOV矩形表示)和通常在 $-k_y$ 方向上的传播角度之间来回切换(由位于k空间环的6点钟位置附近的FOV矩形表示)。这由具有k空间环的9点钟位置附近的FOV矩形和6点钟位置附近的FOV矩形之间的双面箭头的栅矢量示出。图15D至图15F更详细地示出了该特性。

[0253] 图15D是图15A所示的目镜波导实施例的OPE区域1550与输入光束之间的第一代相互作用的图。目镜波导1500的OPE区域1550包括由在周期性方向上重复的平行光栅线组成的衍射光栅。周期性的方向确定了与衍射光栅相关联的光栅矢量的方向。在该实例中,图15C中的具有双面箭头的栅矢量是示出OPE区域1550的操作并且沿着图15D至图15F所示的光栅线的周期性方向而指向的光栅矢量。

[0254] 图15D示出了从ICG区域1540进入OPE区域1550的输入光束。输入光束被示出在对应于图15C中位于k空间环的9点钟位置附近的FOV矩形的中心点或k矢量的方向上传播。如

所示,输入光束与OPE区域1550之间的第一代相互作用产生两个衍射输出光束:输入光束的功率的一些部分简单地从目镜波导1500的顶面或底面反射作为输出₁,并且在与输入光束相同的x-y方向上继续(即,0阶衍射);并且输入光束的功率的一部分衍射为一阶(例如,通过OPE区域的一阶光栅矢量 G_1),向下作为输出₂。输出₂光束被示出在对应于图15C中位于k空间环的6点钟位置附近的FOV矩形的中心点或k矢量的方向上传播。在该第一代相互作用之后,输出₁光束和输出₂光束具有不同的传播角度,但是它们都仍然在OPE区域1550内传播,并且因此可能具有与OPE区域的附加的相互作用,如图15E和图15F所示。尽管未示出,但是以不同传播角度进入OPE区域1550的其他输入光束将类似地表现,但是具有稍微不同的输入和输出角度。

[0255] 图15E是图15A所示的目镜波导实施例的OPE区域1550与输入光束之间的第二代相互作用的图。与第一代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第二代相互作用相关的光束以实线示出。如图15E所示,来自第一代相互作用的输出光束输出₁和输出₂中的每一个现在可以经历与如在第一代中发生的与OPE区域1550类似的相互作用。即,来自图15D的输出₁光束的功率的一些部分简单地在相同的x-y方向上继续(即,0阶衍射),而该光束的功率的另一部分与光栅相互作用并向被下重引导(例如,通过OPE区域的一阶光栅矢量 G_1)。类似地,来自图15D的输出₂光束的功率的一些部分简单地向下继续朝向EPE区域1560(即,0阶衍射),而该光束的功率的另一部分与光栅相互作用并且通常在-x方向上被衍射(例如,通过OPE区域的负一阶光栅矢量 G_{-1}),并且以与初始输入光束相同的方向继续进一步传播到OPE区域1550中。

[0256] 在OPE区域1550内发生第二代相互作用之后,存在其中两个产生的光束相交的干涉节点1556。由这些光束中的每一个到达干涉节点1556所遵循的光路在长度上基本上相同。因此,离开在相同方向上传播的干涉节点1556的光束可以具有相同或相似的相位,并且因此可以彼此经历相长或相消波干涉。这可能导致下面讨论的图像伪影。

[0257] 图15F是图15A所示的目镜波导实施例的OPE区域1550与输入光束之间的第三代相互作用的图。与第一和第二代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第三代相互作用相关的光束以实线示出。如图15F所示,由第二代相互作用产生的输出光束中的每一个可以再次经历与如前几代中发生的OPE区域1550类似的相互作用。那些光束的功率的一些部分在相同方向上继续(即,0阶衍射),而那些光束的功率的其他部分被重引导—一些通常在-x方向上,并且一些通常在-y方向上(即,通过OPE区域的一阶光栅矢量 G_1 和 G_{-1})。通常在-x方向上传播的所有光束处于位于图15C中的k空间图的k空间环中的9点钟位置附近的FOV矩形表示的状态,而通常在-y方向上传播的所有光束处于位于6点钟位置附近的FOV矩形表示的状态。如图15C中可以看到,对于由1D周期性衍射光栅组成的OPE区域1550的情况,对于任何给定输入光束,对应于该输入光束的复制光束仅在OPE区域内的两个方向上行进(尽管对于以不同传播角度进入OPE区域的不同输入光束,这两个方向将是不同的)。

[0258] 与OPE区域的第三代相互作用导致产生附加的干涉节点1556,其中具有相同或类似光路长度的光束彼此相交,可能导致相长或相消波干涉。节点1556中的每一个用作向EPE区域1560发射的光源。在由具有1D周期性的衍射光栅组成的OPE区域的情况下,这些节点1556的布局形成均匀晶格图案,并且因此可能导致图像伪影,如图15G所示。

[0259] 图15G是示出来自ICG区域1540的单个输入光束1545如何由OPE区域1550复制,并

作为多个光束1565重引导到EPE区域1560的图。向EPE区域1560或在EPE区域1560中传播的所示的复制光束1565中的每一个，都来自干涉节点1556之一。这些干涉节点具有有序分布，并且用作稀疏的周期性源阵列。由于干涉节点1556的有序分布，尽管光束可能具有非单调变化的强度，但是照射EPE区域的复制光束1565全部以相同的间距分离。并且因此，来自OPE区域1550的复制光束1565可以以相对稀疏、不均匀的分布，而照射EPE区域1560。在一些实施例中，如果照射目镜波导的EPE区域的复制光束可以更均匀地分散，则可能是有利的。图16示出了这样的实施例。

[0260] 具有多向光瞳扩展器的示例AR目镜波导

[0261] 图16A示出了具有多向光瞳扩展器(MPE)区域1650而不是OPE区域的示例目镜波导1600。在宏观水平上，示出的目镜波导1600的实施例类似于图15A所示的目镜波导1500。输入光束通过ICG区域1640，而耦合到目镜波导1600中。来自ICG区域1640的衍射光束朝向MPE区域1650传播并且通过MPE区域1650，MPE区域1650代替OPE区域。最后，MPE区域1650朝向EPE区域1660衍射光束，其中它们耦出到用户的眼睛。ICG区域1640和EPE区域1660可设计为以与关于图15A至图15G所描述的目镜波导1500中的对应区域相同的方式而运行。然而，MPE区域1650不同于OPE区域1550，因为它在更多方向上衍射光。该特征可以有利地减小EPE区域1660中的光束分布的周期均匀性，这进而可以使得EPE区域被更均匀地照射。

[0262] MPE区域1650由在多个方向上展现周期性的衍射特征组成。MPE区域1650可以由布置在2D晶格中的散射特征阵列组成。例如，单独散射特征可以是任何形状的凹痕或凸起。散射特征的2D阵列具有相关联的光栅矢量，该光栅矢量由该2D晶格的倒易晶格导出。作为一个示例，MPE区域1650可以是由具有沿着两个或两个以上不同周期性方向重复的光栅线的交叉光栅组成的2D周期性衍射光栅。这可以通过叠加两个具有不同周期性方向的1D光栅来实现。

[0263] 图16B示出了示例2D周期光栅的一部分连同其相关联的光栅矢量，其可在图16A所示的MPE区域1650中使用。2D周期光栅1650可以是衍射特征的空间晶格，其周期性方向由矢量 u 和 v 示出。这样的2D周期光栅与光栅矢量相关联。对应于周期性方向 u 和 v 的两个基本光栅矢量 G 和 H 的通过以下内容数学定义：

$$[0264] \quad u = [u_x, u_y]$$

$$[0265] \quad v = [v_x, v_y]$$

$$[0266] \quad G = \frac{2\pi}{u_x v_y - u_y v_x} [v_y, -v_x]$$

$$[0267] \quad H = \frac{2\pi}{u_x v_y - u_y v_x} [-u_y, u_x]$$

[0268] 数学上，矢量 u 和 v 定义了空间晶格，而 G 和 H 对应于基本对偶或倒易晶格矢量。注意， G 与 u 正交，以及 H 与 v 正交；然而， u 不一定与 H 平行，以及 v 不一定与 G 平行。

[0269] 作为一个示例，可以通过叠加两组1D周期光栅线来设计或形成2D周期光栅，如图16B所示（尽管2D周期光栅可以相反由位于例如图16B所示的光栅线的交点处的单独散射特征组成）。第一光栅线集合1656可以沿着基本光栅矢量 G 的方向重复。基本光栅矢量 G 可具有等于 $2\pi/a$ 的幅度，其中， a 是第一组光栅线1656的周期。图16B所示的2D光栅还与第一基本光

栅矢量G的谐波相关联。这些包括-G和高阶谐波,诸如2G、-2G等。第二光栅线集合1657可以沿着基本光栅矢量H的方向而重复。基本光栅矢量H可具有等于 $2\pi/a$ 的幅度,其中,b是第二光栅线集合1657的周期。图16B所示的2D光栅还与第二基本光栅矢量H的谐波相关联。这些包括-H和高阶谐波,诸如2H、-2H等。

[0270] 衍射特征的任何2D周期阵列将具有相关联的光栅矢量,该光栅矢量对应于整个倒易晶格,并且指向由基本光栅矢量G和H的整数线性组合(叠加)所确定的方向。在示出的实施例中,这些叠加产生附加光栅矢量,其也如图16B所示。这些包括例如-G、-H、H+G、H-G、G-H和-(H+G)。通常,这些矢量用两个指数来描述: $(\pm 1, 0)$, $(0, \pm 1)$, $(\pm 1, \pm 1)$, $(\pm 2, 0)$ 等。尽管图16B仅示出了与2D衍射光栅相关联的一阶光栅矢量及其叠加,但是也可以存在高阶光栅矢量。

[0271] 如本文其他地方已经讨论的,光栅在组成图像的光束集合上的k空间操作是使用与光栅相关联的光栅矢量来平移对应于图像的FOV矩形。这在用于图16B所示的示例2D MPE衍射光栅的图16C和图16D中示出。

[0272] 图16C是示出图16A所示的目镜波导1600的MPE区域1650的k空间操作的k空间图。k空间图包括位于k空间环的9点钟位置附近的阴影FOV矩形。这是在ICG区域1640将输入光束耦合到目镜波导1600并将其重引导到MPE区域1650之后的FOV矩形的位置。图16C示出MPE区域1650中的2D光栅如何使用图16B所示的光栅矢量,来平移FOV矩形。由于存在八个光栅矢量(G、H、-G、-H、H+G、H-G、G-H和-(H+G)),因此MPE区域1650试图将FOV矩形平移到八个可能的新k空间位置。在这八个可能的k空间位置中,六个k空间位置落在k空间图的外周边之外。这些用无阴影FOV矩形示出。由于不允许k空间图的边界之外的k矢量,因此那六个光栅矢量中没有一个导致衍射。然而,存在两个光栅矢量(即,-G和-(H+G)),其确实导致FOV矩形平移到k空间图的边界内的新位置。这些位置中的一个在k空间环中的6点钟位置附近,以及另一个在2点钟位置附近。由于这些位置处的k矢量是允许的并且确实导致被引导的传播模式,因此这些位置处的FOV矩形被着色以指示光束衍射为这两种状态。因此,以由位于k空间环的9点钟位置附近的FOV矩形所指示的传播角度进入MPE区域1650的光束的功率,被部分衍射为由其他两个阴影FOV矩形所指示的两种状态(即,2点钟位置附近的FOV矩形和6点钟位置附近的FOV矩形)。

[0273] 图16D是进一步示出图16A所示的目镜波导1600的MPE区域1650的k空间操作的k空间图。该特定k空间图示出了MPE区域1650在处于由位于k空间环的2点钟位置附近的FOV矩形所示的传播状态的光束上的操作。再次,MPE区域1650中的2D衍射光栅试图将这些光束衍射为由其八个相关联的光栅矢量指定的衍射级。如所示,光栅矢量中的六个将FOV矩形平移到k空间图的边界之外的位置。因此,那些衍射级不发生。这些位置用无阴影FOV矩形示出。然而,光栅矢量中的两个(即,H和H-G)将FOV矩形平移到k空间图的边界内的位置。这些由位于k空间环的9点钟位置附近和6点钟位置附近的阴影FOV矩形示出。因此,MPE区域1650中的2D衍射光栅将在由位于k空间环的2点钟位置附近的FOV矩形指示的方向上传播的光束的功率部分衍射为由其他两个阴影FOV矩形指示的两种状态(即,9点钟位置附近的FOV矩形和6点钟位置附近的FOV矩形)。

[0274] 尽管未示出,但是可以绘制类似的k空间图来示出MPE区域1650在以由位于k空间环的6点钟位置附近的FOV矩形所指示的传播角度而行进的光束上的k空间操作。该k空间图

将示出MPE区域1650中的2D周期衍射光栅将那些光束的功率部分衍射为由位于k空间环的9点钟位置附近和2点钟位置附近的两个阴影FOV矩形所指示的两种状态。

[0275] 图16E是示出图16A所示的目镜波导1600的k空间操作的k空间图。如已经提到的,目镜波导1600可接收通常在-z方向上传播并从外部源入射在波导1600的ICG区域1640上的输入光束。那些输入光束由以k空间图的原点处的 k_z 轴为中心的FOV矩形表示。ICG区域1640然后对输入光束进行衍射,使得其被引导并具有以传播方向为中心的传播角度,该传播方向对应于位于k空间环的9点钟位置附近的FOV矩形的中心点。

[0276] 被引导的光束进入MPE区域1650,其中它们可以具有多个相互作用。在每一代相互作用期间,每个光束的功率的一部分可以零阶衍射并继续在相同方向上通过MPE区域1650传播。例如,在第一代相互作用中,该零阶衍射对应于那些处于由位于k空间环的9点钟位置附近的FOV矩形所指示的状态的光束的功率部分。光束的功率的其他部分可以在新方向上衍射。此外,在第一代相互作用中,这产生了具有传播角度的相应衍射光束,该传播角度以对应于位于k空间环的2点钟位置附近的FOV矩形的中心点的传播方向和对应于位于6点钟位置的FOV矩形的中心点的传播方向为中心。

[0277] 只要光束保持在MPE区域1650内,它们就可以经历附加的相互作用,其中的每一个相互作用导致光束功率的部分发生零阶衍射,并且在相同方向上继续,或在新方向上发生衍射。这导致衍射光束的空间分布集合,其具有以由图16E所示的k空间环中的FOV矩形的中心点所指示的传播方向中的每一个为中心的传播角度。该特性由k空间环中的每对FOV矩形之间的双面箭头表示。

[0278] 当任何给定输入光束在MPE区域1650内传播时,它被分成许多衍射光束,这些衍射光束仅在三个允许方向上行进-每个方向由图16E中的k空间图的环中的FOV矩形内的对应k矢量或点定义。(这对于在MPE区域1650内传播的任何输入光束是正确的。然而,取决于每个初始输入光束进入MPE区域1650的传播角度,三个允许方向将是稍微不同的。)并且,由于在与MPE区域1650的任意数量的相互作用之后,任何给定输入光束的功率部分被衍射到相同的三个传播方向中的任意一个,因此在这些相互作用中保留图像信息。

[0279] 存在与具有针对每个输入光束的三个允许传播方向(-与OPE区域1550的两个允许传播方向相反)的MPE区域1650相关联的优点。这些优点在下文中进一步讨论,但是现在只需说,MPE区域1650中的传播方向的增加数量可导致MPE区域1650内的干涉节点的更复杂分布,这进而可改进EPE区域1660中的照射均匀性。

[0280] 应当理解,图16E示出了MPE区域1650的一个示例实施例的k空间操作。在其他实施例中,MPE区域1650可设计为使得每个输入光束可以在MPE区域内的多于三个方向上衍射。例如,在一些实施例中,MPE区域1650可设计为允许每个输入光束在4个方向、5个方向、6个方向、7个方向、8个方向等上衍射。如已经讨论的,MPE区域1650中的衍射特征可设计为提供光栅矢量,该光栅矢量将FOV矩形复制到对应于所选择的衍射方向的k空间环中的位置。另外,MPE区域1650中的衍射特征可被设计有对应于光栅矢量幅度的周期,其导致FOV矩形的这些副本完全位于k空间环内(并且使得FOV矩形的其他尝试副本完全位于k空间图的外周边之外)。

[0281] 在一些实施例中,MPE区域1650内的给定光束的每个允许传播方向之间的角间距至少是45度。如果任意一对选择方向之间的角间距小于该量,那么MPE区域1650中的衍射特

征将需要设计为提供光栅矢量,以在k空间环中进行那些角度转换;并且由于较小的角间距,与k空间环的大小相比较,这样的光栅矢量将是相对短的。这可能使基本MPE光栅矢量的叠加将产生FOV矩形的副本更可能,该FOV矩形的副本仅部分位于k空间环内,这可能导致图像信息的丢失(如果不小心地完成,如本文进一步讨论的)。另外,如果MPE区域1650中的任意一对允许传播方向之间的角间距变得太小,那么产生的相对短光栅矢量也可能使光栅矢量叠加产生FOV矩形的副本更可能,该FOV矩形的副本部分位于k空间图的中心圆盘内。这可能是不期望的,因为它可能导致光从目镜波导1600耦出,从指定的EPE区域1660之外的位置朝向用户的眼睛。

[0282] 当确定MPE区域1650内的允许传播方向时,可遵循各种设计指南。例如,可以选择允许的传播方向,使得一个对应于从ICG区域1640到MPE区域1650的方向。另外,可以选择允许的传播方向,使得仅一个将使得从MPE区域1650内的位置在该方向上传播的光束与EPE区域1660相交。这确保对应于每个输入光束的复制光束以相同的传播角度进入EPE区域1660。另外,可以选择MPE区域1650内的允许传播方向,使得FOV矩形不重叠。FOV矩形的重叠可能导致来自不同图像点的图像信息的混合,并且可能导致重影图像。

[0283] 图16F是图16A所示的目镜波导实施例的MPE区域1650与输入光束之间的第一代相互作用的图。图16F示出了从ICG区域1640进入MPE区域1650的输入光束。输入光束被示出在对应于图16E中位于k空间环的9点钟位置附近的FOV矩形的中心点或k矢量的方向上传播。

[0284] MPE区域1650可包括许多亚 $1\mu\text{m}$ 特征。并且在与MPE区域的每次相互作用中,输入 $\sim 1\text{mm}$ 直径光束将分成以TIR而在3个不同方向上传播的3个光束(具有相同直径但是输入光束的原始功率的小部分)。一个方向对应于零阶衍射,并且是波导的平面中的原始传播角度。其他两个方向取决于MPE区域1650的光栅矢量G和H。如图所示,输入光束与MPE区域1650之间的第一代相互作用产生三个光束:输入光束的功率的一些部分简单地从目镜波导1600的顶面或底面反射作为输出 $_1$,并且在与输入光束相同的x-y方向上继续(即,0阶衍射);输入光束的功率的一些部分与MPE区域1650中的2D光栅相互作用,并且向下衍射作为输出 $_2$;以及输入光束的功率的一些部分与光栅相互作用并且向上和向右衍射作为输出 $_3$ 。输出 $_2$ 光束被示出在对应于图16E中位于k空间环的6点钟位置附近的FOV矩形的中心点或k矢量的方向上传播,而输出 $_3$ 光束被示出在对应于位于2点钟位置附近的FOV矩形的中心点或k矢量的方向上传播。在该第一代相互作用之后,输出 $_1$ 光束、输出 $_2$ 光束和输出 $_3$ 光束具有不同的传播角度,但是它们都仍然在MPE区域1650内传播,并且因此可能具有与MPE区域的附加的相互作用,如图16G至图16I所示。尽管未示出,但是以不同传播角度进入MPE区域1650的其他输入光束将类似地表现,但是具有稍微不同的输入和输出角度。

[0285] 图16G是图16A所示的目镜波导实施例的MPE区域1650与输入光束之间的第二代相互作用的图。与第一代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第二代相互作用相关的光束以实线示出。如图16G所示,来自第一代相互作用的输出光束输出 $_1$ 、输出 $_2$ 和输出 $_3$ 中的每一个现在可以经历与如在前一代中发生的MPE区域1650类似的相互作用。即,来自图16F的输出 $_1$ 光束的功率的一些部分仅在相同的x-y方向上继续,而该光束的功率的另一部分与光栅相互作用并且在对应于位于6点钟位置附近的FOV矩形的方向上衍射,以及该光束的功率的又一部分与光栅相互作用并且在对应于位于2点钟位置附近的FOV矩形的方向上衍射。类似地,来自图16F的输出 $_2$ 光束的功率的一些部分仅朝向EPE区域1660继续,而该光束的功率的

另一部分与光栅相互作用并且在由位于9点钟位置附近的FOV矩形所指示的方向上衍射,以及该光束的功率的又一部分与光栅相互作用并且在对应于位于2点钟位置附近的FOV矩形的方向上衍射。进一步地,来自图16F的输出₃光束的功率的一些部分仅在由位于2点钟位置附近的FOV所指示的方向上继续,而该光束的功率的另一部分与光栅相互作用并且在由位于9点钟位置附近的FOV矩形所指示的方向上衍射,以及该光束的功率的又一部分与光栅相互作用并且在对应于位于6点钟位置附近的FOV矩形的方向上衍射。

[0286] 图16H是图16A所示的目镜波导实施例的MPE区域1650与输入光束之间的第三代相互作用的图。与第一和第二代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第三代相互作用相关的光束以实线示出。如图16H所示,由第二代相互作用产生的输出光束中的每一个可以再次经历与如前几代中发生的MPE区域1650类似的相互作用。

[0287] 图16I是图16A所示的目镜波导实施例的MPE区域1650与输入光束之间的第四代相互作用的图。与第一、第二和第三代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第四代相互作用相关的光束以实线示出。在所有这些相互作用之后,所有产生的光束在针对任何给定输入光束的MPE区域1650内允许的三个方向中的一个方向上传播:对应于位于9点钟位置附近的FOV矩形的方向;对应于位于2点钟位置附近的FOV矩形的方向;或对应于位于k空间环的6点钟位置附近的FOV矩形的方向。尽管存在这些光束中的一些可以在通过MPE区域1650传播时彼此相交的节点,但是那些节点的位置具有比在图15D至图15G所示的OPE区域1550的情况下更复杂的分布。进一步地,光束可以经由不同的路径到达这些节点中的每一个,并且因此不一定彼此同相。因此,在使用MPE区域1650而不是OPE区域(例如1550)的目镜波导实施例1600中,可以减少可能由干涉节点的有序分布导致的图像伪影。这可以在图16J和图16K中看到。

[0288] 图16J是示出光束可以遵循通过MPE区域1650并最终到EPE区域1660的各种路径的图。存在仅包括单个方向的变化的一些路径,而其他路径包括多个方向的变化(尽管一些更长、更复杂的路径将自然承载更少的功率)。由于MPE区域1650中的另一衍射角度的存在所引入的复杂性,在最终照射EPE区域1660的光束1665之间存在许多不同的间距。并且,事实上,光束1665之间的任何可能间距可以通过MPE区域1650中的足够数量的相互作用来实现。如图16K所示,这可能导致EPE区域1660的更均匀照射。

[0289] 图16K是示出来自ICG区域1640的单个输入光束1645如何由MPE区域1650复制并作为多个光束1665而重引导到EPE区域1660的图。这些光束1665中的每一个来自密集的网络。这些复制光束1665中的一些之间可能仍然存在间隙,但是它们通常比从OPE区域输出的复制光束之间的间隙更小且不规则(例如,1550,如图15G所示)。由于存在朝向EPE区域1660的如此多的路径,所有路径在不同的位置处,因此MPE区域1650提供了复杂的出射光瞳图案,其可以更均匀地照射EPE区域1560。

[0290] 图16L是示出具有OPE区域的目镜波导的性能与具有MPE区域的目镜波导的性能的并排式比较。在左边示出了目镜波导1500,目镜波导1500包括具有1D周期衍射光栅的OPE区域1550。如已经讨论的,OPE区域1550用一组稀疏的规则间隔的复制光束来照射EPE区域1560。在目镜波导1500下面是模拟输出图像。这是响应于由全部具有相同颜色和亮度的像素组成的输入图像而从目镜波导1500的EPE区域1560而投射的模拟输出图像。

[0291] 在右边,图16L示出了目镜波导1600,目镜波导1600包括具有2D周期衍射光栅的

MPE区域1650。如图中可以看到，MPE区域1650更均匀地照射EPE区域1660。在目镜波导1600下面是模拟输出图像，该模拟输出图像是左边目镜波导1500的模拟中使用的相同输入图像的结果。从右边的模拟图像清楚的是，使用MPE区域1650的目镜波导1600实现了更平滑、更均匀的输出光分布。相反，左边的图像（其是具有OPE区域1550的目镜波导1500的模拟输出）具有可见的高空间频率条纹，这由照射其EPE区域1560的稀疏、有序的复制光束集合产生。

[0292] 图16M进一步示出了具有MPE区域的目镜波导与具有OPE区域的其他目镜波导的性能对比。图16M中的图的顶行示出了图15A所示的目镜波导1500的性能。来自该目镜波导的投射图像的水平剖面图示出了相对高的空间频率变化，其在图16L所示的模拟输出图像中作为条纹可见。图16M示出了目镜波导1500具有1.2%的适眼区效率。它还示出了与该目镜波导相关联的点扩展函数。点扩展函数响应于单个亮点的输入图像而示出从目镜波导获得的输出图像。这示出目镜波导1500是相当锐利的，因为它仅具有2.5-5弧分的模糊。

[0293] 克服来自目镜波导1500的输出图像中的高空间频率变化的一种方法是在OPE区域1550中引入一些抖动(dithering)。例如，可以在OPE区域1550的取向角和/或光栅周期中引入小的变化。这样做以试图破坏可存在于OPE区域1550中的干涉节点的有序性质。图16M中的第二行和第三行示出了具有两种不同类型的抖动的目镜波导1500的性能。从这些波导的投射图像的水平剖面中可以看出，仍然存在高空间频率变化。进一步地，用于这些抖动实施例的点扩展函数示出大得多的模糊量-在一种情况下多达45弧分。

[0294] 图16M的底行示出了具有MPE区域1650的目镜波导1600的性能。针对该波导的投射图像的剖面示出小得多的高空间频率变化。虽然仍然存在低频率空间变化，但是这可以由软件比高空间频率变化更容易地进行校正。在0.9%处，该目镜波导的适眼区效率比其他稍低。这可归因于MPE区域1650在对应于位于图16E所示的k空间图的环中的2点钟位置附近的FOV矩形的一般方向上重引导一些输入光的事实。由于目镜波导1600的宏观布局，以该传播方向离开MPE区域1650的光根本不进入EPE区域，并且因此不投射到用户的眼睛；相反，它丢失在波导1600的边缘外。然而，该光损耗仅导致适眼区效率的相对小的减小。同时，用于目镜波导1600的点扩展函数示出它是相当锐利的，具有仅2.5-5弧分的模糊。

[0295] 图16A至图16M示出了带有具有用于每个输入光束的三个允许传播方向的MPE区域1650的目镜波导1600。然而，MPE区域的其他实施例可设计为允许用于每个输入光束的甚至更多的传播方向。图17A至图17G示出了一个这样的示例。这些图示出了在其宏观设计上与目镜波导1600相同的目镜波导1700。即，目镜波导1700包括ICG区域1740、MPE区域1750和EPE区域1760，其全部以与图16A所示的目镜波导1600中的对应区域相同的方式而布置。然而，目镜波导1700在其MPE区域1750的宏观设计上不同。

[0296] 图17A示出了示例2D光栅的一部分连同其相关联的光栅矢量，其可在目镜波导1700的MPE区域1750中使用。2D周期光栅1750可以是周期性方向为u和v的衍射特征的空间晶格。如已经讨论的，这样的2D周期光栅与基本光栅矢量G和H相关联。作为一个示例，可以通过叠加两个1D周期光栅线集合，来设计或形成2D周期光栅1750（尽管2D周期光栅可相反由位于例如如图17A所示的光栅线的交点处的单独散射特征组成）。第一光栅线集合1756可以沿着基本光栅矢量G的方向重复。基本光栅矢量G可具有等于 $2\pi/a$ 的幅度，其中，a是第一光栅线集合1756的周期。图17B所示的2D光栅还与第一基本光栅矢量G的谐波相关联。这些包括-G和高阶谐波，诸如2G、-2G等。第二光栅线集合1757可以沿着基本光栅矢量H的方向重

复。基本光栅矢量 H 可具有等于 $2\pi/b$ 的幅度,其中, b 是第二光栅线集合1657的周期。图17B所示的2D光栅还与第二基本光栅矢量 H 的谐波相关联。这些包括 $-H$ 和高阶谐波,诸如 $2H$ 、 $-2H$ 等。并且,如已经讨论的,任何衍射特征的2D周期阵列将具有相关联的光栅矢量,该光栅矢量指向由基本光栅矢量的整数线性组合(叠加)所确定的方向。在这种情况下,这些叠加产生附加的光栅矢量。这些包括例如 $-G$ 、 $-H$ 、 $H+G$ 、 $H-G$ 、 $G-H$ 和 $-(H+G)$ 。尽管图17A仅示出了与2D衍射光栅相关联的一阶光栅矢量及其叠加,但是也可以存在高阶光栅矢量。

[0297] 图17B是示出目镜波导1700的MPE区域1750的 k 空间操作的 k 空间图。 k 空间图包括位于 k 空间环的9点钟位置附近的阴影FOV矩形。这是在ICG区域1740将输入光束耦合到目镜波导1700并将其重引导到MPE区域1750之后FOV矩形的位置。图17B示出MPE区域1750中的2D光栅如何使用图17A所示的光栅矢量来平移FOV矩形。由于存在八个光栅矢量,因此MPE区域1750试图将FOV矩形平移到 k 空间图中的八个可能的新位置。在这八个可能的位置中,五个位置落在 k 空间图的外周边之外。这些位置用无阴影FOV矩形示出。由于不允许 k 空间图的外周长之外的 k 矢量,因此那五个光栅矢量中没有一个是导致衍射。然而,存在三个光栅矢量(即, $-H$ 、 $-G$ 、和 $-(H+G)$),其确实导致FOV矩形平移到 k 空间图的边界内的新位置。这些位置中的一个在 k 空间环中的6点钟位置附近,以及另一个在12点钟位置附近,以及最后一个在3点钟位置附近。由于这些位置处的 k 矢量是允许的并且确实导致被引导的传播模式,因此这些位置处的FOV矩形被填充阴影以指示光束衍射为这三种状态。因此,以由位于 k 空间环的9点钟位置附近的FOV矩形所指示的传播角度进入MPE区域1750的光束被衍射为由其他三个阴影FOV矩形所指示的所有状态(即,12点钟位置附近的FOV矩形、3点钟位置附近的FOV矩形和6点钟位置附近的FOV矩形)。

[0298] 尽管未示出,但是可以绘制类似的 k 空间图来示出MPE区域1750在以由位于 k 空间环的12点钟位置附近、3点钟位置附近和6点钟位置附近的FOV矩形所指示的传播角度而行进的光束上的 k 空间操作。那些 k 空间图将示出MPE区域1750中的2D衍射光栅将那些光束衍射为由图17B中的 k 空间图的环中的阴影FOV矩形所指示的所有剩余状态。

[0299] 图17C是示出目镜波导1700的 k 空间操作的 k 空间图。目镜波导1700可接收通常在 $-z$ 方向上传播并从外部源入射在波导1700的ICG区域1740上的输入光束。那些输入光束由以 k 空间图的原点处的 k_z 轴为中心的FOV矩形表示。ICG区域1740然后对输入光束进行衍射,使得其被引导并具有以传播方向为中心的传播角度,该传播方向对应于位于 k 空间环的9点钟位置附近的FOV矩形的中心点。

[0300] 衍射光束进入MPE区域1750,其中它们可以具有多个相互作用。在每一代相互作用期间,每个光束的功率的一部分继续并在相同方向上通过MPE区域1750传播。例如,在第一代相互作用中,这将对应于那些处于由位于的9点钟位置附近的FOV矩形所指示的状态的光束的功率部分。光束的功率的其他部分可以在新方向上衍射。此外,在第一代相互作用中,这产生了具有传播角度的相应衍射光束,该传播角度以对应于位于 k 空间环的12点钟位置附近的FOV矩形的中心点、位于3点钟位置附近的FOV矩形的中心点和位于6点钟位置附近的FOV矩形的中心点的传播方向为中心。

[0301] 在每次相互作用之后仍保留在MPE区域1750中的衍射光束可以经历附加的相互作用。附加的相互作用中的每一个导致光束的一些功率零阶衍射并且在相同方向上继续,而光束的一些功率在新方向上衍射。这导致衍射光束的空间分布集合,其具有以由图17C所示

的k空间环中的FOV矩形的中心点所指示的传播方向中的每一个为中心的传播角度。该由k空间环中的每对FOV矩形之间的双面箭头表示。换句话说,在MPE区域1750中传播的光束可以从由k空间环中的FOV矩形之一所表示的任何传播状态转换到这些传播状态中的任何其他状态。

[0302] 当任何给定输入光束在MPE区域1750内传播时,它被分成许多衍射光束,这些衍射光束仅在四个允许方向上传播-每个方向由图17C中的k空间图的环中的FOV矩形内的对应k矢量或点定义。(这对于在MPE区域1750内传播的任何输入光束是正确的。然而,取决于每个初始输入光束进入MPE区域1750的传播角度,四个允许方向将是稍微不同的。)并且,由于在与MPE区域1750的任意数量的相互作用之后,任何给定输入光束的功率部分被衍射到相同的四个传播方向中,因此在这些相互作用中保留图像信息。与关于图16A至图16M所描述的MPE区域1650相比较,在MPE区域1750中所允许的附加传播方向可能导致EPE区域1760的照射均匀度的更进一步的改进。这可在图17D至图17G所示的图中看到。

[0303] 图17D是输入光束与目镜波导1700的MPE区域1750之间的第一代相互作用的图。图17D示出了从ICG区域1740进入MPE区域1750的输入光束。输入光束被示出在对应于图17C中位于k空间环的9点钟位置附近的FOV矩形的中心点或k矢量的方向上传播。

[0304] MPE区域1750可包括许多亚 $1\mu\text{m}$ 特征。并且在与MPE区域的每次相互作用中, $\sim 1\text{mm}$ 直径光束将分成通过TIR而在4个不同方向上传播的4个光束(具有相同直径但是输入光束的原始功率的一部分)。一个方向对应于零阶衍射并且是波导的平面中的原始角度。其他三个方向取决于MPE区域1750的光栅矢量G和H。如图所示,输入光束与MPE区域1750之间的第一代相互作用产生四个光束:输入光束的功率的一些部分简单地从目镜波导1700的顶面或底面反射作为输出 $_1$,并且在与输入光束相同的x-y方向上继续(即,0阶衍射);输入光束的功率的一些部分与光栅相互作用并且向下衍射作为输出 $_2$;输入光束的功率的一些部分与光栅相互作用并且向上衍射作为输出 $_3$;以及输入光束的功率的一些部分与光栅相互作用并且向右衍射作为输出 $_4$ 。输出 $_2$ 光束被示出在对应于图17C中位于k空间环的6点钟位置附近的FOV矩形的中心点或k矢量的方向上传播,而输出 $_3$ 光束被示出在对应于位于12点钟位置附近的FOV矩形的中心点或k矢量的方向上传播,以及输出 $_4$ 光束被示出在对应于位于3点钟位置附近的FOV矩形的中心点或k矢量的方向上传播。在该第一代相互作用之后,输出 $_1$ 光束、输出 $_2$ 光束、输出 $_3$ 光束和输出 $_4$ 光束具有不同的传播角度,但是它们都仍然在MPE区域1750内传播,并且因此可能具有与MPE区域的附加的相互作用,如图17E至图17G所示。尽管未示出,但是以不同传播角度进入MPE区域1750的其他输入光束将类似地表现,但是具有稍微不同的输入和输出角度。

[0305] 图17E是输入光束与目镜波导1700的MPE区域1750之间的第二代相互作用的图。与第一代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第二代相互作用相关的光束以实线示出。如图17D所示,来自第一代相互作用的输出光束输出 $_1$ 、输出 $_2$ 、输出 $_3$ 和输出 $_4$ 中的每一个现在可以经历与如在前一代中发生的MPE区域1750类似的相互作用。即,来自图17D的输出 $_1$ 光束的功率的一些部分仅在相同的x-y方向上继续,而该光束的功率的其他部分与光栅相互作用并且在对应于位于12点钟位置附近、3点钟位置附近和6点钟位置附近的FOV矩形的方向上衍射。类似地,来自图17D的输出 $_2$ 光束的功率的一些部分仅朝向EPE区域1760继续,而该光束的功率的其他部分与光栅相互作用并且在由位于9点钟位置附近、12点钟位置附近和3点

钟位置附近的FOV矩形所指示的方向上衍射。进一步地,来自图17D的输出₃光束的功率的一些部分仅在由位于12点钟位置附近的FOV矩形所指示的方向上继续,而该光束的功率的其他部分与光栅相互作用并且在由位于3点钟位置附近、6点钟位置附近和9点钟位置附近的FOV矩形所指示的方向上衍射。最后,来自图17D的输出₄光束的功率的一些部分仅在由位于3点钟位置附近的FOV矩形所指示的方向上继续,而该光束的功率的其他部分与光栅相互作用并且在由位于6点钟位置附近、9点钟位置附近和12点钟位置附近的FOV矩形所指示的方向上衍射。

[0306] 图17F是输入光束与目镜波导实施例1700的MPE区域1750之间的第三代相互作用的图。与第一和第二代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第三代相互作用相关的光束以实线示出。如图17F所示,由第二代相互作用产生的输出光束中的每一个可以再次经历与如前几代中发生的MPE区域1750类似的相互作用。

[0307] 图17G是输入光束与目镜波导实施例1700的MPE区域1750之间的第四代相互作用的图。与第一、第二和第三代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第四代相互作用相关的光束以实线示出。在所有这些相互作用之后,所有产生的光束在针对任何给定输入光束的关于MPE区域1750的四个允许传播方向中的一个方向上传播:对应于位于9点钟位置附近的FOV矩形的方向;对应于位于12点钟位置附近的FOV矩形的方向;对应于位于3点钟位置附近的FOV矩形的方向;或对应于位于k空间环的6点钟位置的FOV矩形的方向。尽管存在这些光束中的一些可以在通过MPE区域1750传播时彼此相交的节点,但是那些节点的位置具有比在图16A至图16M所示的MPE区域1650的情况下更复杂的分布。进一步地,这些节点甚至不太可能导致两个同相光束之间的干涉。因此,该MPE区域1750可能导致EPE区域1760的甚至更均匀的照射。

[0308] 通过总结,本文所描述的MPE区域能够具有以下优点中的一些或全部:MPE区域可以一次在多个方向上扩展图像光瞳;MPE区域可以创建密集的、非周期的输出光瞳阵列;MPE区域可以减少通过波导的光路之间的干涉效应;基于MPE的目镜波导可以用减少的高频条纹和高图像清晰度来实现改进的亮度均匀性。

[0309] 具有用于复制输入光束的多个不同区域的示例AR目镜波导

[0310] 图18A示出了具有ICG区域1840、两个正交光瞳扩展器(OPE)区域1850a、1850b和出射光瞳扩展器(EPE)区域1860的示例目镜波导1800。图18A还包括示出了k空间中的目镜波导1800的这些组件中的每一个的效果的k空间图。目镜波导1800的ICG区域1840、OPE区域1850a、1850b和EPE区域1860包括各种衍射特征,该衍射特征将输入光束耦合到目镜波导1800中以经由引导模式传播,以空间分布方式复制光束,并且使得复制光束离开目镜波导并投射到用户的眼睛。特别是,目镜波导1800包括多个不同和/或非连续区域用于复制输入光束。来自这些不同区域的复制光束可以在公共出射光瞳区域中重新组合。

[0311] 图18A中所示的目镜波导1800类似于图14A中所示的目镜波导1400,例外的是,它包括两个OPE区域1850a、1850b而不是一个。回忆目镜波导1400中的ICG区域1440将输入光束衍射为+1和-1衍射级,但是这些衍射级之一中的光束远离OPE区域1450传播并最终从目镜波导丢失。因此,来自输入光束的光的一部分丢失。图18A所示的目镜波导1800通过包括两个OPE区域1850a、1850b来补救这一点,一个在ICG区域1840的任一侧。以这种方式,目镜波导1800可以利用ICG 1840的+1和-1衍射级。

[0312] ICG区域1840的操作类似于关于图14A和图14B中的ICG区域1440中所描述的。图14B所示的相同k空间图KSD1还示出了对应于入射在图18A中的ICG区域1840上的输入光束集合的FOV矩形。即,在输入光束入射在ICG区域1840上之前,FOV矩形以k空间图的原点为中心。

[0313] 图18A中的K空间图KSD2示出了ICG区域1840的K空间中的操作。即,如关于图14B中的对应k空间图所讨论的,ICG区域1840与两个光栅矢量相关联,这两个光栅矢量分别将FOV矩形平移到k空间环内的3点钟和9点钟位置。位于3点钟位置的平移FOV矩形表示朝向右OPE区域1850b传播的衍射光束,而位于9点钟位置的平移FOV矩形表示朝向左OPE区域1850a传播的衍射光束。

[0314] 左OPE区域1850a的操作也类似于关于图14A和图14B中的OPE区域1450所描述的。K空间图KSD3a示出了左OPE区域1850a的K空间操作,并且示出其衍射光栅将FOV矩形从K空间环中的9点钟位置平移到6点钟位置。位于6点钟位置的FOV矩形表示在-y方向上朝向EPE区域1860传播的衍射光束。

[0315] 右OPE区域1850b的操作类似于左OPE区域1850a的操作,例外的是,其相关联的光栅矢量关于相对于左OPE区域1850a的光栅矢量的垂直线而镜像。这是由于右OPE区域1850b中的衍射光栅的线关于相对于左OPE区域1850a中的衍射光栅的线的垂直线而镜像。由于右OPE区域1850b中的衍射光栅的线的该取向,该光栅在k空间中的作用是将FOV矩形从k空间环中的3点钟位置平移到6点钟位置,如k空间图KSD3b所示。KSD3a和KSD3b中的平移FOV矩形在k空间环的6点钟位置的相同位置。因此,尽管每个输入光束的功率由ICG区域1840分成+1和-1衍射级,并且那些不同的衍射级通过目镜波导1800沿不同的路径行进,但是它们仍然以相同的传播角度而到达EPE区域1860。这意味着:通过目镜波导1800遵循不同传播路径的每个输入光束的单独衍射级最终以相同角度离开EPE区域1860,并且因此表示投射图像中的相同点。

[0316] 最后,EPE区域1860的操作也类似于关于图14A和图14B中的EPE区域1460所描述的。k空间图KSD4示出了EPE区域1860的k空间操作,并且示出其衍射光栅将位于k空间环的6点钟位置的FOV矩形(其由来自OPE区域1850a、1850b二者的光束组成)平移回到k空间图的中心。如在其他地方已经讨论的,这表示EPE区域1860通常在z方向上将光束耦出到用户的眼睛。

[0317] 图18B和图18C示出了图18A所示的目镜波导1800的EPE区域1860的俯视图。EPE区域1860直接支撑在用户的眼睛210的前面。如本文其他地方所讨论的(参见图12A和12B),EPE区域1860投射多个被复制的输出光束集合,其中,每个被复制的输出光束集合具有对应于投射到目镜波导中的输入光束之一的传播角度。

[0318] 图18B示出了这些被复制的输出光束集合中的一个。在该特定情况下,复制输出光束1861从左向右行进离开EPE区域1860。换句话说,被复制的输出光束1861具有在+x方向上具有分量的传播方向。被复制的输出光束1861的该传播角度导致其中一些光束比其他光束具有与用户眼睛210相交的更大的趋势。特别是,由于眼睛210的中心位置和光束的从左到右传播,从EPE区域1860的左手部分离开的被复制的输出光束1861具有与用户眼睛210相交的更大的趋势。这些光束以实线示出。同时,从EPE区域1860的右手部分离开的被复制的输出光束1861具有错过眼睛210的更大的趋势。这些光束以虚线示出。

[0319] 图18B还包括k空间图KSD5,其示出了在EPE区域将FOV矩形平移回图的原点之后k空间中的输出光束的状态。FOV矩形用两半示出。每一半表示目镜波导1800的水平视场的一半。FOV矩形的阴影右半1832包括具有在 $+k_x$ 方向上的分量的k矢量。这些是对应于以图18B所示的从左向右传播的类型而离开EPE区域1860的输出光束1861的k矢量。尽管仅示出了一个被复制的输出光束集合1861离开EPE区域1860,但是其k矢量位于FOV矩形的阴影右半1832中的所有输出光束将类似地以从左到右的传播方向而离开EPE区域。因此,对于其k矢量位于FOV矩形的阴影右半1832中的所有输出光束正确的是,从EPE区域1860的左手侧离开的那些光束将比从EPE区域的右手侧离开的那些输出光束具有与眼睛210相交的更大的趋势。

[0320] 图18C示出了离开目镜波导1800的EPE区域1860的另一被复制的光束集合1862。但是在这种情况下,被复制的输出光束1862从右到左行进而离开EPE区域1860。换句话说,被复制的输出光束1862具有在 $-x$ 方向上具有分量的传播方向。被复制的输出光束1862的该传播角度导致与从图18B所绘制的传播角度的相反观察。即,对于从右到左传播的输出光束1862,从EPE区域1860的右手侧部分(以实线示出)离开的光束具有与眼睛210相交的更大的趋势,而从EPE区域的左手侧部分(以虚线示出)离开的光束具有错过眼睛的更大的趋势。

[0321] 参考用图18C包括的k空间图KSD5,其k矢量位于FOV矩形的阴影左半1831中的输出光束是以图18C所示的从右到左传播类型而离开EPE区域1860的光束。尽管其k矢量位于FOV矩形的阴影左半1831中的所有输出光束将具有不同的传播角度,但是它们全部共享以下特性:离开EPE区域1860的右手侧的光束比从EPE区域的左手侧离开的输出光束具有与眼睛210相交的更大的趋势。

[0322] 从图18B和图18C可以得出的结论在于,基于实际进入用户眼睛210的光束,EPE区域1860的一半主要贡献于水平视场的一半,而EPE区域的另一半主要贡献于水平视场的另一半。基于该观察,可由目镜波导投射的视场可在至少一个维度上扩展超出在被引导的模式中由目镜所支持的传播角度的范围,因为不需要从EPE区域1860的每个部分投射整个FOV矩形。这示出在图19中。

[0323] 具有扩展视场的示例AR目镜波导

[0324] 图19示出了具有扩展视场的目镜波导1900的实施例。目镜波导1900包括ICG区域1940、左OPE区域1950a、右OPE区域1950b和EPE区域1960。在宏观水平上,图19所示的目镜波导1900可以与图18A所示的目镜波导1800相同。然而,目镜波导1900中的衍射特征中的一些可设计有允许在至少一个维度上的增加视场的特性。基于目镜波导1900的k空间操作,可以清楚地理解这些特征,其如图19所示的k空间图所示。

[0325] 图19所示的k空间图具有比图18A所示的FOV矩形更大的FOV矩形。这是因为图18A中的k空间图中的FOV矩形被约束为没有大于k空间环的宽度的任何尺寸。该约束确保那些FOV矩形可以在环周围的任何位置处完全适合k空间环,并且因此FOV矩形中由k矢量表示的所有光束可以在目镜波导1800内经历引导传播,同时在目镜的平面内在任何方向上传播。在图19的示例实施例中,然而,FOV矩形具有至少一个尺寸(例如, k_x 尺寸),该尺寸大于k空间环的宽度。在一些实施例中,FOV矩形的一个或多个尺寸可以比k空间环的宽度大高达20%、高达40%、高达60%、高达80%或高达100%。

[0326] 对于图19的k空间图中所示的特定实施例,FOV矩形的水平尺寸比k空间环更宽。

FOV矩形的水平尺寸对应于投射到目镜波导中的输入光束的传播角度的水平扩展。因此,由于目镜波导1900被示出为能够与具有更大水平尺寸的FOV矩形一起使用,因此这意味着目镜波导的水平视场增加。对于具有折射率1.8的目镜波导(由空气包围)的情况,而图18A所示的目镜波导1800通常能够实现 $45^\circ \times 45^\circ$ 的FOV,图19所示的目镜波导1900能够实现高达 $90^\circ \times 45^\circ$ 的FOV,尽管目镜波导的一些实施例可设计为 $\sim 60^\circ \times 45^\circ$ 的较小FOV,以满足适眼区体积的典型设计约束-但是将FOV的一些部分发送到目镜波导的两侧以提供适当大小的适眼区-以及避免由稀疏间隔的输出光束引起的屏蔽门伪影可能是有利的。尽管在扩展水平视场的上下文中描述了用于扩展目镜波导1900的视场的技术,但是相同的技术也可用于扩展目镜波导1900的垂直视场。而且,在稍后实施例中,示出了用于扩展目镜波导的水平和垂直视场的类似技术。

[0327] 通过检查图19中的k空间图可以看出,尽管示出的FOV矩形在位于环周围的某些位置时可能不完全适合k空间环内,但是当位于其他位置时,它们仍然可以完全适合环内。例如,如果FOV矩形的一个尺寸大于k空间环的宽度,那么当FOV矩形位于放大尺寸的轴上或附近时,FOV矩形可能不完全适合环内:当FOV矩形位于 k_x 轴处或附近时(即,在3点钟和9点钟位置处或附近),在 k_x 尺寸上大于k空间环的宽度的FOV矩形可能不完全适合环内;类似地,当FOV矩形位于 k_y 轴处或附近时(即,在12点钟和6点钟位置处或附近),在 k_y 尺寸上大于k空间环的宽度的FOV矩形可能不完全适合环内。然而,当FOV矩形位于相反轴处或附近时,这样的FOV矩形可能仍然完全适合k空间环内:当FOV矩形位于 k_y 轴处或附近时(即,在12点钟和6点钟位置处或附近),在 k_x 尺寸上大于k空间环的宽度的FOV矩形可能仍然完全适合环内;类似地,当FOV矩形位于 k_x 轴处或附近时(即,在3点钟和9点钟位置处或附近),在 k_y 尺寸上大于k空间环的宽度的FOV矩形可能仍然完全适合环内。这是因为在k空间环中在方位方向上比在径向方向上存在更多的面积来容纳更大的FOV矩形。

[0328] k空间环的径向大小对应于支持被引导的传播模式的垂直于波导平面的方向(即,厚度方向)上的传播角度范围。该传播角度范围受斯奈尔定律和TIR发生必须满足的要求约束。相反,k空间环的方位维度上的k矢量的扩展对应于平面波导的平面内方向上的传播角度的扩展。由于平面波导平面内的传播角度的扩展不受与厚度方向上相同的约束限制,因此可以支持更宽范围的光束传播角度。

[0329] 而且,将目镜波导的厚度方向上的传播角度的扩展转换为平面内方向上的传播角度的扩展是可能的,反之亦然。当衍射光栅(或其他衍射特征组)将FOV矩形从k空间环中的一个位置平移到另一个位置时,使得由FOV矩形所表示的光束集合然后在新方向上传播,这也使得先前在平面波导的厚度方向上展开的一些光束相反在平面内方向上展开,反之亦然。例如,当衍射光栅将FOV矩形从k空间环中的9点钟位置平移到6点钟位置时,可以看到这一点。当在9点钟位置时,在 k_x 方向上的光束的扩展对应于波导的厚度方向上的物理扩展,因为在该位置处, k_x 方向对应于k空间环的径向。然而,在6点钟位置处时,在 k_x 方向上的光束的扩展对应于波导的平面内方向上的物理扩展,因为在该位置处, k_x 方向对应于k空间环的方位方向。

[0330] 通过这些观察,目镜波导的FOV可以通过以下各项增加:将FOV矩形分成多个子部分;使用衍射特征以空间分布的方式复制属于FOV的多个子部分的光束;以及使用衍射特征在目镜波导的出射光瞳处重新组装FOV的多个子部分,使得对应于FOV的每个子部分的光束

具有正确的传播角度,以重新创建原始图像。例如,衍射特征可用于将FOV矩形的每个子部分平移到k空间中的一个或多个位置,使得它们最终相对于FOV矩形的其他子部分具有与原始图像中相同的相对位置。

[0331] 在一些实施例中,FOV的多个子部分可以部分地彼此重叠(例如,不同的FOV子部分对可包括一些相同的输入光束),因为这可以帮助减轻在波导的出射光瞳处重新组装整个FOV的约束,并且可以帮助确保所有光束存在。例如,在一些实施例中,输入图像FOV的一对子部分可以重叠不超过10%、不超过20%、不超过30%、不超过40%、不超过50%或更多。

[0332] 图19中的k空间图KSD2示出了ICG区域1940在投射到目镜波导1900中的输入光束上的k空间操作。如本文其他地方所讨论的,投射到目镜波导1900中的输入光束可以由以k空间图KSD2的原点为中心的FOV矩形表示。ICG区域1940基于其相关联的光栅矢量而平移k空间中的该FOV矩形的位置。在图18A所示的ICG区域1840的情况下,ICG区域被设计以使得其相关联的光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 具有等于从k空间图的原点到k空间环的中点的距离的幅度。这使得FOV矩形在k空间环内居中。但是,图19所示的ICG区域1940可设计为具有更大的光栅矢量。并且,如已经讨论的,投射到目镜波导1900中的输入光束集合可以在k空间中具有至少一个尺寸,该尺寸大于k空间环的宽度。

[0333] 在一些实施例中,ICG区域1940可设计以使得其光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 将放大的FOV矩形平移到离k空间图的原点足够远的位置,使得放大的FOV矩形的部分不位于k空间图的内圆盘内。为了在其水平尺寸与k空间环的宽度两倍一样大的FOV矩形的情况下,实现该目标,ICG 1940的光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 的幅度将需要约等于k空间图的外圆盘的半径。同时,为了在其水平尺寸仅稍微大于k空间环的宽度的情况下,实现该目标,ICG区域1940的光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 的幅度将需要大于从k空间图的原点到k空间环的中点的距离。数学上,这意味着

$$[0334] \quad \frac{n_2 \omega}{c} \geq |G_1, G_{-1}| > \frac{1}{2} \left(\frac{n_2 \omega}{c} + \frac{n_1 \omega}{c} \right)$$

[0335] 其给出

$$[0336] \quad \frac{n_2 \omega}{c} \geq \left| \frac{n_2}{\Lambda} \right| > \frac{1}{2} \left(\frac{n_2 \omega}{c} + \frac{n_1 \omega}{c} \right)。$$

[0337] (注意:该等式也可应用于本文所描述的其他目镜波导实施例,诸如,例如,图20-22所示和下文所描述的目镜波导实施例。)

[0338] 换句话说,用于扩展目镜波导1900的视场的该技术意味着ICG区域1940的光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 被设计为比这样的实施例中更长,其中视场在所有维度上受到传播角度范围的约束,该传播角度范围可以适合给定目镜波导的k空间环的径向维度内。由于光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 的长度通过减小光栅周期来增加,这意味着ICG区域1940具有比通常用于给定角频率 ω 的光的更细的节距,以确保所有输入光束可以衍射为被引导的模式。

[0339] 当然,根据图19所示的实施例,FOV矩形的较大大小和较长的光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 使得在由ICG区域1940衍射之后的被平移的FOV矩形的部分延伸超出k空间图中的较大圆盘的外周长。由于不允许该圆盘外的k矢量,因此对应于那些k矢量的输入光束不由ICG区域1940衍射。相反,仅对应于KSD2中的被平移的FOV矩形的阴影部分中的k矢量的输入光束进入目镜波导1900内的被引导的传播模式。将利用位于k空间图的外圆盘之外的k矢量衍射到+1阶的

输入光束不允许衍射,并且因此丢失。类似地,将利用位于k空间图的外圆盘之外的k矢量衍射到-1阶的输入光束不允许衍射,并且因此丢失。幸运的是,从这些衍射级中的每一个所丢失的光束并不相同。这允许在EPE区域1960处恢复全部视场。即使位于k空间图KSD2的3点钟位置的截断FOV矩形和位于9点钟位置的截断FOV矩形都不包括输入光束的完整集合,但是当这些截断FOV矩形在EPE区域处适当地重新组合时,可以恢复输入光束的完整集合。

[0340] k空间图KSD3a和KSD3b分别示出了左OPE区域1950a和右OPE区域1950b中的衍射光栅的k空间操作。如关于图18A所讨论的,这些OPE区域可包括衍射光栅,该衍射光栅被取向以便将位于3点钟和9点钟位置的FOV矩形平移到6点钟位置。然而,在图19所示的实施例中,可能需要调整OPE区域1950a、1950b中的衍射光栅的取向以实现该目的。具体地,由于与ICG区域1940相关联的光栅矢量 G_1 、 G_{-1} 可能不再在3点钟和9点钟位置的k空间环的中点终止,可能需要调整与OPE区域相关联的光栅矢量的幅度和方向,以便将FOV矩形平移到6点钟位置处的位置(例如,在 k_y 方向上的k空间环中居中的位置)。与没有扩展FOV的实施例中的OPE区域相比较,这些调整可以通过改变OPE区域1950a、1950b中的光栅线的取向和/或通过改变其光栅周期 Λ 来实现。

[0341] KSD3a中的FOV矩形的阴影右手部分表示FOV的第一子部分,而KSD3b中的FOV矩形的阴影左手部分表示FOV的第二子部分。在示出的实施例中,这些FOV子部分在FOV矩形的中心区域中重叠。

[0342] k空间图KSD3a示出了当位于9点钟位置的FOV矩形平移到6点钟位置时,仅存在对应于FOV矩形的阴影右手区域的光束。k空间图KSD3b示出了相同的现象,例外的是,缺少的光束是其k矢量位于FOV矩形的相对侧的光束。最后,k空间图KSD4示出了当两个截断FOV矩形叠加在k空间环的6点钟位置处时,FOV矩形的非阴影部分被填充,这意味着组成输入图像的完整FOV的所有光束现在都存在,并且可以通过EPE区域1960中的衍射光栅从目镜波导1900当中投射到用户的眼睛。类似于图18A中的实施例,EPE区域1960将FOV矩形平移回到k空间图KSD4中的原点。重要的是,来自9点钟和3点钟位置的两个截断FOV矩形应当以这样的方式平移到6点钟位置,以保持原始FOV矩形内的阴影区域的相对位置。这确保FOV的每个子部分中的光束具有正确的传播角度,以便重新创建原始图像。

[0343] 这在物理方面意味着目镜波导1900将图像视场分成多个部分。对应于图像视场的这些部分中的每一个的光束沿着不同的路径传播通过目镜波导1900,其中它们可以由不同的OPE区域1950a、1950b以空间分布的方式而复制。并且最终图像视场的分离部分在EPE区域1960中重新组合以投射到用户的眼睛。

[0344] 在一些实施例中,目镜1900的各种衍射光栅可设计,以使得在由相应的OPE区域1950a、1950b供应给EPE区域1960的光束子集之间存在重叠。然而,在其他实施例中,衍射光栅可设计,以使得每个OPE区域1950a、1950b供应完全重新创建输入图像所要求的光束的独特子集。

[0345] 具有扩展视场和重叠MPE和EPE区域的示例AR目镜波导虽然图19示出了使用OPE区域来复制输入光束的具有扩展FOV的目镜波导的实施例,但是其他实施例可以有利地使用MPE区域。图20A至图20L示出了一个这样的示例实施例。

[0346] 图20A示出了具有由EPE区域2060所重叠的MPE区域2050的扩展FOV目镜波导2000的实施例。目镜波导2000可以实现扩展的视场,其可大于在波导厚度方向上以被引导的传

播模式中可以支持的传播角度的范围。目镜波导2000具有第一表面2000a和第二表面2000b。如下文进一步讨论的,可以在目镜波导2000的相对表面2000a、2000b上或中形成不同的衍射特征。目镜波导2000的两个表面2000a、2000b在图20A中示出为在x-y平面中相对于彼此位移。然而,这仅出于说明的目的以能够示出在每个表面上或中形成的不同衍射特征;应当理解,第一表面2000a和第二表面2000b在x-y平面中彼此对准。另外,虽然MPE区域2050和EPE区域2060被示出为具有相同的大小并且在x-y平面中精确地对准,但是在其他实施例中,它们可以具有略微不同的大小并且可以部分地未对准。在一些实施例中,MPE区域2050和EPE区域2060彼此重叠至少70%、至少80%、至少90%或至少95%。

[0347] 目镜波导2000包括ICG区域2040、MPE区域2050和EPE区域2060。ICG区域2040从投影仪设备接收输入光束集合。如本文其他地方所描述的,输入光束可以从投影仪设备通过自由空间通常在z方向上传播,直到它们入射在ICG区域2040上。ICG区域2040衍射那些输入光束,使得它们全部或至少一些进入目镜波导2000内的被引导的传播模式。ICG区域2040的光栅线可以被取向,以将衍射光束中在-y方向上朝向和MPE区域2050引导。

[0348] MPE区域2050可包括沿着多个轴展现周期性的多个衍射特征。MPE区域2050可以由以2D晶格而布置的散射特征阵列组成。例如,单独散射特征可以是任何形状的凹痕或凸起。散射特征的2D阵列具有相关联的光栅矢量,该光栅矢量由该2D晶格的倒易晶格导出。作为一个示例,MPE区域2050可以是由具有沿着两个或两个以上方向周期性重复的光栅线的交叉光栅组成的2D衍射光栅。组成MPE区域2050的衍射特征可以具有相对低的衍射效率(例如,10%或更低)。如本文所讨论的,这允许光束在它们传播通过MPE区域2050时以空间分布的方式在多个方向上复制。

[0349] 图20B示出了示例2D光栅的一部分连同其相关联的光栅矢量,其可在目镜波导2000的MPE区域2050中使用。示出了交叉光栅,尽管2D周期光栅可以相反由位于例如所示光栅线的交叉点处的单独散射特征组成。2D光栅具有沿着第一周期性方向重复的第一光栅线集合2056。这些光栅线2056具有相关联的基本光栅矢量G,该光栅矢量G沿着第一光栅线集合2056的周期性方向指向,并且具有等于 $2\pi/a$ 的幅度,其中a是第一光栅线集合2056的周期。图20B所示的2D光栅还与第一基本光栅矢量G的谐波相关联。这些包括-G和高阶谐波,诸如 $2G$ 、 $-2G$ 等。MPE区域2050中的2D光栅还具有沿着第二周期性方向重复的第二光栅线集合2057。在一些实施例中,第一和第二周期性方向是不垂直的。第二光栅线集合2057具有相关联的基本光栅矢量H,该光栅矢量沿着第二光栅线集合的周期性方向指向,具有等于 $2\pi/b$ 的幅度,其中b是第二光栅线集合2057的周期。图20B所示的2D光栅还与第二基本光栅矢量H的谐波相关联。这些包括-H和高阶谐波,诸如 $2H$ 、 $-2H$ 等。最后,衍射特征的任何2D阵列也将具有相关联的光栅矢量,该光栅矢量指向由基本光栅矢量G和H的整数线性组合(叠加)确定的方向。在示出的实施例中,这些叠加产生附加光栅矢量,其也如图20B所示。这些包括例如-G、-H、H+G、H-G、G-H和-(H+G)。尽管图20B仅示出了与2D衍射光栅相关联的一阶光栅矢量及其叠加,但是也可以存在高阶光栅矢量。

[0350] 图20C是示出目镜波导2000的ICG区域2040的k空间操作的k空间图KSD1。以KSD1的原点为中心的FOV矩形表示由投影仪设备向ICG区域2040而投射的输入光束集合。在 k_x 方向上的FOV矩形的尺寸表示在x方向上的输入光束的FOV,而在 k_y 方向上的FOV矩形的尺寸表示在y方向上的输入光束的FOV。如图所示,在该特定实施例中,FOV矩形的 k_x 尺寸大于k空间环

的宽度。

[0351] 由于根据图20A所示的目镜波导2000的物理布局,MPE区域2050位于来自ICG区域2040的 $-y$ 方向上,因此ICG区域2040中的衍射光栅可被设计以在该方向上衍射输入光束。因此,图20C中的KSD1示出ICG区域2040将FOV矩形从 k 空间图的原点平移到 k 空间环中的6点钟位置处的 $-k_y$ 轴上的位置。在该特定位置处,FOV矩形的较宽尺寸在 k 空间环的方位方向上而取向,并且因此FOV矩形完全适合环内。这意味着由FOV矩形表示的所有光束进入目镜波导2000内的被引导的传播模式,并且通常在 $-y$ 方向上朝向MPE区域2050传播。

[0352] 正如在本文所讨论的其他MPE区域(例如,1650、1750)中一样,MPE区域2050通过在输入光束通过其传播时以空间分布的方式而复制输入光束,来在多个方向上扩展图像光瞳。图20D至图20F和图20H示出了 k 空间中的MPE区域2050的该特性。

[0353] 图20D是示出目镜波导2000的MPE区域2050的 k 空间操作的部分的 k 空间图KSD2。 k 空间图包括位于 k 空间环的6点钟位置处的阴影FOV矩形。这是在ICG区域2040将输入光束耦合到目镜波导2000并将其重引导到MPE区域2050之后FOV矩形的位置。图20D示出MPE区域2050中的2D光栅如何使用图20B所示的光栅矢量,来平移FOV矩形。由于存在八个光栅矢量,因此MPE区域2050试图将FOV矩形从 k 空间环中的6点钟位置平移到 k 空间图中的八个可能的新位置。在这八个可能的位置中,五个位置完全落在 k 空间图的外周边之外。这些位置用无阴影FOV矩形示出。由于不允许 k 空间图的外周长之外的 k 矢量,因此那五个光栅矢量中没有一个是导致衍射。然而,存在三个光栅矢量(即, G 、 $-H$ 和 $G-H$),其确实导致FOV矩形平移到至少部分地在 k 空间图的边界内的新位置。这些位置中的一个在 k 空间环中的9点钟位置处,以及另一个在12点钟位置处,以及最后一个在3点钟位置处。由于这些位置处的 k 矢量是允许的并且确实导致被引导的传播模式,因此这些位置处的FOV矩形被着色以指示光束衍射为这三种状态。

[0354] 在 k 空间环中的9点钟和3点钟位置的情况下,平移的FOV矩形不完全适合环内,因为它们的 k_x 尺寸大于环的宽度。因此,这些位置处的被平移的FOV矩形被截断,这意味着其 k 矢量落在 k 空间图的外周边之外的光束不被引导。这在KSD2中由9点钟和3点钟位置的被平移的FOV矩形的无阴影部分表示。这意味着分别在 $+x$ 和 $-x$ 方向上扩展通过MPE区域2050的光束集合不包括所有原始输入光束集合。在 $+x$ 方向上传播通过MPE区域2050的光束集合缺少对应于FOV矩形的右手侧的光束,而在 $-x$ 方向上传播的光束集合缺少对应于FOV矩形的左手侧的光束。然而,共同地,组成FOV的所有光束仍然存在。

[0355] 9点钟位置处的被平移的FOV矩形的阴影右手部分表示FOV的第一子部分,而3点钟位置处的FOV矩形的阴影左手部分表示FOV的第二子部分。在示出的实施例中,这些FOV子部分在FOV矩形的中心区域中重叠(尽管不一定要求重叠)。

[0356] 如已经提到的,在一些实施例中,MPE区域2050的2D光栅中的第一和第二周期轴不是正交的。这进而意味着基本光栅矢量 G 和 H 同样不是正交的。这可以允许MPE区域2050中的2D光栅在3点钟和9点钟位置处平移FOV矩形,使得那些矩形的中心位于 k 空间环的中点之外,而在6点钟和12点钟位置处的FOV矩形的中心可以位于或更接近于环的中点。因此,在3点钟和9点钟位置处的被平移的FOV矩形被截断,这导致FOV被划分为第一和第二子部分。这在示出的实施例中是值得注意的,因为将FOV划分为第一和第二子部分是用于增加目镜波导2000的FOV的过程的一部分。

[0357] 图20E是示出目镜波导2000的MPE区域2050的k空间操作的另一部分的k空间图KSD3。KSD3包括位于k空间环的3点钟位置的部分阴影FOV矩形。这是在MPE区域2050内的第一次相互作用之后,被平移的FOV矩形之一的位置。然而,图20E示出在后续相互作用期间,MPE区域2050中的2D光栅如何使用图20B所示的光栅矢量平移该FOV矩形。再次,由于存在八个光栅矢量,因此MPE区域2050试图将FOV矩形从k空间环中的3点钟位置平移到k空间图中的八个可能的新位置。在这八个可能的位置中,五个位置再次落在k空间图的外周边之外。这些位置用无阴影FOV矩形示出。由于不允许k空间图的外周长之外的k矢量,因此那五个光栅矢量中没有一个导致衍射。然而,存在三个光栅矢量(即,G、H、和(H+G),其确实导致FOV矩形平移到至少部分地在k空间图的边界内的新位置。这些位置中的一个在k空间环中的9点钟位置处,以及另一个在12点钟位置处,以及最后一个返回在6点钟位置处。由于这些位置处的k矢量是允许的,并且确实导致被引导的传播模式,因此这些位置处的FOV矩形被阴影化以指示光束衍射为这三种状态(或者零阶衍射光束可以保持在由3点钟位置处的FOV矩形所表示的传播状态)。

[0358] 如图20E所示,由于图20D所示的MPE区域2050中的第一衍射相互作用,k空间环的3点钟位置处的被平移的FOV矩形已经被截断。因此,仅截断的FOV矩形被平移到k空间环的9点钟、12点钟和6点钟位置。在9点钟位置的情况下,FOV矩形被进一步截断,这意味着仅对应于该特定平移FOV矩形的中心阴影部分的光束实际衍射到该状态。

[0359] 图20F类似于图20E,例外的是,它示出了来自图20D的FOV矩形上的MPE区域的k空间操作,其被平移到9点钟位置(而不是3点钟位置,如图20E所示)。在该状态中,MPE区域2050在光束上的操作是图20E所示的镜像(关于 k_y 轴)。

[0360] 尽管未示出,但是可以绘制类似的k空间图来示出MPE区域2050在以由位于k空间环的12点钟位置处的FOV矩形指示的传播角度而行进的光束上的k空间操作。该k空间图将示出MPE区域2050中的2D衍射光栅将那些光束衍射到由图20D、图20E和图20F中的k空间图的环中的3点钟、6点钟和9点钟位置处的FOV矩形表示的状态。

[0361] 如图20D至图20F中的k空间图所示,当来自ICG区域2040的衍射光束到达MPE区域2050时,许多复制光束以空间分布的方式而形成。并且所有这些复制光束在由k空间环中的3点钟、6点钟、9点钟和12点钟位置处的FOV矩形所指示的方向中的一个方向上传播。传播通过MPE区域2050的光束可能经历与MPE区域的衍射特征的任意数量的相互作用,导致传播方向的任意数量的变化。以这种方式,光束沿着x方向和y方向在整个MPE区域2050中复制。这由图20A中的目镜波导2000的MPE区域2050中的箭头表示。

[0362] 由于EPE区域2060在目镜波导2000的x-y平面内与MPE区域2050重叠,因此复制光束在它们传播通过波导时也与EPE区域2060相互作用,经由全内反射在第一表面2000a与第二表面2000b之间来回反射。当光束中的一个与EPE区域2060相互作用时,其功率的一部分被衍射并朝向用户的眼睛而离开目镜波导,如图20A中的目镜波导2000的EPE区域2060中的箭头所示。

[0363] 在一些实施例中,EPE区域2060包括衍射光栅,其线相对于组成ICG区域2040的衍射光栅线而垂直取向。图20A示出了这一点的示例,其中ICG区域2040具有在x方向上延伸并在y方向上周期性重复的光栅线,而EPE区域2060具有在y方向上延伸并在x方向上周期性重复的光栅线。有利的是,EPE区域2060中的光栅线相对于ICG区域2040中的光栅线是垂直取

向的,因为这有助于确保光束在由EPE区域2060耦出目镜波导2000之前将与MPE区域2050相互作用。图20G中的k空间示出了该特性。

[0364] 图20G是示出图20A中的目镜波导2000中的EPE区域2060的k空间操作的k空间图KSD5。如已经讨论的,光束在由位于k空间环的12点钟、3点钟、6点钟和9点钟位置处的FOV矩形所指示的所有方向上通过MPE区域2050传播。并且由于EPE区域2060物理上与MPE区域2050重叠,因此在所有这些传播状态下的光束在传播通过MPE区域时与EPE区域中的衍射光栅接触。

[0365] 由于EPE区域2060中的衍射光栅的周期轴指向 $\pm k_x$ 方向,因此与EPE区域相关联的光栅矢量同样指向相同方向。图20G示出了EPE区域2060如何试图使用这些光栅矢量在12点钟、3点钟、6点钟和9点钟位置处平移FOV矩形。由于其在 $\pm k_x$ 方向上的取向,与EPE区域2060相关联的光栅矢量可以仅将位于k空间环的3点钟和6点钟位置处的FOV矩形平移回k空间图的原点。因此,EPE区域2060仅可耦出处于那两种传播状态之一的光束;EPE区域不耦出在对应于k空间环的12点钟和6点钟位置处的FOV矩形的状态下传播的光束。

[0366] 重要的是注意,如果EPE区域2060中的光栅线的周期轴平行于而不是垂直于ICG区域2040中的光栅线的周期轴,那么与EPE区域相关联的光栅矢量将指向 $\pm k_y$ 方向。这将进而允许对应于k空间环的12点钟和6点钟位置处的FOV矩形的传播状态中的光束由EPE区域耦出。由于输入光束以对应于6点钟位置的传播状态到达MPE/EPE区域,这将意味着光束可以在与MPE区域2050相互作用并被其传播之前,由EPE区域2060耦出,这通常将是不期望的。EPE区域2060中的光栅线的周期轴垂直于ICG区域2040的周期轴的事实意味着:光束,在耦出之前,通常需要在MPE区域内经历至少一次方向改变,并且可能更多。这允许在MPE区域2050内的光束的增强传播。

[0367] 图20H是概述图20A所示的目镜波导2000的k空间操作的k空间图KSD6。它基本上是图20C至图20G所示的k空间图的叠加。此外,图20H中的k空间图示出了大于k空间环的宽度的至少一个尺寸的FOV矩形。在一些实施例中,FOV矩形的至少一个尺寸可以比k空间环的宽度大高达约2倍。在示出的实施例中,FOV矩形的水平尺寸大于k空间环的宽度,但是相同技术也可用于扩展垂直视场。

[0368] KSD6包括以图的原点为中心的FOV矩形。再次,FOV矩形的该位置可以描述被投射到目镜波导2000中的输入光束,或者从波导向用户眼睛投射的复制输出光束。在示出的实施例中,k空间中的ICG区域2040的操作是将FOV矩形从k空间图的中心向下平移到6点钟位置。如图所示,ICG区域2040可被设计,以使得其光栅矢量之一朝向 $-k_y$ 方向取向。这使得衍射光束在 $-y$ 方向上朝向MPE区域2050传播。进一步地,ICG区域2040可被设计,以使得其光栅矢量的幅度使得FOV矩形被复制到其在6点钟位置处完全适合k空间环内的位置。这可以通过例如设计具有节距的ICG区域2040来完成,使得其一阶光栅矢量的幅度等于从k空间图的原点到k空间环的中点的距离。由于6点钟位置处的FOV矩形完全位于k空间环内,因此所有衍射光束进入被引导的传播模式。

[0369] 如已经讨论的,MPE区域包括沿着多个不同轴展现周期性的多个衍射特征。这意味着MPE区域具有多个相关联的光栅矢量,该光栅矢量可以将FOV矩形从6点钟位置平移到9点钟、12点钟和3点钟位置中的任何一个。在与MPE区域2050的附加相互作用期间,FOV矩形可以在12点钟、3点钟、6点钟和9点钟位置之间来回平移。这由那些传播状态之间的双面箭头

表示。如图20H所示，k空间环的3点钟和6点钟位置处的FOV矩形被截断，这意味着并非所有与全FOV相关联的光束存在于那些传播状态中的每一个中。然而，当FOV的那些子部分被共同考虑时，组成全FOV的所有光束存在。因此，当FOV矩形最终从3点钟或6点钟位置平移回k空间图的原点以便将光束朝向用户的眼睛而耦出时，组成输入图像的全FOV所要求的所有光束存在并从目镜波导2000投射。

[0370] 图20I是示出光束如何通过图20A所示的目镜波导2000而传播的图。从ICG区域2040在-y方向上传播的进入MPE区域2050的被引导的光束以空间分布的方式而被复制成许多光束，一些在±y方向上行进（对应于k空间环中的6点钟和12点钟位置处的FOV矩形），以及一些在±x方向上行进（对应于k空间环中的3点钟和9点钟位置处的FOV矩形）。以这种方式，光束横向扩展到整个目镜波导2000中。

[0371] 图20J示出了目镜波导2000中的MPE区域2050的衍射效率可以如何空间变化以便增强波导中的亮度均匀性。在图中，MPE区域2050内的较暗的阴影表示较高的衍射效率，而较亮的阴影表示较低的衍射效率。MPE区域2050的衍射效率的空间变化可以通过引入光栅特性的空间变化来实现，诸如光栅深度、占空比、闪耀角、倾斜角等。

[0372] 如图20J所见，可以通过设计更接近于ICG区域2040的MPE区域2050的部分，以具有更高的衍射效率，来增强波导中的亮度均匀性。由于这是光束从ICG区域2040进入MPE区域2050的地方，因此在该区域中存在更多的光，并且因此此处衍射效率可以更高，以便更有效地将光传播到存在较少光的MPE区域2050的其他部分。另外，或者可替代地，可以在围绕MPE区域2050的周边的各种角度位置处提供多个ICG区域，以便在更多位置处输入光，并且从而改进波导中的亮度均匀性。

[0373] 还可以通过设计MPE区域2050的中心部分（沿着光束从ICG区域2040传播到MPE区域2050中的方向）来增强亮度均匀性，以具有更高的衍射效率。再次，在MPE区域2050的该区域中存在更多的光，因为它位于沿着ICG区域2040输入光的轴。由于在该区域中存在更多的光，因此衍射效率可以更高，以便更有效地将光传播到MPE区域2050的其他部分。

[0374] 图20K示出了目镜波导2000中的EPE区域2060的衍射效率可以如何空间变化以便增强波导中的亮度均匀性。EPE区域2060内的较暗的阴影再次表示较高的衍射效率，而较亮的阴影表示较低的衍射效率。EPE区域2060可被设计为在外围区域中具有更高的衍射效率。EPE区域2060的外围区域中的较高衍射效率有助于在光从波导的边缘当中丢失之前将光耦出到用户的眼睛。

[0375] 图20L示出了包括围绕波导的外围边缘的一个或多个衍射镜2070的目镜波导2000的实施例。衍射镜2070可以接收通过MPE/EPE区域传播并从波导2000的边缘出射的光。然后，衍射镜可将该光衍射回MPE/EPE区域，使得其可用于从目镜波导2000投射图像。如已经讨论的，MPE区域2050允许光束在四个一般方向上传播：通常在x方向上（即，如由k空间环的3点钟位置处的FOV矩形表示；通常在-x方向上（即，如由9点钟位置处的FOV矩形表示）；通常在y方向上（即，如由12点钟位置处的FOV矩形表示）；以及通常在-y方向上（即，如由6点钟位置处的FOV矩形表示）。衍射镜2070可设计为将光束衍射到这些相同的传播状态之一。

[0376] 例如，目镜波导2000的左侧的衍射镜2070可以对通常从-x方向入射到由3点钟位置处的FOV矩形表示的传播状态的光束进行衍射，使得它们通常在x方向上行进返回通过OPE区域2050。类似地，目镜波导2010的底部的衍射镜2070可以对通常从-y方向入射到由12

点钟位置处的FOV矩形所表示的传播状态的光束进行衍射,使得它们通常在y方向上行进返回通过OPE区域2050。

[0377] 图20L示出了底部衍射镜2070的k空间操作。如k空间图所示,底部衍射镜2070可设计有ICG区域2040中的光栅的周期的一半的周期。该更精细的周期导致底部衍射镜具有相关联的光栅矢量,该光栅矢量是ICG区域2040的两倍长。因此,底部衍射镜可以将FOV矩形从k空间环中的6点钟位置平移到12点钟位置。尽管关于目镜波导2000示出,相同的技术(即,OPE、MPE、EPE区域的衍射效率的空间变化等,以及沿外围边缘使用衍射镜)也可用于本文所描述的任何其他实施例。

[0378] 图20M示出了包含目镜波导2000的一个或多个实例的眼镜70的示例实施例。目镜波导2000的第一实例被集成到眼镜70的左观看部分中,而目镜波导2000的第二实例被集成到右观看部分中。在示出的实施例中,波导2000中的每一个是约 $50 \times 30 \text{mm}^2$,尽管可以使用许多不同的大小。每个波导2000可伴随有单独的投影仪2020,投影仪2020将图像投射到对应波导中。假设目镜波导由具有1.8的折射率的材料制成,目镜波导2000的一些实施例能够实现高达 $90^\circ \times 45^\circ$ 的FOV,尽管目镜波导的一些实施例可设计为 $\sim 60^\circ \times 45^\circ$ 的较小FOV,以满足适眼区体积的典型设计约束—但是将FOV的一些部分发送到目镜波导的两侧以提供适当大小的适眼区—以及避免由稀疏间隔的输出光束引起的屏蔽门伪影可能是有利的。

[0379] 图20N示出了包含目镜波导2000的一个或多个实例的眼镜70的另一示例实施例。眼镜70的该实施例类似于图20M所示的实施例,例外的是,波导2000和伴随的投影仪2020的取向已朝向眼镜70的边撑旋转 90° 。在该配置中,假设目镜波导由具有1.8的折射率的材料制成,目镜波导2000的一些实施例能够实现高达 $45^\circ \times 90^\circ$ 的FOV,尽管一些实施例可以设计为 $\sim 45^\circ \times 60^\circ$ 的较小FOV以满足其他设计约束。

[0380] 图21A示出了具有由与EPE区域2160相重叠的MPE区域2150的目镜波导2100的另一实施例。类似于图20A所示的目镜波导2000,图21A所示的目镜波导2100可以实现扩展的视场,其可以大于在波导厚度方向上的被引导的传播模式中支持的传播角度范围。目镜波导2100具有第一表面2100a和第二表面2100b。如下文进一步讨论的,可以在目镜波导2100的相对表面2100a、2100b上或中形成不同的衍射特征。目镜波导2100的两个表面2100a、2100b在图21A中示出为在x-y平面中相对于彼此位移。然而,这仅出于说明的目的以能够示出在每个表面上或中形成的不同衍射特征;应当理解,第一表面2100a和第二表面2100b在x-y平面中彼此对准。另外,虽然MPE区域2150和EPE区域2160被示出为具有相同的大小并且在x-y平面中精确地对准,但是在其他实施例中,它们可以具有略微不同的大小并且可以部分地未对准。在一些实施例中,MPE区域2150和EPE区域2160彼此重叠至少70%、至少80%、至少90%或至少95%。

[0381] 像图20A所示的目镜波导2000,图21A所示的目镜波导2100包括MPE区域2150和EPE区域2160。与图20A所示的目镜波导2000不同,图21A所示的目镜波导2100包括两个ICG区域2140a、2140b,而不是位于MPE/EPE区域的相对侧的单个ICG区域。ICG区域2140a、2140b中的每一个可以具有其自己的相关联的投影仪。两个投影仪可各自将完整输入图像FOV的子部分输入目镜波导2100中。因此,ICG区域2140a、2140b中的每一个同样可用于耦入对应于FOV的子部分的输入光束。然后,那些子部分可以在目镜波导2100的出射光瞳处组合。

[0382] 左ICG区域2140a从第一投影仪设备接收对应于FOV的第一子部分的输入光束的第

一集合,而右ICG区域2140b从第二投影仪设备接收对应于FOV的第二子部分的输入光束的第二集合。FOV的第一和第二子部分可以是唯一的,或者它们可以部分重叠。输入光束的第一集合可大体沿着-z方向向左ICG区域2140a投射,但是以具有-x方向上的传播分量的输入光束为中心,而输入光束的第二集合可大体沿-z方向向右ICG区域2140b投射,但是以具有+x方向上的传播分量的输入光束为中心。左ICG区域2140a衍射输入光束的第一集合,使得至少一些进入在+x方向上传播的被引导的模式,并且右ICG区域2140b衍射输入光束的第二集合,使得至少一些进入在-x方向上传播的被引导的模式。以这种方式,对应于FOV的第一和第二子部分的输入光束的第一和第二集合被耦合到目镜波导2100中,使得它们向位于左和右ICG区域2140a、2140b之间的MPE区域2150传播。

[0383] 类似于图20A所示的目镜波导2000,图21所示的目镜波导2100还可包括形成在波导的第一侧2100a上或中的MPE区域2150和形成在波导的第二侧2100b上或中的重叠EPE区域2160。图21A所示的目镜波导2100中的MPE区域2150可以类似于图20A所示的目镜波导2000中的MPE区域2050。即,MPE区域2150可以包括沿着多个轴展现周期性的多个衍射特征。类似地,图21A所示的目镜波导2100中的EPE区域2160可以类似于图20A所示的目镜波导2000中的EPE区域2060。即,EPE区域2160可包括其周期轴正交于两个ICG区域2140a、2140b的周期轴的衍射光栅。图21A中的MPE区域2150和EPE区域2160的操作也可以类似于图20A中的MPE区域2050和EPE区域2060的操作,如图21B至图21D所示。

[0384] 图21B是示出目镜波导2100在对应于输入图像的FOV的第一子部分的输入光束的第一集合上的k空间操作的k空间图KSD1。以KSD1的原点为中心的FOV矩形表示对应于将由目镜波导2100向用户眼睛投射的完整输入图像FOV的光束。FOV矩形的大小作为整体具有比k空间环的宽度大约两倍的尺寸。因此,图21A所示的目镜波导2100被设计为具有类似于图19和图20A中所示的实施例的增强FOV。然而,朝向左ICG区域2140a投射的输入光束的第一集合仅对应于FOV矩形的阴影部分。如图21B所示,对应于输入光束的第一集合的FOV矩形的阴影部分是FOV矩形的左手部分。由于FOV矩形的阴影部分的中心在 $-k_x$ 方向上从k空间图的原点偏移,来自第一投影仪的输入光束的第一集合并非以在-z方向上精确传播的光束为中心(如果FOV矩形的阴影部分以k空间图的原点为中心,则将出现这种情况),而是以具有在-x方向上的传播分量的斜光束为中心。

[0385] 左ICG区域2140a可设计以使得其光栅矢量在 $\pm k_x$ 方向上取向。k空间中的左ICG区域2140a的操作是将FOV矩形的阴影左手部分从k空间图的中心平移到k空间环中的3点钟位置。这将使得衍射光束通常在x方向上朝向MPE区域2150传播。在一些实施例中,FOV矩形的阴影左手部分可以构成FOV矩形的一半或更多。并且,在一些实施例中,左ICG区域2140a可设计为将FOV矩形的中心平移到从k空间环的中点到环的外边界的任何径向位置。进一步地,左ICG区域2140a可设计以使得其光栅矢量的幅度能使得FOV矩形被复制到阴影部分在3点钟位置处完全适合k空间环内的位置。这可以通过,例如将ICG光栅矢量的幅度设置为大于从k空间图的原点到k空间环的中点的距离,来实现。由于3点钟位置处的FOV矩形的阴影部分完全位于k空间环内,因此对应于FOV的第一子部分的输入光束的第一集合全部都进入被引导的传播模式。尽管在k空间环的3点钟位置处的FOV矩形具有延伸到环外部的右手部分,但是FOV矩形的该部分对应于输入光束,该输入光束不一定是由其相关联的投影仪所提供供给左ICG区域2140a的FOV的第一子部分的一部分。

[0386] 尽管左ICG区域2140a也可以在相反方向上衍射输入光束的第一集合的一部分(即,将FOV矩形平移到k空间环的9点钟位置),但是在目镜波导2100的示出实施例中,那些特定衍射光束将简单地从波导的边缘出射。

[0387] MPE区域2150包括具有多个周期轴的多个衍射特征。在一些实施例中,MPE区域2150可以类似于关于图20A至图20M所示和讨论的MPE区域2050。例如,MPE区域2150可以具有多个相关联的光栅矢量,该光栅矢量可以将FOV矩形从3点钟位置平移到k空间环的6点钟、9点钟和12点钟位置中的任何一个。如图21B所示,在k空间环的9点钟位置处的FOV矩形的阴影部分被截断,这意味着并非所有与FOV的第一子部分相关联的光束必须存在于该特定传播状态中。

[0388] 在与MPE区域2150的附加相互作用期间,FOV矩形可以在12点钟、3点钟、6点钟和9点钟位置之间来回平移。这由KSD1中的那些传播状态之间的双面箭头表示。以这种方式,如本文所描述的,通过与其衍射特征经历多次相互作用,输入光束的第一集合可以在整个MPE区域2150中被复制。这由图21A中的目镜波导2100的OPE区域2150中的箭头示出。

[0389] 由于EPE区域2160在目镜波导2100的x-y平面内与MPE区域2150重叠,因此复制光束在它们传播通过波导时也与EPE区域2160相互作用,经由全内反射在第一表面2100a与第二表面2100b之间来回反射。每次复制光束中的一个与EPE区域2160相互作用时,其功率的一部分被衍射并耦出朝向用户的眼睛,如图21A中的目镜波导2100的EPE区域2160中的箭头所示。

[0390] 在一些实施例中,EPE区域2160包括衍射光栅,其线相对于组成ICG区域2140a、2140b的衍射光栅线而垂直取向。在该特定示例中,由于ICG区域2140a、2140b具有在y方向上延伸并在x方向上周期性重复的光栅线,因此EPE区域2160具有在x方向上延伸并在y方向上周期性重复的光栅线。再次,有利的是,EPE区域2160中的光栅线相对于ICG区域2140a、2140b中的光栅线而垂直取向,因为这有助于确保光束将在由EPE区域2160耦出目镜波导2100之前与MPE区域2150相互作用。

[0391] 图21B还示出了EPE区域2160在对应于FOV的第一子部分的光束的第一集合上的k空间操作。如已经讨论的,光束可以在由位于k空间环的12点钟、3点钟、6点钟和9点钟位置处的FOV矩形指示的任何方向上通过MPE区域2150传播。并且,由于EPE区域2160与MPE区域2150重叠,因此处于这些传播状态中的任何一种的光束可以与EPE区域相互作用,并且从目镜波导2100耦出。由于EPE区域2160中的衍射光栅的周期轴指向 $\pm k_y$ 方向,因此与EPE区域相关联的光栅矢量同样指向相同方向。图21B示出了EPE区域2160因此如何将位于k空间环的12点钟和6点钟位置处的FOV矩形平移回k空间图的原点。因此,EPE区域2160仅耦出处于那两种传播状态中的任何一种的光束。如图21B所示,当FOV矩形最终被平移回k空间图KSD1的中心时,组成FOV的第一子部分的光束的第一集合全部存在并且被投射朝向用户的眼睛。

[0392] 图21C是示出目镜波导2100在对应于输入图像的FOV的第二子部分的输入光束的第二集合上的k空间操作的k空间图KSD2。再次,以KSD2的原点为中心的FOV矩形表示对应于将由目镜波导2100向用户眼睛投射的完整输入图像的光束。然而,朝向右ICG区域2140b投射的输入光束的第二集合仅对应于FOV矩形的阴影部分。如图21C所示,对应于输入光束的第二集合的FOV矩形的阴影部分是FOV矩形的右手部分。由于FOV矩形的阴影部分的中心在 $+k_x$ 方向上从k空间图的原点偏移,来自第二投影仪的输入光束的第二集合并非以在-z方

向上精确传播的光束为中心(如果FOV矩形的阴影部分以k空间图的原点为中心,则将出现这种情况),而是以具有在+x方向上的传播分量的斜光束为中心。

[0393] 在示出的实施例中,k空间中的右ICG区域2140b的操作是将FOV矩形的右手阴影部分从k空间图的中心平移到9点钟位置。如图所示,右ICG区域2140b可设计以使得其光栅矢量在 $\pm k_x$ 方向上取向。这将使得一些衍射光束在-x方向上朝向MPE区域2150传播。在一些实施例中,FOV矩形的阴影右手部分可以构成FOV矩形的一半或更多。并且,在一些实施例中,右ICG区域2140b可设计为将FOV矩形的中心平移到从k空间环的中点到环的外边界的任何径向位置。进一步地,右ICG区域2140b可设计以使得其光栅矢量的幅度使得FOV矩形被复制到阴影部分在9点钟位置处完全适合k空间环内的位置。这可以通过例如设计ICG来完成,使得其光栅矢量的幅度大于从k空间图的原点到k空间环的中点的距离。由于9点钟位置处的FOV矩形的阴影部分完全位于k空间环内,因此对应于FOV的第二子部分的输入光束的第二集合全部进入被引导的传播模式。尽管在k空间环的9点钟位置处的FOV矩形具有延伸到环外部的左手部分,但是FOV矩形的该部分对应于输入光束,该输入光束不一定是由其相关联的投影仪投射到右ICG区域2140b中的FOV的第二子部分的一部分。

[0394] 尽管右ICG区域2140b也可以在相反方向上衍射输入光束的第二集合的一部分(即,将FOV矩形平移到k空间环的3点钟位置),但是在目镜波导2100的示出实施例中,那些特定衍射光束将简单地从波导的边缘出射。

[0395] 如已经讨论的,MPE区域2150可以具有多个相关联的光栅矢量,该光栅矢量可以将FOV矩形从9点钟位置平移到k空间环的6点钟、3点钟和12点钟位置中的任何一个。如图21C所示,在k空间环的3点钟位置处的FOV矩形的阴影部分被截断,这意味着并非所有与FOV的第二子部分相关联的光束必须存在于该特定传播状态中。

[0396] 在与MPE区域2150的附加相互作用期间,FOV矩形可以在12点钟、3点钟、6点钟和9点钟位置之间来回平移。这由KSD2中的那些传播状态之间的双面箭头表示。以这种方式,如本文所描述的,通过与其衍射特征经历多次相互作用,输入光束的第二集合可以在整个MPE区域2150中被复制。再次,这由图21A中的目镜波导2100的OPE区域2150中的箭头示出。

[0397] 图21C还示出了EPE区域2160在对应于FOV的第二子部分的光束的第二集合上的k空间操作。如已经讨论的,EPE区域2160将位于k空间环的12点钟和6点钟位置处的FOV矩形平移回k空间图的原点。因此,EPE区域2160仅耦出处于那两种传播状态中的任何一种的光束。如图21C所示,当FOV矩形最终被平移回k空间图KSD2的中心时,组成FOV的第二子部分的光束的第二集合全部存在并且被投射向用户的眼睛。

[0398] 图21D是概述图21A所示的目镜波导2100的k空间操作的k空间图KSD3。它基本上是图21B和图21C所示的k空间图的叠加。此外,图21D中的k空间图示出了大于k空间环的宽度的至少一个尺寸的FOV矩形。在一些实施例中,FOV矩形的至少一个尺寸可以比k空间环的宽度大高达约2倍。在示出的实施例中,FOV矩形的水平尺寸大于k空间环的宽度。尽管目镜波导2100被示出为提供扩展的水平视场,但是相同的技术也可用于扩展垂直视场。

[0399] 如图21D所示,尽管输入光束的第一和第二集合使用单独的投影仪和ICG区域2140a、2140b而分别投射到目镜波导2100中,但是一旦各种FOV矩形从k空间环的12点钟、3点钟、6点钟、9点钟位置被平移回k空间图的原点,并且因此耦出向用户的眼睛,组成完整图像FOV所要求的光束全部存在。并且FOV的第一和第二子部分在k空间中以与完整输入FOV中

相同的相对位置彼此对准。

[0400] 图21E示出了包含目镜波导2100的一个或多个实例的眼镜70的示例实施例。图21F示出了对应于图21E中的眼镜70的示例FOV。目镜波导2100的第一实例被集成到眼镜70的左观看部分中,而目镜波导2100的第二实例被集成到右观看部分中。在示出的实施例中,目镜波导2100中的每一个是约 $50 \times 30 \text{mm}^2$,尽管可以使用许多不同的大小。每个目镜波导2100可伴随有两个单独的投影仪2120a、2120b,其中每个投影仪将FOV的子部分投射到对应的波导中,如刚才所讨论的。在一些实施例中,用于每个波导2100的第一投影仪2120a可以在目镜波导2100的边撑侧输入光,而第二投影仪2120b可以在目镜波导2100的鼻侧输入光。对于由具有 $n=1.8$ 的折射率的材料制成的目镜波导的情况,投影仪2120a、2120b中的每一个可以输入与 $50^\circ \times 60^\circ$ 一样大或更大的FOV的子部分,这取决于其他设计约束,诸如适眼区大小和屏蔽门伪影。并且,完整FOV可以与 $100^\circ \times 60^\circ$ 一样大或更大。这被示出为图21F所示的单目目镜FOV配置。如由匹配阴影所示,在该配置中,第一投影仪2120a(边撑侧)可用于投射完整FOV的鼻侧,以及第二投影仪2120b(鼻侧)可用于投射完整FOV的边撑侧。注意,十字线示出了一种可能的光瞳对准,尽管也可以使用其他光瞳对准。

[0401] 可替代地,目镜波导2100和目镜70的两个实例可共同用于提供双目FOV。例如,目镜波导2100中的每一个可以投射FOV,如单目目镜配置中所示。然而,由两个目镜波导2100投射的FOV可以至少部分重叠。图21F示出了由两个目镜波导2100投射的FOV在水平方向上重叠 50° 并且提供 $150^\circ \times 60^\circ$ 的总体双目FOV的情况。如果在两个目镜波导2100的FOV之间提供较少的重叠,则双目FOV可以甚至更大。如由匹配阴影所示,在双目FOV配置中,第一投影仪2120a(边撑侧)可用于投射双目FOV的中间部分,以及第二投影仪2120b(鼻侧)可用于投射双目FOV的两侧。

[0402] 图21G示出了图21A所示的目镜波导2100的另一实施例的k空间操作。在该实施例中,FOV矩形的大小可以超过 k_x 和 k_y 尺寸上的k空间环的宽度。在图21G中,FOV矩形的较暗阴影部分对应于FOV的右部分,而FOV矩形的较亮阴影部分对应于FOV的左部分。左和右ICG区域2140a、2140b可设计有将FOV矩形移动到3点钟和9点钟位置的光栅矢量,如已经讨论的。ICG区域的光栅矢量的幅度可以使得完整FOV矩形的中心移动到,例如,k空间环的中点与环的外周长之间的任何径向位置。并且,MPE区域可设计有将完整FOV矩形移动到3点钟、6点钟、9点钟和12点钟位置的光栅矢量,如已经讨论的。但是MPE区域2150的光栅矢量的幅度也可设计以使得完整FOV矩形的中心移动到,例如,k空间环的中点与那些位置处的环的外周长之间的任何径向位置。因此,即使在沿着FOV矩形的较短尺寸的轴定位的12点钟和6点钟位置,FOV矩形的一部分也可以延伸超出k空间环的外周长,使得矩形的一些部分被截断。

[0403] 尽管对应于FOV矩形的截断部分的被引导的光束可能丢失,但是当考虑到由3点钟、6点钟、9点钟和12点钟位置表示的所有传播状态时,组成完整FOV所需的所有光束仍然存在于波导中。左FOV(较亮阴影矩形)完全保留在9点钟位置处,而底部部分保留在12点钟位置处并且顶部部分保留在6点钟位置处。类似地,右FOV(较暗阴影矩形)完全保留在3点钟位置处,而底部部分保留在12点钟位置处并且顶部部分保留在6点钟位置处。因此,当FOV矩形被平移回k空间图的原点并耦出向用户的眼睛时,组成完整FOV所需的光束全部存在,并且可以重新创建完整FOV。图22A至图22E进一步讨论了在多个方向上的FOV矩形的扩展。

[0404] 图22A示出了目镜波导2200的实施例,该目镜波导2200可以投射FOV,该FOV在两个

方向上扩展超出在目镜波导的厚度方向上的被引导的传播模式中可以支持的传播角度范围。目镜波导2200包括提供在第一对顶部和底部OPE区域2250a1、2250a2之间的左ICG区域2240a。它还包括提供在第二对顶部和底部OPE区域2250b1、2250b2之间的右ICG区域2240b。最后,在第一和第二ICG区域2240a、2240b与其相应OPE区域之间提供MPE区域2250c和重叠的EPE区域2260。MPE区域2250c可以提供在目镜波导2200的第一表面2200a上或中(如图22A所示),而EPE区域2260可以提供在波导的第二表面上或中(如图22B所示)。虽然MPE区域2250c和EPE区域2260被示出为具有相同的大小并且在x-y平面中精确地对准,但是在其他实施例中,它们可以具有略微不同的大小并且可以部分地未对准。在一些实施例中,MPE区域2250c和EPE区域2260彼此重叠至少70%、至少80%、至少90%或至少95%。

[0405] 左ICG区域2240a和第一对顶部和底部OPE区域2250a1、2250a2的功能类似于关于图19所示和描述的功能。即,投影仪或其他输入设备通常沿着-z方向,向左ICG区域2240a投射对应于输入图像FOV的光束集合。左ICG区域2240a具有在x方向上延伸并在y方向上周期性重复的光栅线。因此,左ICG区域2240a将输入光束耦合到+1衍射级和-1衍射级,其通常在+y方向上向上部OPE区域2250a1传播合在-y方向上向下部OPE区域2250a2传播。如本文所讨论的,第一组上部和下部OPE区域2250a1、2250a2的第一集合复制那些输入光束,并且然后通常在x方向上朝向MPE/EPE区域而引导被复制的输出光束集合。

[0406] 右ICG区域2240b和第二对顶部和底部OPE区域2250a1、2250a2以相同方式运行,但是关于y轴镜像。即,投影仪或其他输入设备通常沿着-z方向朝向右ICG区域投射相同输入光束集合。右ICG区域2240b也具有在x方向上延伸并在y方向上周期性重复的光栅线。因此,右ICG区域2240b也将输入光束耦合到+1衍射级和-1衍射级,其通常在+y方向上向上部OPE区域2250b1传播并且在-y方向上向下部OPE区域2250b2传播。上部和下部OPE区域2250b1、2250b2的第二集合复制那些输入光束并且然后通常在-x方向上朝向MPE/EPE区域而引导被复制的输出光束集合。

[0407] 图22C示出了图22A所示的目镜波导实施例2200中的ICG区域2240a、2240b和OPE区域2250a1、2250a2、2250b1、2250b2的k空间操作。具体地,图22C的左面板(KSD1a)示出了左ICG区域2240a和其相关联的顶部和底部OPE区域2250a1、2250a2的第一集合的k空间操作,而图22C的右面板(KSD1b)示出了右ICG区域2240b和其相关联的顶部和底部OPE区域2250b1、2250b2的第二集合的k空间操作。

[0408] 对应于输入图像的FOV的输入光束集合被投射到左ICG区域2240a和右ICG区域2240b。该输入光束集合在KSD1a和KSD1b中被示出为以这些k空间图的相应原点为中心的FOV方形。与仅示出FOV的单个尺寸大于k空间环的宽度的先前所示的增强FOV实施例不同,KSD1a和KSD1b的FOV方形的尺寸大于k空间环的宽度。在一些实施例中,FOV方形的两个尺寸可以比k空间环的宽度大高达约2倍。尽管该实施例使用具有相等水平和垂直FOV的FOV方形示出,但是这不是要求,因为水平和垂直FOV不一定需要相等。图22A所示的目镜波导2200的实施例可能能够,取决于其他设计约束(诸如适眼区大小和屏蔽门伪影),实现与 $100^{\circ} \times 60^{\circ}$ 一样大或更大(例如, $100^{\circ} \times 90^{\circ}$)的FOV,假设具有折射率1.8的目镜波导(由空气包围)。

[0409] 在KSD1a中,通过与左ICG区域2240a相关联的光栅矢量,在k空间中在 $\pm k_y$ 方向上平移FOV方形。类似地,在KSD1b中,通过与右ICG区域2240b相关联的光栅矢量,在k空间中在 $\pm k_y$ 方向上平移FOV方形。在这两种情况下,在通过ICG区域2240a、2240b耦合入到目镜波导

2200中之后,输入光束处于由k空间环的12点钟和6点钟位置处的平移FOV方形表示的传播状态。如KSD1a和KSD1b所示,这些位置的FOV方形被截断,因为它们不完全适合k空间环内。仅对应于12点钟位置处的FOV方形的阴影下部的那些光束进入被引导的传播模式。同时,仅对应于6点钟位置处的FOV方形的阴影上部的那些光束进入被引导的传播模式。

[0410] KSD1a还示出了顶部和底部OPE区域2250a1、2250a2的第一集合的k空间操作。这些OPE区域包括衍射光栅,该衍射光栅被设计为具有将FOV方形从12点钟和6点钟位置平移到3点钟位置的相关联的光栅矢量。在3点钟位置的光束通常在x方向上朝向MPE/EPE区域传播。

[0411] 对应于k空间中的3点钟位置处的FOV方形的上部的光束由先前位于6点钟位置处的FOV方形提供,而对应于3点钟位置处的FOV方形的下部的光束由先前位于12点钟位置处的FOV方形提供。然而,FOV方形再次太大,以致于不能完全适合3点钟位置处的k空间环内。因此,FOV方形被截断,但这次对应于FOV方形的阴影左手部分的光束保持在被引导的传播模式中,而对应于FOV方形的无阴影右手部分的光束落在k空间环外并丢失。

[0412] 顶部和底部OPE区域2250b1、2250b2的第二集合的k空间操作是顶部和底部OPE区域2250a1、2250a2的第一集合的k空间操作的镜像版本(关于 k_y 轴)。因此,如KSD1b所示,顶部和底部OPE区域2250b1、2250b2的第二集合最终在k空间环的9点钟位置处产生截断的FOV方形,其中对应于方形的阴影右手部分的光束在被引导的模式中朝向MPE/EPE区域传播,而对应于FOV方形的无阴影左手部分的光束落在k空间环外并丢失。

[0413] 图22D示出了图22A所示的目镜波导实施例2200中的MPE区域2250c的k空间操作。具体地,图22D的左面板(KSD2a)示出了MPE区域2250c在从左ICG区域2240a和其相关联的顶部和底部OPE区域的第一集合2250a1、2250a2所接收的光束上的k空间操作,而右面板(KSD2b)示出了MPE区域2250c在从右ICG区域2240b和其相关联的顶部和底部OPE区域的第二集合2250b1、2250b2所接收的光束上的k空间操作。

[0414] MPE区域2250c可以类似于关于图20A和图21A中的MPE区域2050、2150所描述的。即,如已经讨论的,MPE区域2250c可以由在多个方向上展现周期性的衍射特征的2D阵列组成。因此,MPE区域2250c具有多个相关联的光栅矢量,该光栅矢量可在k空间环的3点钟、6点钟、9点钟和12点钟位置之间来回平移FOV方形。这由KSD2a和KSD2b中的那些传播状态之间的双面箭头表示。在该实施例中,MPE区域2250c的光栅矢量G和H可以彼此垂直,因为FOV在两个维度上扩展超过k空间环的宽度,以及因此FOV方形的中心可以在 k_x 和 k_y 方向上平移到k空间环中的相同的径向位置。

[0415] 如已经讨论的,从左ICG区域2240a和顶部和底部OPE区域2250a1、2250a2的第一集合而到达MPE区域2250c的光束处于由k空间环的3点钟位置处的FOV方形表示的传播状态。仅对应于FOV方形的阴影左手部分的光束存在于该传播状态中。如KSD2a所示,当MPE区域2250c将这些光束衍射到由12点钟位置处的FOV方形表示的传播状态时,FOV方形再次被截断,并且仅对应于FOV方形的阴影左下部分的光束保持在被引导的传播状态中。同时,当MPE区域2250c将光束从由3点钟位置处的FOV方形表示的传播状态衍射到由6点钟位置处的FOV方形表示的传播状态时,FOV方形也被再次截断;仅对应于FOV方形的阴影左上部分的光束保持在被引导的传播状态中。最后,当FOV方形从k空间环的12点钟位置或6点钟位置平移到9点钟位置时,FOV方形再次被截断,这可能不使任何光束处于被引导的传播状态中。这由KSD2a中的9点钟位置处的无阴影FOV方形示出。

[0416] KSD2b是关于 k_y 轴的KSD2a的镜像。KSD2b示出了MPE区域2250c在从右ICG区域2240b和顶部和底部OPE区域2250b1、2250b2的第二集合而到达的光束上的k空间操作。这些光束处于由k空间环的9点钟位置处的FOV方形表示的传播状态。仅对应于FOV方形的阴影右手部分的光束存在于该传播状态中。如KSD2b所示,当MPE区域2250c将这些光束衍射到由12点钟位置处的FOV方形表示的传播状态时,FOV方形再次被截断,并且仅对应于FOV方形的阴影右下部分的光束保持在被引导的传播状态中。同时,当MPE区域2250c将光束从由9点钟位置处的FOV方形表示的传播状态衍射到由6点钟位置处的FOV方形表示的传播状态时,FOV方形也被再次截断;仅对应于FOV方形的阴影右上的光束保持在被引导的传播状态中。最后,当FOV方形从k空间环的12点钟位置或6点钟位置平移到3点钟位置时,FOV方形再次被截断,这可能不使任何光束处于被引导的传播状态中。这由KSD2b中的3点钟位置处的无阴影FOV方形示出。

[0417] 以这种方式,通过传播通过MPE区域2250c而复制的波束被划分为FOV的四个子部分:对应于FOV方形的左上部分的第一子部分;对应于FOV方形的右上部分的第二子部分;对应于FOV方形的左下部分的第三子部分;以及对应于FOV方形的右下部分的第四子部分。完整FOV的这些子部分中的任何一对可以部分重叠。换句话说,FOV的这些子部分中的任何一对可包括对应于相同输入光束中的一个或多个的光束。可替代地,在没有重叠的情况下,FOV的子部分也可以是唯一的。在任一情况下,组合FOV的子部分以在目镜波导2200的出射光瞳处重新创建完整的FOV。这示出在图22E中。

[0418] 图22E示出了图22A中的目镜波导实施例2200中的EPE区域2260的k空间操作。EPE区域2260可以类似于关于图20A和图21A中的EPE区域2060、2160所描述的而运行。如本文所讨论的,由于EPE区域2260与MPE区域2250c重叠,因此在MPE区域中传播的光束也可以与EPE区域相互作用,并且从目镜波导2200耦出。EPE区域2260包括其周期轴与左ICT区域2240a和右ICG区域2240b的周期轴相对准的衍射光栅。在示出的实施例中,针对EPE区域2260的周期轴指向 $\pm k_y$ 方向。因此,EPE区域2260具有相关联的光栅矢量,该光栅矢量同样指向相同方向,并将位于k空间环的12点钟和6点钟位置处的FOV方形平移回k空间图的原点。图22E示出当这种情况发生时,FOV的四个子部分被组装以重新创建完整的FOV。组成完整图像FOV所要求的所有光束存在。并且FOV的第四子部分在k空间中以与完整输入FOV中相同的相对位置而彼此对准。

[0419] 设计为与角度投影仪一起工作的目镜波导

[0420] 本文所描述的许多目镜波导实施例被设计为与其光轴以垂直角度与ICG区域相交的投影仪(或其他图像输入设备)一起工作。在这样的实施例中,中心输入光束(其对应于输入图像的中心点)垂直入射在ICG区域上,并且对应于输入图像的顶部/底部和左/右部分的输入光束以对称角度而入射在ICG区域上。然而,在一些实施例中,目镜波导可设计为与角度投影仪(或其他图像输入设备)一起运行。图23示出了这样的实施例的示例。

[0421] 图23示出了被设计为与成角投影仪一起工作的目镜波导2300的示例实施例。目镜波导2300包括ICG区域2340、左和右OPE区域2350a、2350b和EPE区域2360。来自投影仪的输入光束入射在ICG区域2340上,并且以被引导的传播模式而耦合到目镜波导2300中。在该实施例中,投影仪相对于ICG区域2340以非垂直角度取向。因此,来自投影仪的中心输入光束2341以倾斜角度入射在ICG区域2340上(例如,如图13I所示)。这导致用于输入光束的k矢量

的k空间的移位,使得它们不再以k空间图的原点为中心。因此,ICG、OPE和/或EPE区域的光学设计可能需要改变,连同它们的物理形状(例如,根据参考图14D所描述的原理),并且在k空间环中的FOV矩形的放置也可能改变,如下文所讨论的。

[0422] 来自ICG区域2340的正和负衍射级然后分别传播到左和右OPE区域2350a、2350b。OPE区域2350在水平方向上以空间分布的方式复制输入波束,并将其引导到EPE区域2360。然后,EPE区域2360在垂直方向上以空间分布的方式进一步复制光束并将其耦出向用户的眼睛,如本文其他地方所讨论的。

[0423] 图23包括示出目镜波导2300的k空间操作的k空间图KSD。如本文其他地方所描述的,k空间图的中心部分中的FOV矩形对应于来自投影仪的输入光束和来自目镜波导2300的输出光束。k空间环中的4点钟和8点钟位置附近的FOV矩形对应于从ICG区域2340传播到OPE区域2350的光束。最后,k空间环中的6点钟位置处的FOV矩形对应于从OPE区域2350向下朝向EPE区域2360传播的光束。

[0424] 由于投影仪相对于ICG区域2340成角度,因此对应于输入光束的FOV矩形不以k空间图的原点为中心。相反,在示出的实施例中,对应于输入光束的FOV矩形以 k_y 轴为中心,但是位于 k_x 轴下面。这意味着没有一个输入光束具有在+y方向上具有分量的传播方向。换句话说,输入光束从投影仪向下传播向ICG区域。ICG区域2340然后将FOV矩形水平平移到 $\pm k_x$ 方向上的k空间环中。

[0425] 由于来自ICG区域2340的被引导的光束中没有一个具有正 k_y 分量的k矢量(即,FOV矩形位于 k_x 轴下面),因此如图所示,OPE区域2350的顶边缘可以是水平的,因为不需要容纳在+y方向上向上扇出的光束。在一些实施例中,OPE区域2350的该特性可能是有利的,因为它可以允许紧凑的设计。然而,通过角度图像投影仪使OPE区域2350的水平顶部边缘实用。然而,角度图像投影仪可能与一些缺点相关联。例如,由于目镜波导2300(例如,包括光栅的光学设计和/或物理布局)被设计为从向上角度接收输入光,因此来自头顶光源(诸如太阳或头顶灯具)的光也可耦合到目镜波导中。这可能导致不期望的图像特征,诸如叠加在显示的虚拟内容上的那些光源的重影图像、伪影、降低对比度等。尽管可以通过包括遮阳板,来阻挡来自头顶光源的光,以便使目镜波导2300遮挡头顶光,但是这样的遮阳板可能是笨重的或美学上不期望的。因此,设计为与垂直投影仪一起运行的目镜波导可能是优选的,因为可以减少或消除对遮阳板的需要。另外,对于向上或向下成角度的投影仪设计,输出光束也以类似于输入光束的角度而离开波导的事实意味着目镜波导可能需要相对于用户的中心注视矢量倾斜,和/或可能需要将其放置在眼睛上面或下面-而不是直接放置在眼睛前面。

[0426] 具有组合光瞳扩展器-提取器区域的示例AR目镜波导

[0427] 图24A是具有多个组合光瞳扩展器-提取器(CPE)区域2455的示例目镜波导2400的边缘视图。CPE区域2455代替本文关于其他实施例所描述的OPE、MPE和/或EPE区域。示出的实施例在目镜波导2400的相对侧具有第一和第二CPE区域2455a、2455b。第一和第二CPE区域2455a、2455b在目镜波导2400内横向扩展光,类似于OPE区域。它们还从目镜波导2400提取光,类似于EPE区域。

[0428] 图24A所示的目镜波导2400可以使用由光学透射材料制成的衬底形成。目镜波导2400具有面向眼睛侧2400a和面向外侧2400b。在目镜波导2400的示出实施例中,在目镜波导2400的顶部中心处提供ICG区域2440,并且第一和第二CPE区域2455a、2455b分别提供在

面向眼睛侧2400a和面向外侧2400b的ICG区域2440下面。

[0429] 在一些实施例中,ICG区域2440是在目镜波导2400的表面上或内形成的衍射光栅(例如,在面向眼睛侧2400a)。ICG区域2440从输入设备(诸如投影仪)接收输入光束集合。如本文其他地方所描述的,输入光束可以通常在 $\pm z$ 方向上从输入设备而传播,直到它们入射在ICG区域2440上。ICG区域2440衍射那些输入光束,使得至少一些进入目镜波导2400内的被引导的传播模式。

[0430] ICG区域2440内的衍射光栅的示出的实施例具有一维周期性(即,它是1D光栅)。ICG区域2040的光栅线可以被取向以将衍射光束中的一些在 $-y$ 方向上朝向第一和第二CPE区域2455a、2455b引导。因此,在示出的实施例中,ICG区域2440包括在 $\pm x$ 方向上延伸并在 $\pm y$ 方向上周期性重复的衍射线。如本文其他地方所描述的,可以设置组成ICG区域2440的衍射线之间的间距,以便将输入光束耦合到目镜波导2400内的被引导的传播模式中。然后,来自ICG区域2440的衍射光束经由TIR朝向第一和第二CPE区域2455a、2455b传播。

[0431] 第一CPE区域2455a形成在目镜波导的一侧(例如,面向眼睛侧2400a)上或中,以及第二CPE区域2455b形成在目镜波导的相对侧(例如,面向外侧2400b)上或中。在所示的实施例中,第一和第二CPE区域2455a、2455b是1D衍射光栅。第一CPE区域2455a被示出为由以相对于 y 轴的 -30° 的角度而取向的衍射线组成的1D衍射光栅(当从面向眼睛侧2400a观看时),以及第二CPE区域2455b被示出为由以相对于 y 轴的 $+30^\circ$ 的角度而取向的衍射线组成的1D衍射光栅(当也从面向眼睛侧2400b观看时)。

[0432] 在目镜波导2400的一些实施例中,第一CPE区域2455a的1D光栅与第二CPE区域2455b的1D光栅之间的相对角度基本上是 60° (即, $60^\circ \pm 5^\circ$ 、或 $60^\circ \pm 3^\circ$ 、或 $60^\circ \pm 1^\circ$ 、或 $60^\circ \pm .5^\circ$ 、或 $60^\circ \pm .1^\circ$)。另外,在一些实施例中,ICG区域2440的1D光栅与CPE区域2455a、2455b两者的1D光栅之间的相对角度也基本上是 60° (即, $60^\circ \pm 5^\circ$ 、或 $60^\circ \pm 3^\circ$ 、或 $60^\circ \pm 1^\circ$ 、或 $60^\circ \pm .5^\circ$ 、或 $60^\circ \pm .1^\circ$)。除了图24A所示的特定示例之外,对于目镜波导2400的其他布局也是可能的。例如,ICG区域2440可以相反位于目镜波导2400的颞(temporal)侧或内(medial)侧,并且可以相应地调整CPE区域2455a、2455b的取向,以保持光栅之间的相对角度。

[0433] 如下文进一步讨论的,ICG区域2440、第一CPE区域2455a和第二CPE区域2455b的相应1D光栅中的每一个之间的基本上 60° 的相对角度有助于CPE区域可以在目镜波导2400中横向扩展光并且将光耦出向用户的眼睛的特性。

[0434] 在一些实施例中,除了其取向之外,第一和第二CPE区域2455a、2455b的1D光栅是相同的。例如,第一和第二CPE区域2455a、2455b可以具有相同的线间距、相同的蚀刻深度等。这可能是有利的,因为它允许两个CPE区域2455由相同的主模板制造。另外,在一些实施例中,ICG区域2440的1D光栅还具有与第一和第二CPE区域2455a、2455b相同的线间距。

[0435] 虽然第一CPE区域2455a和第二CPE区域2455b被示出为相同大小并且在 $x-y$ 平面上精确对准,但是在其他实施例中,它们可以具有有点不同的大小和/或它们可以部分未对准。在一些实施例中,第一和第二CPE区域2455a、2455b彼此重叠至少70%、或至少80%、或至少90%、或至少95%。

[0436] 如已经提到的,来自ICG区域2440的被引导的光束经由TIR而传播通过目镜波导2400,这意味着它们在面向眼睛侧2400a和面向外侧2400b的相应表面之间来回反射。当被引导的光束以这种方式传播通过目镜波导2400时,它们交替地与第一和第二CPE区域

2455a、2455b的衍射光栅相互作用。关于图24B至图24K进一步讨论了第一和第二CPE区域2455a、2455b在被引导的光束上的操作。

[0437] 图24B示出了根据通过目镜波导2400的第一类型的主光路在物理空间和k空间中的第一和第二CPE区域2455a、2455b的操作。在图24B的左侧示出目镜波导2400的物理图。目镜波导2400被示出为从面向眼睛侧2400a观看。在图24B的右手侧示出了ICG区域2440以及第一和第二CPE区域2455a、2455b的操作的k空间图KSD1a。

[0438] 如已经讨论的,输入光束集合从输入设备(诸如投影仪)入射在目镜波导2400的ICG区域2440上。该输入光束集合由k空间图KSD1a的中心所示的FOV矩形表示。ICG区域2440中的衍射光栅具有指向 $\pm k_y$ 方向的相关联的正和负光栅矢量。因此,ICG区域2440的k空间操作是将中心FOV矩形移动到k空间图KSD1a上的6点钟和12点钟位置。(12点钟位置处的FOV矩形对应于在+y方向上传播的光束。由于那些光束从其上边缘离开目镜波导2400,因此该特定FOV矩形未被示出,并且那些光束未被进一步讨论。)可以基于衍射线的间距和光的波长来设置与ICG区域2440相关联的光栅矢量的长度,使得六点钟位置处的平移FOV矩形完全位于k空间环内。

[0439] 为了便于说明,图24B的左手侧的物理图仅示出了来自ICG区域2440的被引导的光束之一(即,对应于位于k空间图KSD1a的六点钟位置处的FOV矩形中的中心k矢量的被引导的光束2441)。来自ICG区域2440的被引导的光束2441在-y方向上向下传播通过目镜波导2400,以TIR而在面向眼睛侧2400a的表面和面向外侧2400b的表面之间来回反射。每次被引导的光束2441从面向眼睛侧2400a反射时,其可与第一CPE区域2455a相互作用。并且每次被引导的光束2441从面向外侧2400b反射时,其可与第二CPE区域2455b相互作用。可以设置第一和第二CPE区域2455a、2455b的衍射效率,使得每个光束的功率的仅一部分用这些相互作用中的每一个而衍射。例如,在一些实施例中,第一和第二CPE区域2455a、2455b的衍射效率是10%或更低。第一和第二CPE区域2455a、2455b的衍射效率可以通过例如衍射线的蚀刻深度来确定。

[0440] 图24B的左手侧的物理图示出了被引导的光束2441与第一CPE区域2455a的相互作用,其使得光通过目镜波导2400在-x方向上横向扩展。当被引导的光束2441在-y方向上向下传播通过目镜波导2400时,在与第一CPE区域2455a的每次相互作用期间,其功率的一部分相对于y轴以 $+120^\circ$ 角衍射。被引导的光束2441的功率的剩余部分继续在-y方向上向下传播直到与第一CPE区域2455a的下一次相互作用,其中其功率的另一部分以相同的 $+120^\circ$ 角而衍射。该过程产生多个间隔开的衍射光束2456a,其以相对于y轴 $+120^\circ$ 角传播通过目镜波导2400。这些衍射光束2456a由位于图24B的右手侧的k空间图KSD1a中的8点钟位置处的FOV矩形表示。

[0441] 与任何1D衍射光栅一样,存在与第一CPE区域2455a相关联的正和负光栅矢量。这些光栅矢量沿着第一CPE区域2455a中的光栅线的周期性方向指向。因此,与第一CPE区域2455a相关联的一阶光栅矢量之一相对于y轴指向 $+60^\circ$ (如KSD1a所示),而其他点在相对方向而指向,相对于y轴指向 -120° 。对于正、负高阶光栅矢量也是如此。相对于y轴指向 $+60^\circ$ 的一阶光栅矢量将FOV矩形从六点钟位置(其对应于从ICG区域2440向下传播的被引导的光束)移动到八点钟位置(其对应于相对于y轴以 $+120^\circ$ 角传播的衍射光束2456a)。(相对于y轴指向 -120° 的一阶光栅矢量会将FOV矩形从六点钟位置移动到k空间环外的位置,并且因此

不导致衍射。)

[0442] 一旦来自ICG区域2440的被引导的光束与第一CPE区域2455a相互作用并衍射到由k空间图KSD1a的八点钟位置处的FOV矩形表示的传播状态,然后,当它们被引导通过目镜波导2400时,它们在下次TIR反弹时与第二CPE区域2455b相互作用。这些光束2456a与第二CPE区域2455b的相互作用可导致它们从目镜波导2400耦出朝向用户的眼睛。耦出光束2457a在图24B的左手侧的目镜波导2400的物理图中示出为圆点,指示那些光束在z方向上传播到页面外。可以通过参考k空间图KSD1a来理解通过第二CPE区域2455b的光束2456a的耦出。

[0443] 正如存在与第一CPE区域2455a相关联的正和负光栅矢量一样,也存在与第二CPE区域2455b相关联的正和负光栅矢量。这些光栅矢量沿着第二CPE区域2455b中的光栅线的周期性方向而指向。因此,与第二CPE区域2455b相关联的一阶光栅矢量之一相对于y轴指向 -60° (如KSD1a所示),而其他点在相对方向上相对于y轴指向 $+120^\circ$ 。对于正、负高阶光栅矢量也是如此。相对于y轴指向 -60° 的一阶光栅矢量将FOV矩形从八点钟位置(其对应于相对于y轴以 $+120^\circ$ 角传播的衍射光束2456a)移动到k空间图KSD1a的中心(其对应于在目镜波导2400内不再处于被引导的传播模式的耦出光束)。(相对于y轴指向 $+120^\circ$ 的一阶光栅矢量会将FOV矩形从八点钟位置移动到k空间环外的位置,并且因此不导致衍射。)

[0444] 图24B的左手侧的物理图示出光束2456a与第二CPE区域2455b的相互作用如何导致多个间隔开的耦出光束2457a。当光束2456a相对于y轴以 $+120^\circ$ 角传播时,其功率的一部分通过与第二CPE区域2455b的每次相互作用来耦出。光束2456a的功率的剩余部分继续相对于y轴以 $+120^\circ$ 角传播,直到与第二CPE区域2455b的下次相互作用,其中那些光束的功率的另一部分被耦出。该过程产生多个间隔开的耦出光束2457a,其在不同的空间位置离开目镜波导2400并向用户的眼睛传播。如已经注意的,这些耦出光束2457a由位于k空间图KSD1a的中心的FOV矩形表示。

[0445] 光束以图24B中的k空间图KSD1a所示的方式通过目镜波导2400的通路是光通过目镜波导的第一类型的主要路径。还存在光通过目镜波导2400的第二类型的主要路径,其由图24C中的k空间图KSD1b示出。

[0446] 图24C示出了根据通过目镜波导2400的第二类型的主要路径的在物理空间和k空间中的第一和第二CPE区域2455a、2455b的操作。再次,在图24C的左侧示出目镜波导2400的物理图。目镜波导2400再次被示出为从面向眼睛侧2400a观看。在图24C的右手侧示出了ICG区域2440以及第一和第二CPE区域2455a、2455b的操作的k空间图KSD1b。

[0447] 图24C的左手侧的物理图示出了来自ICG区域2440的相同的被引导的光束2441,如图24B所示。但这次,物理图示出了被引导的光束2441与第二CPE区域2455b的相互作用,其使得光通过目镜波导2400+x方向上横向扩展。即,当被引导的光束2441在-y方向上而向下传播通过目镜波导2400时,在与第二CPE区域2455b的每次相互作用期间,其功率的一部分相对于y轴以基本上 -120° 角而衍射。被引导的光束2441的功率的剩余部分继续在-y方向上向下传播直到与第二CPE区域2455b的下次相互作用,其中其功率的另一部分以相同的 -120° 角而衍射。该过程产生多个间隔开的衍射光束2456b,其以相对于y轴 -120° 角而传播通过目镜波导2400。这些衍射光束2456b由位于图24C的右手侧的k空间图KSD1b中的4点钟位置处的FOV矩形表示。

[0448] 如已经讨论的,与第二CPE区域2455b相关联的一阶光栅矢量之一相对于y轴指向 -60° (如KSD1b所示),而其他点在相对方向上相对于y轴指向 $+120^\circ$ 。相对于y轴指向 -60° 的一阶光栅矢量将FOV矩形从六点钟位置(其对应于从ICG区域2440向下传播的被引导的光束)移动到四点钟位置(其对应于相对于y轴以 -120° 角而传播的衍射光束2456b)。(相对于y轴指向 $+120^\circ$ 的一阶光栅矢量会将FOV矩形从六点钟位置移动到k空间环外的位置,并且因此不导致衍射。)

[0449] 一旦来自ICG区域2440的被引导的光束与第二CPE区域2455b相互作用,并被衍射到由k空间图KSD1b的四点钟位置处的FOV矩形表示的传播状态,然后,当它们被引导通过目镜波导2400时,它们在下次TIR反弹时与第一CPE区域2455a相互作用。这些光束2456b与第一CPE区域2455a的相互作用可导致它们从目镜波导2400耦出朝向用户的眼睛。耦出光束2457b在图24C的左手侧的目镜波导2400的物理图中示出为圆点,指示那些光束在z方向上传播到页面外。可以通过参考k空间图KSD1b来理解通过第一CPE区域2455a的光束2456b的耦出。

[0450] 如已经讨论的,与第一CPE区域2455a相关联的一阶光栅矢量之一相对于y轴指向 $+60^\circ$ (如KSD1b所示),而其他点在相对方向上相对于y轴指向 -120° 。相对于y轴指向 $+60^\circ$ 的一阶光栅矢量将FOV矩形从四点钟位置(其对应于相对于y轴以 -120° 角传播的衍射光束2456b)移动到k空间图KSD1a的中心(其对应于在目镜波导2400内不再处于被引导的传播模式的耦出光束)。(相对于y轴指向 -120° 的一阶光栅矢量会将FOV矩形从四点钟位置移动到k空间环外的位置,并且因此不导致衍射。)

[0451] 图24C的左手侧的物理图示出光束2456b与第一CPE区域2455a的相互作用如何导致多个间隔开的耦出光束2457b。当光束2456b相对于y轴以 -120° 角传播时,其功率的一部分通过与第一CPE区域2455a的每次相互作用来耦出。光束2456b的功率的剩余部分继续相对于y轴以 -120° 角传播,直到与第一CPE区域2455a的下次相互作用,其中那些光束的功率的另一部分被耦出。该过程产生多个间隔开的耦出光束2457b,其在不同的空间位置离开目镜波导2400并向用户的眼睛传播。如已经注意的,这些耦出光束2457b由位于k空间图KSD1b的中心的FOV矩形表示。

[0452] 图24D示出了根据通过目镜波导2400的第一和第二类型的主要路径在物理空间和k空间中的第一和第二CPE区域2455a、2455b的操作。再一次,在图24D的左侧示出目镜波导2400的物理图。目镜波导2400再次被示出为从面向眼睛侧2400a观看。在图24D的右侧示出了ICG区域2440以及第一和第二CPE区域2455a、2455b的操作的k空间图KSD2。

[0453] 如已经讨论的,通过目镜波导2400的两种类型的主要路径从输入光束集合开始-对应于输入图像-其入射在ICG区域2440上。输入光束集合由位于k空间图KSD2的中心的FOV矩形表示。ICG区域2440将输入光束耦合到目镜波导2400内的被引导的传播模式中。这由FOV矩形-由与ICG区域相关联的一阶光栅矢量之一-从k空间图KSD2的中心到k空间环的六点钟位置的平移来表示。图24D的左手侧的物理图示出了产生的被引导的光束中的单独一个(即,被引导的光束2441)。然而,应当理解,将存在许多被引导的输入光束,其中的每一个将对应于位于KSD2的k空间环中的六点钟位置的FOV矩形内的不同k矢量。

[0454] 然后,来自ICG区域2440的被引导的光束与第一和第二CPE区域2455a、2455b具有多个交替交互作用,因为它们在目镜波导2400的面向眼睛侧2400a的表面和面向外侧2400b

的表面之间TIR。在每一代相互作用期间,每个光束的功率的一部分可以零阶衍射并继续在目镜波导2400的x-y平面中在相同方向上传播,而每个光束的功率的另一部分可以一阶衍射到新传播方向。

[0455] 由KSD2中的6点钟位置处的FOV矩形表示的传播状态中的一些光束将首先与第一CPE区域2455a相互作用,而其他光束将首先与第二CPE区域2455b相互作用。在其初始相互作用是与第一CPE区域2455a的那些光束的情况下,那些光束中的每一个的功率的一部分将进行一阶衍射,从而产生其传播状态由KSD2中的k空间环的8点钟位置处的FOV矩形表示的衍射光束(例如,衍射光束2456a),以及那些光束中的每一个的功率的另一部分将进行零阶衍射,导致其传播状态继续由6点钟位置处的FOV矩形表示的衍射光束。当所有那些光束传播通过目镜波导2400时,所有那些光束将在随后的TIR反弹中与第二CPE区域2455b相互作用。

[0456] 在与第二CPE区域2455b相互作用期间,其传播状态由8点钟位置处的FOV矩形表示的光束的功率的一部分将进行一阶衍射,从而产生其传播状态由KSD2中的k空间环的中心的FOV矩形表示的耦出光束(例如,光束2457a),以及那些光束中的每一个的功率的另一部分将进行零阶衍射,导致其传播状态继续由8点钟位置处的FOV矩形表示的光束(例如,光束2456a)。同时,其传播状态由6点钟位置处的FOV矩形表示的光束的功率的一部分将遵循通过目镜波导2400的第二类型的主要路径。即,其传播状态由6点钟位置处的FOV矩形表示的光束的功率的一部分将在与第二CPE区域2455b相互作用时进行一阶衍射,从而产生其传播状态由KSD2中的k空间环的4点钟位置处的FOV矩形表示的光束(例如,光束2456b),并且那些光束中的每一个的功率的另一部分将进行零阶衍射,导致其传播状态继续由6点钟位置处的FOV矩形表示的光束。当其传播通过目镜波导2400时,所有那些光束将在随后的TIR反弹中与第一CPE区域2455a相互作用。

[0457] 在与第一CPE区域2455a的下一个相互作用期间,其传播状态由4点钟位置处的FOV矩形表示的光束的功率的一部分将进行一阶衍射,从而产生其传播状态由KSD2中的k空间环的中心的FOV矩形表示的耦出光束(例如,光束2457b),并且那些光束中的每一个的功率的另一部分将进行零阶衍射,导致其传播状态继续由4点钟位置处的FOV矩形表示的光束(例如,光束2456b)。同时,其传播状态由6点钟位置处的FOV矩形表示的光束的功率的一部分将遵循通过目镜波导2400的第一类型的主要路径。即,其传播状态由6点钟位置处的FOV矩形表示的光束的功率的一部分将在与第一CPE区域2455a相互作用时进行一阶衍射,从而产生其传播状态由KSD2中的k空间环的8点钟位置处的FOV矩形表示的光束(例如,光束2456a),以及那些光束中的每一个的功率的另一部分将进行零阶衍射,导致其传播状态继续由6点钟位置处的FOV矩形所表示的光束。当其通过目镜波导2400时,所有那些光束将在随后的TIR反弹中与第二CPE区域2455b相互作用,并且循环将重复。

[0458] 如从图24B至图24D中的k空间图明显的,ICG区域2440、第一CPE区域2455a和第二CPE区域2455b中的1D衍射光栅可以取向,使得其相关联的光栅矢量全部相对于彼此基本上成 60° 角。另外,ICG区域2440、第一CPE区域2455a和第二CPE区域2455b中的1D衍射光栅全部可以具有相同的线间距,使得其相关联的光栅矢量全部具有相同的幅度。这些特性,结合第一和第二CPE区域2455a、2455b在目镜波导2400的相对侧的事实,并且因此光束与那些光栅交替相互作用,使得光束沿着由等边三角形所定义的k空间中的路径传播。这些等边三角形

路径允许第一和第二CPE区域2455a、2455b在目镜波导2400中横向扩展光和将光从目镜波导耦出朝向用户的眼睛。

[0459] 图24E是图24A所示的目镜波导实施例的CPE区域2455与输入光束之间的第一代相互作用的图。在示出的情况下,第一代相互作用与第一CPE区域2455a相互作用,尽管它可以与可替代地与第二CPE区域2455b相互作用。图24E示出了从ICG区域2440进入第一CPE区域2455a的被引导的光束。输入光束被示出在对应于位于图24B至图24D中的k空间环的6点钟位置的FOV矩形中的k矢量中的一个的方向上传播。在一些实施例中,输入光束具有~5mm或更小、或~1mm或更小的直径。

[0460] 在与第一CPE区域2455a的每次相互作用时,输入光束将分成以TIR在2个不同方向上传播的2个光束(每个光束具有相同的直径但是输入光束的原始功率的小部分)。一个方向对应于零阶衍射并且是目镜波导2400的x-y平面中的原始传播角度。另一个方向取决于与第一CPE区域2455a相关联的光栅矢量。如所示,输入光束与第一CPE区域2455a之间的第一代相互作用产生两个光束:输入光束的功率的一些部分简单地从目镜波导2400的表面反射作为输出₁,并且在与输入光束相同的x-y方向上继续(即,0阶衍射);并且输入光束的功率的一些部分与第一CPE区域2455a中的1D光栅相互作用,并且衍射作为输出₂。输出₂光束被示出在对应于位于图24B至图24D中的k空间环的8点钟位置的FOV矩形中的k矢量中的一个的方向上传播。在该第一代相互作用之后,输出₁光束和输出₂光束可随后与第二CPE区域2455b相互作用。尽管未示出,但是以不同传播角度从ICG区域2440进入第一CPE区域2455a的其他被引导的输入光束将类似地表现,但是具有稍微不同的输入和输出角度。

[0461] 图24F是图24A所示的目镜波导实施例的CPE区域2455与输入光束之间的第二代相互作用的图。在所示的情况下,第二代相互作用是与第二CPE区域2455b。与第一代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第二代相互作用相关的光束以实线示出。如图24F所示,来自第一代相互作用的输出光束输出₁和输出₂中的每一个现在可以与第二CPE区域2455b相互作用。来自图24E的输出₁光束的功率的一些部分零阶衍射并在相同的x-y方向上继续(对应于图24B至图24D中的k空间图的6点钟位置处的FOV矩形中的k矢量中的一个),而该光束的功率的另一部分与第二CPE区域2455b中的光栅相互作用并在对应于位于图24B至图24D中的k空间图的4点钟位置处的FOV矩形中的k矢量中的一个的方向上一阶衍射。类似地,来自图24E的输出₂光束的功率的一些部分零阶衍射并在相同的方向上继续(对应于位于图24B至图24D中的k空间图的8点钟位置处的FOV矩形中的k矢量中的一个),而该光束的功率的另一部分与第二CPE区域2455b中的光栅相互作用并且一阶衍射且从目镜波导2400耦出。在该第二代相互作用之后,输出₁光束和输出₂光束可随后与第一CPE区域2455a相互作用。

[0462] 图24G是图24A所示的目镜波导实施例的CPE区域与输入光束之间的第三代相互作用的图。在所示的情况下,第三代相互作用是与第一CPE区域2455a的。与第一和第二代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第三代相互作用相关的光束以实线示出。如图24G所示,来自第二代相互作用的输出光束输出₁和输出₂中的每一个现在可以与第一CPE区域2455a相互作用。属于位于k空间环的8点钟位置处的FOV矩形的来自图24F的输出₁光束的功率的一些部分零阶衍射并且在相同的x-y方向上继续,而该光束的功率的另一部分在对应于位于6点钟位置的FOV矩形的k矢量中的一个的方向上一阶衍射。属于位于k空间环的6点钟位置处的FOV矩形的来自图24F的输出₁光束的功率的一些部分零阶衍射,并且在相同的x-y方向上

继续,而该光束的功率的另一部分在对应于位于8点钟位置的FOV矩形的k矢量中的一个的方向上一阶衍射。最后,来自图24F的输出₂光束的功率的一些部分零阶衍射并且在相同的x-y方向上继续,而该光束的功率的另一部分一阶衍射并且从目镜波导2400耦出。在该第三代相互作用之后,输出₁光束和输出₂光束可随后与第二CPE区域2455b相互作用。

[0463] 图24H是图24A所示的目镜波导实施例的CPE区域2455与输入光束之间的第四代相互作用的图。在所示的情况下,第四代相互作用是与第二CPE区域2455b。与第一、第二和第三代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第四代相互作用相关的光束以实线示出。在这一代相互作用中,光束中的一些从目镜波导2400耦出,并且其他光束中的每一个被衍射到对应于属于图24B至图24D中的k空间图的k空间环中的4点钟、6点钟或8点钟处的FOV矩形中的一个的k矢量的方向。在该第四代相互作用之后,输出₁光束和输出₂光束可随后与第一CPE区域2455a相互作用。

[0464] 图24I是图24A所示的目镜波导实施例的CPE区域2455与输入光束之间的第五代相互作用的图。在所示的情况下,第五代相互作用是与第一CPE区域2455a。与第一、第二、第三和第四代相互作用相关的光束以虚线示出,而与第五代相互作用相关的光束以实线示出。如在前几代相互作用中,光束中的一些从目镜波导2400耦出,并且其他光束中的每一个被衍射到对应于属于图24B至图24D中的k空间图的k空间环中的4点钟、6点钟或8点钟处的FOV矩形中的一个的k矢量的方向。在该第五代相互作用之后,输出₁光束和输出₂光束可随后与第二CPE区域2455b相互作用,并且循环继续重复。

[0465] 图24J示出了在k空间中通过图24A所示的目镜波导2400的光的高阶路径。图24B至图24D中的k空间图示出了与ICG区域2440和CPE区域2455相关联的一阶光栅矢量。一阶光栅矢量导致由k空间环中的4点钟、6点钟和8点钟处的FOV矩形表示的被引导的传播模式。然而,CPE 2455区域中的每一个还与正和负二阶光栅矢量相关联,其中的一些还导致被引导的传播模式。

[0466] 如本文已经讨论的,二阶光栅矢量指向与对应的一阶光栅矢量相同的方向,但是具有两倍的幅度。因此,如图24J所示,由k空间环中的4点钟位置处的FOV矩形表示的传播模式中的光束可以由第一CPE区域2455a二阶衍射为由k空间的10点钟位置处的FOV矩形表示的传播模式。类似地,由k空间环中的8点钟位置处的FOV矩形表示的传播模式中的光束可由第二CPE区域2455b二阶衍射为由k空间的2点钟位置处的FOV矩形表示的传播模式。从2点钟和10点钟位置,CPE区域2455的一阶衍射可导致处于由12点钟位置处的FOV矩形表示的传播模式中的光束。

[0467] 与二阶衍射路径相关联的k空间环中的10点钟、12点钟和2点钟位置处的传播模式仍然可耦出到用户的眼睛。例如,由k空间环中的10点钟位置处的FOV矩形表示的传播模式中的光束可以由第一CPE区域2455a一阶衍射为由k空间环的中心的FOV矩形表示的耦出光束。类似地,由k空间环中的2点钟位置处的FOV矩形表示的传播模式中的光束可以由第二CPE区域2455b一阶衍射为由k空间环的中心的FOV矩形表示的耦出光束。

[0468] 图24K是示出光束如何通过图24A所示的目镜波导2400传播的图。从ICG区域2440在-y方向上传播的进入CPE区域2455的被引导的光束被复制成多个光束,一些在±y上传进(对应于k空间环中的6点钟和12点钟位置处的FOV矩形),一些相对于y轴以±60°行进(对应于k空间环中的2点钟和10点钟位置处的FOV矩形),以及一些相对于y轴以±120°行进(对应

于k空间环中的4点钟和8点钟位置处的FOV矩形)。以这种方式,光束横向扩展到整个目镜波导2400中。

[0469] 图25A是具有单个2D组合光瞳扩展器-提取器(CPE)光栅区域2555的示例目镜波导2500的边缘视图。单个2D CPE区域2555以类似于图24A中所示的两个1D CPE区域2455a、2455b的组合操作的方式操作。例如,CPE区域2555在目镜波导2500内横向扩展光,类似于OPE区域,并且它还从目镜波导2500提取光,类似于EPE区域。

[0470] 尽管图25A中的单个2D CPE区域2555以与图24A中的两个1D CPE区域2455a、2455b类似的方式共同操作,但是其具有独特的结构,因为其由在两个或两个以上方向上展现周期性的衍射特征组成,而图24A中的1D CPE区域2455a、2455b中的每一个由在单个方向上具有周期性的衍射特征组成。由于图25A中的2D CPE区域2555可以执行由图24A中的两个1D CPE区域2455a、2455b共同执行的操作,因此它可以形成在目镜波导2500的单侧上或中,而图24A中的CPE区域2455a、2455b分别形成在目镜波导2400的两侧上或中。

[0471] 图25A中的CPE区域2555是单面2D设计的事实-与图24A的双面1D设计相反-在制造方面可能是有利的,因为仅在一侧具有光栅的目镜波导(例如,2500)可能比在两侧具有光栅的目镜波导(例如,2400)制造更不复杂。例如,图24A的双面设计的制造可能涉及获得光栅2455a相对于相对侧的光栅2455b的精确角度对准的过程,而图25A的单面设计的制造商可能省略那些角度对准过程。图25A中的单面设计的一些实施例还可以在光学性能方面提供某些优点,因为在目镜波导的相对侧的光栅之间不存在角度失准的风险-以及由此导致的降低光学性能。

[0472] 图25A所示的目镜波导2500可以使用由光学透射材料制成的衬底形成。目镜波导2500具有面向眼睛侧2500a和面向外侧2500b。在目镜波导2500的示出实施例中,在目镜波导2500的顶部中心处提供ICG区域2540,并且CPE区域2555提供在面向眼睛侧2400a的ICG区域2540下面。然而,其他配置是可能的。例如,CPE区域2555和/或ICG区域2540可替代地提供在目镜波导2500的面向外侧2500b,使得ICG和CPE区域在反射或透射模式中起作用。另外,如在其他实施例中,ICG区域可以定位在其他位置处,诸如目镜波导2500的颞侧或内侧。

[0473] 在一些实施例中,ICG区域2540是在目镜波导2500的表面上或内形成的衍射光栅(例如,在面向眼睛侧2500a)。ICG区域2540从输入设备(诸如投影仪)接收输入光束集合。如本文其他地方所描述的,输入光束可以通常在 $\pm z$ 方向上从输入设备传播,直到它们入射在ICG区域2540上。ICG区域2540衍射那些输入光束,使得至少一些进入目镜波导2500内的被引导的传播模式。

[0474] ICG区域2540内的衍射光栅的示出的实施例具有一维周期性(即,它是1D光栅)。ICG区域2540的光栅线可以被取向,以将衍射光束中的一些在 $-y$ 方向上朝向CPE区域2555引导。因此,在示出的实施例中,ICG区域2540包括在 $\pm x$ 方向上延伸并在 $\pm y$ 方向上周期性重复的衍射线。如本文其他地方所描述的,可以在组成ICG区域2540的衍射线之间设置间距,以便将输入光束耦合到目镜波导2500内的被引导的传播模式中。然后,来自ICG区域2540的衍射光束经由TIR朝向CPE区域2555传播。

[0475] 图25A中的CPE区域2555具有二维周期性(即,它是2D光栅)。2D光栅2555具有对应的k空间光栅矢量集合,该k空间光栅矢量集合包括图24A至图24K的设计中的两个CPE区域2455a、2455b的光栅矢量。在一些实施例中,图25A中的CPE区域2555包括由来自图24A至图

24K的CPE区域2455a和CPE区域2455b的叠加所创建的交叉光栅。在一些实施例中,图25A中的CPE区域2555由位于(例如,居于)交点2556处的衍射特征的阵列组成,其中如果叠加,则CPE区域2455a和CPE区域2455b的线光栅将交叉。

[0476] 如上文已经讨论的,图24A至图24K中的CPE区域2455a可以是由相对于y轴以 -30° 的角度取向的衍射线组成的1D衍射光栅。该1D光栅对应于图25B中标记为光栅矢量G的k空间光栅矢量。同时,CPE区域2455b可以是由相对于y轴以 $+30^\circ$ 的角度取向的衍射线组成的1D衍射光栅。该1D光栅对应于图25B中标记为光栅矢量H的k空间光栅矢量。CPE区域2455a的1D光栅与CPE区域2455b的1D光栅之间以及那些光栅中的每一个与ICG区域2440的1D光栅之间的相对角度基本上是 60° (即, $60^\circ \pm 5^\circ$ 、或 $60^\circ \pm 3^\circ$ 、或 $60^\circ \pm 1^\circ$ 、或 $60^\circ \pm .5^\circ$ 、或 $60^\circ \pm .1^\circ$)。因此,图24A至图24K中的CPE区域2455a、2455b的k空间光栅矢量G、H同样以相对于彼此基本上 60° 取向。图25A中的CPE区域2555的2D光栅同样具有这些相同的一阶光栅矢量G和H(除了对应于 $\pm G$ 和 $\pm H$ 的和的高阶光栅矢量之外)。

[0477] 除了相对于彼此以基本上 60° 取向之外,CPE区域2555的2D光栅的一阶光栅矢量G、H也相对于ICG区域2540的光栅矢量以基本上 60° 取向。此外,CPE区域2555的2D光栅可设计有空间周期性,使得其一阶光栅矢量G、H在幅度上基本上等于ICG区域2540的一阶光栅矢量。关于图25B描述了CPE区域2555在来自ICG区域2540的被引导的光束上的操作。

[0478] 图25B示出了物理空间和k空间中的2D CPE区域2555的操作。在图25B的顶部示出了目镜波导2500的物理图。在图25B的底部示出了ICG区域2540和CPE区域2555的操作的k空间图KSD1。

[0479] 如已经讨论的,输入光束集合从输入设备(诸如投影仪)入射在目镜波导2500的ICG区域2540上。该输入光束集合由k空间图KSD1的中心所示的FOV矩形表示。ICG区域2540中的衍射光栅具有指向 $\pm k_y$ 方向的相关的正和负光栅矢量。因此,ICG区域2540的k空间操作是将中心FOV矩形移动到k空间图KSD1上的6点钟和12点钟位置。(12点钟位置处的FOV矩形对应于在+y方向上传播的光束。由于那些光束从其上边缘离开目镜波导2500,因此该特定FOV矩形未被示出,并且那些光束未被进一步讨论。)可以基于衍射线的间距和光的波长来设置ICG光栅矢量的长度,使得六点钟位置处的平移FOV矩形完全位于k空间环内。

[0480] 为了便于说明,图25B的顶部的物理图仅示出了来自ICG区域2540的被引导的光束之一(即,对应于位于k空间图KSD1的六点钟位置处的FOV矩形中的中心k矢量的被引导的光束2541)。然而,应当理解,将存在许多被引导的输入光束,其中的每一个将对应于位于KSD1的k空间环中的6点钟位置的FOV矩形内的不同k矢量。

[0481] 来自ICG区域2540的被引导的光束2541在-y方向上向下传播通过目镜波导2500,以TIR在面向眼睛侧2500a的表面和面向外侧2500b的表面之间来回反射。每次被引导的光束2541从面向眼睛侧2500a反射时,其可与CPE区域2555相互作用。可以设置CPE区域2555的衍射效率,使得每个光束的功率的仅一部分利用这些相互作用中的每一个而衍射。例如,在一些实施例中,CPE区域2555的衍射效率是10%或更低。CPE区域2555的衍射效率可以通过例如衍射特征的蚀刻深度来确定。例如,在一些实施例中,衍射特征的高度可以在约5nm到约200nm的范围内。在一些实施例中,衍射特征的高度可以在从刚大于零到被引导的光束2541的半波长的范围内。

[0482] 图25B的顶部的物理图示出了被引导的光束2541与CPE区域2555的相互作用,其使

得光通过目镜波导2500在 $\pm x$ 方向二者上横向扩展。当被引导的光束2541在 $-y$ 方向上向下传播通过目镜波导2500时,在与CPE区域2555的每次相互作用期间,其功率的部分相对于 y 轴以 $\pm 120^\circ$ 角衍射。被引导的光束2541的功率的剩余部分继续在 $-y$ 方向上向下传播直到与CPE区域2555的下一次相互作用,其中其功率的部分再次以相同的 $\pm 120^\circ$ 角衍射。该过程产生多个间隔开的衍射光束2556a、2556b,其分别相对于 y 轴以 $+120^\circ$ 角和 -120° 角传播通过目镜波导2500。以 $+120^\circ$ 角传播的衍射光束2556a由位于 k 空间图KSD1中的8点钟位置处的FOV矩形表示,而以 -120° 角传播的衍射光束2556b由位于4点钟位置处的FOV矩形表示。

[0483] 参考图25B的底部的 k 空间图KSD1,相对于 k_y 轴指向 $+60^\circ$ 的一阶光栅矢量 G 将FOV矩形从六点钟位置(其对应于从ICG区域2540向下传播的被引导的光束)移动到八点钟位置(其对应于相对于 y 轴以 $+120^\circ$ 传播的衍射光束2556a)。类似地,相对于 k_y 轴指向 -60° 的一阶光栅矢量 H 将FOV矩形从六点钟位置(其对应于从ICG区域2540向下传播的被引导的光束)移动到4位置(其对应于相对于 y 轴以 -120° 角传播的衍射光束2556b)。

[0484] 一旦来自ICG区域2540的被引导的光束与CPE区域2555相互作用并衍射到由 k 空间图KSD1的4点钟和八点钟位置处的FOV矩形表示的传播状态,然后,当它们被引导通过目镜波导2500时,它们在后续TIR反弹时再次与CPE区域2555相互作用。光束2556a和2556b与CPE区域2555的后续相互作用可导致它们从目镜波导2500耦出向用户的眼睛。耦出光束2557在图25B的顶部的目镜波导2500的物理图中示出为圆点,指示那些光束在 z 方向上传播到页面外。可以通过参考 k 空间图KSD1来理解由CPE区域2555对光束2556a、2556b的耦出。

[0485] 相对于 y 轴指向 -60° 的一阶光栅矢量将FOV矩形从八点钟位置(其对应于相对于 y 轴以 $+120^\circ$ 角传播的衍射光束2556a)移动到 k 空间图KSD1的中心(其对应于在目镜波导2500内不再处于被引导的传播模式的耦出光束)。类似地,相对于 y 轴指向 $+60^\circ$ 的一阶光栅矢量将FOV矩形从四点钟位置(其对应于相对于 y 轴以 -120° 角传播的衍射光束2556b)移动到 k 空间图KSD1的中心(其对应于在目镜波导2500内不再处于被引导的传播模式的耦出光束)。

[0486] 图25B的顶部的物理图示出光束2556a、2556b与CPE区域2555的后续相互作用如何导致多个间隔开的耦出光束2557。当光束2556a、2556b相对于 y 轴以 $\pm 120^\circ$ 角传播时,其功率的部分通过与CPE区域2555的每次后续相互作用来耦出。光束2556a、2556b的功率的剩余部分继续相对于 y 轴以 $\pm 120^\circ$ 角度传播,直到与CPE区域2555的下次相互作用,其中那些光束的功率的另一部分被耦出。该过程产生多个间隔开的耦出光束2557,其在不同的空间位置离开目镜波导2500并向用户的眼睛传播。如已经注意的,这些耦出光束2557由位于 k 空间图KSD1的中心的FOV矩形表示。

[0487] 另外,尽管在图25B中未示出,但是光也可以以图24J所示的方式传播通过目镜波导2500。也就是说,由于高阶衍射,光也可以在由 k 空间环的2点钟、10点钟和12点钟位置处的FOV矩形表示的方向上传播。

[0488] 如图25B中的 k 空间图KSD1所示,光束沿着基本上类似于等边三角形的 k 空间中的路径通过目镜波导2500传播。这些基本上等边的三角形路径允许CPE区域2555在目镜波导2500中横向扩展光和将光从目镜波导耦出到用户的眼睛。

[0489] 图26A是在其每一侧具有2D组合光瞳扩展器-提取器(CPE)光栅区域2655的示例目镜波导2600的边缘视图。2D CPE区域2655a、2655b中的每一个可以类似于图25A至图25B的2D CPE区域2555。例如,CPE区域2655a可以是位于目镜波导2600的面向眼睛侧2600a的CPE

区域2555的实例,而CPE区域2655b可以是位于面向外侧2600b的CPE区域2555的实例。两个2D CPE区域2655a、2655b可以在x和y方向上部分或全部重叠,并且可以彼此成角度对准。在目镜波导的两侧都具有2D CPE区域2655的双面实施例与图25A至图25B的单面实施例类似地运行。在k空间中,图26A的双面实施例的操作与图25A中的单面实施例的操作相同。然而,与单面实施例相比较,双面实施例确实增加了输出光束的密度。增加的输出光束密度可用于解决图26B和图26C所示的设计复杂性。

[0490] 图26B示出了所谓的“屏蔽门效应”,其是与来自目镜波导的输出光束的密度相关的图像伪影。图26B中的顶面板示出了在顶表面上具有衍射光栅的目镜波导2600。被引导的光束2656被示出经由TIR通过目镜波导传播。在被引导的光束2656与衍射光栅的每次相互作用的位置处,输出光束2657从目镜波导2600耦出。如果用户眼睛的入射光瞳碰巧与输出光束2657中的一个对准,如图26B的顶面板中所示,那么用户将看到亮点。(注意:目镜波导2600、光束2656、2657和眼睛的入射光瞳的相应尺寸不一定按比例绘制。)

[0491] 图26B的底面板示出了相同的目镜波导2600,但是这次被引导的光束2656和输出光束2657对应于正在显示的输出图像的视场的不同区域。因此,输出光束2657以不同的角度离开目镜波导,使得用户眼睛的入射光瞳不与任何输出光束2657对准。在该实例中,用户将看到暗点。

[0492] 随着输出光束2657的密度增加,对于输出图像的FOV的所有区域,一个或多个将始终与眼睛的入射光瞳相交的可能性也增加。因此,具有更高密度的输出光束2657的目镜波导设计可能是有利的。

[0493] 屏蔽门效应的严重性取决于多个因素,包括光束的直径和目镜波导2600的厚度。用于增加输出光束2657的密度的一种技术是减小目镜波导的厚度。如从图26B明显的,如果目镜波导2600的厚度较小,则被引导的光束2656将在与衍射光栅的相互作用之间在x方向上行进较短的距离,并且输出光束2657的密度将增加。如果假设约1mm的光束直径,则目镜波导2600的厚度是325 μm 或更小可能是有利的,以避免不可接受程度的屏蔽门效应。然而,减小目镜波导2600的厚度可能导致其他困难,如图26C所示。

[0494] 图26C示出了输入耦合光栅再反弹,其是使得光从目镜波导不利地丢失的效应。图26C示出了具有输入耦合光栅(ICG)的目镜波导2600。输入光束2602入射在ICG上并由ICG耦合到被引导的传播模式。产生的被引导的光束2656然后经由TIR通过目镜波导2600传播。取决于各种因素,包括ICG的大小、目镜波导2600的厚度和光束直径,被引导的光束2656可在从目镜波导2600的相对表面反射之后与ICG相互作用。图26C示出了该情况。在被引导的光束2656与ICG之间发生该相互作用的区域被标记为再反弹区域。

[0495] 在再反弹区域中,被引导的光束2656的功率中的一些可以从目镜波导2600耦出。例如,如果输入光束2602通过ICG的+1衍射级耦合到目镜波导2600中,则如果-1衍射级随后在再反弹区域与ICG相互作用,则其将耦出光束。ICG通常设计有高衍射效率,以便尽可能多地耦合光,但是该高衍射效率也导致再反弹区域中的强耦出。因此,ICG再反弹导致损失光和降低效率。

[0496] 可以通过增加目镜波导的厚度减小ICG再反弹效应。如从图26C明显的,如果目镜波导2600的厚度较大,则被引导的光束2656将在从ICG衍射之后并且在返回ICG位于的目镜波导2600的表面之前x方向上行进较大的距离。这将减小再反弹区域的大小,或者甚至完

全消除它。如果假设约1mm的光束直径,则目镜波导2600的厚度是650 μm 或更大可能是有利的,以避免再反弹。

[0497] 如图26B和图26C所示,目镜波导2600的厚度影响屏蔽门效应和ICG再反弹效应二者的严重性,但以相反方式。减小目镜波导2600的厚度减少屏蔽门效应,但是恶化ICG再反弹。增加目镜波导2600的厚度减少ICG再反弹,但是恶化屏蔽门效应。因此,在一些实施例中,将目镜波导2600的厚度确定大小足够大以避免ICG再反弹,同时仍将屏蔽门效应限制于可接受的程度将是有利的。这可以通过增加由给定厚度的目镜波导支持的输出光束2657的密度来实现。并且这精确地是由图26A所示的目镜波导2600的双面实施例实现的。

[0498] 图26D示出了图26A中的双面2D CPE光栅如何增加来自目镜波导2600的输出光束的密度。图26D中的顶面板示出了对于输出图像的FOV的中心部分如何减小屏蔽门效应,而底面板示出了对于输出图像的FOV的外围部分如何减小屏蔽门效应。

[0499] 图26D中的顶面板示出了通过目镜波导2600传播的被引导的光束2656。在图26D的顶面板中,被引导的光束2656对应于位于由目镜波导2600显示的图像的FOV矩形的中心的k矢量。第一2D CPE光栅2655a提供在目镜波导的顶表面上,以及第二2D CPE光栅2655b提供在底表面上。输出光束2657a由被引导的光束2656与目镜波导2600的顶表面上的CPE光栅2655a之间的相互作用产生,而输出光束2657b由被引导的光束2656与底表面上的CPE光栅2655b之间的相互作用产生。由于输出光束2655a、2655b对应于输出图像的FOV的中心,因此它们垂直于其表面而离开目镜波导。如图26D所示,输出光束2657a和2657b在x方向上的交替位置处离开目镜波导2600。因此,输出光束的密度增加。

[0500] 图26D中的底面板也示出了通过目镜波导2600传播的被引导的光束2656。在图26D的底面板中,被引导的光束2656对应于位于由目镜波导2600显示的图像的FOV矩形的周边的k矢量。第一2D CPE光栅2655a提供在目镜波导的顶表面上,以及第二2D CPE光栅2655b提供在底表面上。输出光束2657a由被引导的光束2656与目镜波导2600的顶表面上的CPE光栅2655a之间的相互作用产生,而输出光束2657b由被引导的光束2656与底表面上的CPE光栅2655b之间的相互作用产生。由于输出光束2655a、2655b对应于输出图像的FOV的周边,因此它们以一定角度离开目镜波导。如图26D所示,输出光束2657a和2657b在x方向上的交替位置处离开目镜波导2600。因此,输出光束的密度增加。

[0501] 图26E示出了图24A(双面1D CPE区域)、图25A(单面2D CPE光栅)和图26A(双面2D CPE光栅)所示的目镜波导的输出光束2657的密度。实线表示经由TIR从目镜波导的表面A(例如,面向眼睛的表面)传播到表面B(例如,面向外的表面)的光束,而虚线表示从表面B传播到表面A的光束。实线变为虚线或反之亦然的一个点表示光束与目镜波导的表面中的一个的相互作用。

[0502] 左面板示出了图24A的双面实施例的输出光束2457的密度,其使用1D CPE光栅2455a、2455b。在该实施例中,1D CPE光栅2455a、2455b将被引导的光束2441分为间隔开的衍射光束2456的分支,但这仅在每隔一个表面相互作用时发生。然后那些衍射光束2456中的每一个的一部分作为输出光束2457与每隔一个表面相互作用耦出。

[0503] 中间面板示出了图25A的单面实施例的输出光束2557的密度,其使用目镜波导2500的一侧的2D CPE光栅2555。在该实施例中,2D CPE光栅2555将被引导的光束2541分为间隔开的衍射光束2556的分支,并且在每隔一个表面相互作用时产生两个分支。然后那些

衍射光束2556中的每一个的一部分作为输出光束2557与每隔一个表面相互作用耦出。

[0504] 右面板示出了图26A的双面实施例的输出光束2657的密度,其在目镜波导2600的两侧使用2D CPE光栅2655a、2655b。在该实施例中,CPE光栅2655a、2655b将被引导的输入光束2641分为间隔开的衍射光束2656的分支,并且在每个表面相互作用而不是每隔一个表面相互作用时产生两个分支。另外,然后那些衍射光束2656中的每一个的一部分作为输出光束2557与每个表面相互作用而不是每隔一个表面相互作用而耦出。因此,图26A的双面实施例使在x方向和y方向上的输出光束2557的密度加倍。当与图25A中的单面设计相比较时,这导致每单位面积的输出光束2557的密度增加4倍。

[0505] 由于具有2D CPE光栅2655a、2655b的双面目镜波导2600的输出光束2557的密度的增加,该设计可用于限制屏蔽门效应的严重性,同时仍然允许目镜波导2600足够厚以减少或消除ICG再反弹。例如,在一些实施例中,目镜波导2600可以与输入光束直径的约三分之一(例如±10%或±20%或±30%)一样厚。

[0506] 图26F示出了由具有2D CPE光栅的目镜波导产生的示例模拟图像;示出了用于图25A的单面实施例和图26A的双面实施例二者的情况的图像。图像i)和ii)由图25A的单面实施例产生。图像i)使用LED光源(具有约20nm的光谱)创建,而图像ii)使用激光光源(具有约2nm的光谱)创建。LED图像比激光图像具有更好的均匀性-由于来自LED的较宽带宽的拖尾效应-但是高频屏蔽门效应存在于这两个图像中。

[0507] 图像iii)和iv)由图26A的双面实施例产生。图像iii)使用LED光源创建,而图像iv)使用激光光源创建。存在由图26A的双面实施例产生的图像中的高频屏蔽门伪影的清楚减少。该屏蔽门伪影的减少可归因于针对双面实施例的增加的输出光束密度。

[0508] 通过分割在多个目镜波导中的图像的一个或多个颜色分量的每个FOV的FOV扩展

[0509] 如上文已经讨论的,本公开中的各种AR目镜波导可以使用衍射特性来耦入来自外部源(例如,来自投影仪)的光,使得光经由全内反射在目镜波导中传播。根据k空间描述,来自外部源的光束对应于k矢量集合。该k矢量集合的k空间尺寸由来自外部源的输入图像的视场(FOV)来确定。通过衍射特征将输入光束耦入到目镜波导中导致自由空间输入光束的k矢量被转换到对应于目镜波导的k空间环中。其k矢量通过衍射特征而转换到k空间环中的任何光束可以在目镜波导中以被引导的方式传播。

[0510] 目镜波导的k空间环的宽度-其取决于形成目镜波导的材料的折射率-确定了k矢量的范围-并且,因此,传播角度的范围-其可在目镜波导内被引导。因此,目镜波导的折射率及其k空间环的对应宽度通常被认为对可由目镜波导投射的最大FOV施加限制。本公开描述了用于增加由目镜波导投射的图像的FOV的技术,不管由折射率施加的限制。

[0511] 例如,图19至图23K示出了输入图像的FOV被分割成k空间中的多个不同子部分的实施例。对应于输入图像FOV的每个子部分的光束沿着通过目镜波导的不同路径进行路径选择,并且然后图像FOV的子部分在目镜波导的输出处被适当地重新组合。如已经讨论的,由图19至图23K所示的技术可在单个目镜波导中实现。现在,本公开的本章节将公开用于增强两个或两个以上目镜波导堆叠的最大图像FOV的技术。例如,将由目镜波导堆叠所显示的输入图像的颜色分量的FOV可以使用,例如,在堆叠中的目镜波导上或中形成的输入耦合光栅(ICG)区域的衍射特征,来在k空间中分割成多个不同的子部分。然后,图像FOV的子部分可以通过堆叠中的不同目镜波导而选择路径;图像FOV的每个不同k空间子部分可以从堆叠

中的目镜波导中的一个输出,并且FOV的k空间子部分可以在目镜波导堆叠的输出处适当地重新组合,以重新创建图像的完整FOV。本公开的本章节中所描述的技术可以单独或者组合本文其他地方所描述的任何技术实现。

[0512] 图27A示出了具有增强FOV的目镜波导堆叠的示例实施例。通过将输入图像的每个颜色分量的FOV的不同子部分通过堆叠中的不同目镜波导的分割传播,使FOV增强可能。图27A中的目镜波导堆叠包括三个单独目镜波导:第一目镜波导2700a、第二目镜波导2700b和第三目镜波导2700c。单独目镜波导2700a、2700b、2700c可各自具有相同的尺寸,并且参考图中所示的坐标轴,可布置在平行于x-y平面的平面中,通常在x和y方向上对准。然而,在其他实施例中,目镜波导2700a、2700b、2700c可以具有不同的尺寸和/或对准。目镜波导2700a、2700b、2700c在z方向上由空气间隙或低折射率材料分离。尽管图27A示出了三个目镜波导的堆叠,但是在其他实施例中,可以使用两个或两个以上(例如,2、3、4、5、6、7、8、9个波导的堆叠等)。

[0513] 第一目镜波导2700a被指定为“第一”,因为它在来自外部源(例如,投影仪,诸如本文所描述和示出的投影仪系统520)的光的输入光束2702、2704、2706的光路(通常沿着z轴)中是第一的。类似地,第二目镜波导2700b被指定为“第二”,因为它沿着输入光束2702、2704、2706的光路是第二的,而第三目镜波导2700c被指定为“第三”,因为它沿着该光路是第三的。

[0514] 第一目镜波导2700a包括ICG区域2740a。第一目镜波导2700a的ICG区域2740a由这样的衍射特征组成,其被设计为耦入从外部源提供的输入图像的至少一个颜色分量的输入光束的至少一部分。类似地,第二目镜波导2700b包括ICG区域2740b,以及第三目镜波导2700c包括ICG区域2740c,其同样地具有这样的衍射特征,其被设计为将用于输入图像的至少一个颜色分量的输入光束的至少一部分,耦入到那些相应目镜波导中。在图27A所示的实施例中,ICG区域2740a、2740b、2740c彼此横向对准,并且每个ICG区域被设计为接收来自输入图像的所有三个颜色分量的输入光束。这种类型的配置非常适合在采用同轴投影仪光瞳的系统中使用。

[0515] 类似于本文所描述的其他ICG区域,ICG区域2740a、2740b、2740c可各自由诸如线光栅的衍射特征组成。ICG区域2740a、2740b、2740c中的每一个具有指向光栅的周期性方向的至少一个对应的k空间光栅矢量(例如,一阶光栅矢量)。ICG区域2740a、2740b、2740c中的每一个的一阶光栅矢量的幅度与其衍射特征的空间周期 Λ 成反比。因此,ICG区域2740a、2740b、2740c中的每一个的衍射效应部分地由其相应的空间周期性确定。给定ICG区域的衍射效应也部分取决于输入光的波长,如下文进一步讨论的。例如,与具有相对短波长的高频光(例如蓝光)相比较,给定空间周期 Λ 将显得更大,并且因此将以比具有较长波长的低频光(例如红光)更小的角度来衍射这样的光。相反地,与具有相对长波长的低频光(例如红光)相比较,空间周期 Λ 将显得更小,并且因此将以比具有较短波长的高频光(例如蓝光)更大的角度来衍射这样的光。

[0516] 在一些实施例中,第一目镜波导2700a具有大的一阶光栅矢量,并且可以交替地被称为大-光栅-矢量层或目镜波导2700a。第二目镜波导2700b可以具有中等大小一阶光栅矢量,并且可以交替地被称为中-光栅-矢量层或目镜波导2700b。第三目镜波导2700c可以具有小的一阶光栅矢量,并且可以交替地被称为小-光栅-矢量层或目镜波导2700c。在该上下

文中,术语大光栅矢量、中光栅矢量和小光栅矢量旨在仅指定对应于目镜波导2700a、2700b、2700c的相应ICG区域2740a、2740b、2740c的一阶光栅矢量的相对幅度;这些术语不旨在暗示针对任何ICG区域的任何特定光栅矢量幅度。

[0517] 由于第一目镜波导2700a具有最大光栅矢量,因此其ICG区域2740a的衍射特征具有最细的节距(即,最小空间周期性)。相反,由于第三目镜波导2700c具有最小光栅矢量,因此其ICG区域2740c的衍射特征具有最大的节距(即,最大空间周期性)。第二目镜波导2700b的ICG区域2740b的衍射特征的空间周期性在ICG区域2740a和ICG区域2740c的空间周期性之间。

[0518] 图27A示出了从外部源正常入射在目镜波导堆叠上的光的输入光束2702、2704、2706的示例。输入光束2702、2704、2706中的每一个表示来自外部源的输入图像的颜色分量。示出了红光的输入光束2702(例如 $625\text{nm} \pm 20\text{nm}$,具有50nm或更小的带宽)、绿光的输入光束2704(例如 $525\text{nm} \pm 20\text{nm}$,具有50nm或更小的带宽)和蓝光的输入光束2706(例如 $455\text{nm} \pm 20\text{nm}$,具有50nm或更小的带宽),尽管也可以使用其他颜色组件。尽管仅示出了用于每个颜色分量的单个输入光束,但是每个光束旨在表示输入图像的对应颜色分量(例如,红色、绿色、蓝色)的整个FOV的所有输入光束。例如,输入光束2702表示针对输入图像红色分量的所有输入光束。类似地,输入光束2704表示针对输入图像绿色分量的所有输入光束,以及光束2706表示针对输入图像蓝色分量的所有输入光束。

[0519] 如图所示,输入光束2702、2704、2706中的每一个首先入射在大-光栅-矢量目镜波导2700a的ICG区域2740a上。ICG区域2740a形成在第一目镜波导2700a上或中。在示出的实施例中,ICG区域2740a是形成在大-光栅-矢量目镜波导2700a的后表面上的部分反射、部分透射衍射光栅。其他类型的衍射光栅和位置(例如,目镜波导2700a的前表面)也可用于ICG区域2740a。

[0520] 如下文关于图27C至图27E进一步描述的,ICG区域2740a可设计以使得其仅将由红光的输入光束2702所表示的光束中的一些(或甚至可能没有)衍射为第一目镜波导2700a内的被引导的传播模式。重要的是再次注意输入光束2702表示针对输入图像红色分量的所有输入光束。在物理空间中,那些光束中的每一个具有对应于输入图像中的点的不同的传播角度。在k空间中,这意味着那些光束中的每一个具有位于定义输入图像的FOV的形状(例如,矩形)内的k矢量。输入光束2704相对于绿光的输入光束也是如此,以及输入光束2706相对于蓝光的输入光束也是如此。ICG区域2740a可设计以使得其同样仅将由绿光的输入光束2704所表示的光束中的一些(或可能甚至没有)衍射为第一目镜波导2700a内的被引导的传播模式,以及使得其仅将由蓝光的输入光束2706所表示的光束中的一些(或可能甚至没有)衍射为被引导的传播模式。

[0521] 在一些实施例中,输入图像的FOV可以足够大,使得其具有大于对应于第一目镜波导2700a的k空间环的宽度的至少一个k空间尺寸(例如,在ICG区域2740a的光栅矢量的方向上的k空间尺寸)(即,输入图像的FOV比可在TIR中支持的波导厚度方向上的传播角度范围更宽)。ICG区域2740a可设计有产生一阶光栅矢量的特征节距,该一阶光栅矢量具有这样的幅度,其将对应于分别由输入光束2702、输入光束2704和输入光束2706所表示的光束的k矢量中的一些(或可能甚至全部)平移到位于k空间环之外的位置-例如,超出其外周长-用于第一目镜波导2700a。其k矢量由ICG区域2740a的一阶光栅矢量而平移到k空间环的那些光

束由ICG区域2740a衍射并且进入第一目镜波导2700a内的被引导的传播模式。(然而,应当理解,在一些实施例中,ICG区域2740a可以具有小于100%的衍射效率(例如,5-90%)。因此,甚至在ICG区域2740a可在第一目镜波导2700a内衍射为被引导的传播模式的那些输入光束的情况下,那些光束的一些百分比的功率可被衍射,而那些光束的剩余百分比的功率可继续朝向第二目镜波导2700b。)其k矢量不由ICG区域2740a的一阶光栅矢量平移到用于第一目镜波导2700a的k空间环的那些输入光束不由ICG区域2740a衍射并且相反继续朝向第二目镜波导2700b。

[0522] 因此,红光光束(由输入光束2702表示)与ICG区域2740a之间的相互作用可导致进入被引导的传播模式的一些一阶衍射光束,如在图27A中由一阶衍射红光光束2702a所表示的。不由ICG区域2740a衍射的红光光束简单地继续朝向第二目镜波导2700b,如由输入光束2702的继续部分所表示的。以类似方式,绿色光束(由输入光束2704表示)和蓝色光束(由输入光束2706表示)与ICG区域2740a的相互作用同样可导致进入第一目镜波导2700a内的被引导的传播模式的一些一阶衍射绿色和蓝色光束,如在图27A中分别由绿色和蓝色一阶衍射光束2704a、2706a所表示的。不由ICG区域2740a衍射的绿色和蓝色光束继续朝向第二目镜波导2700b传播,如分别由输入光束2704的继续部分和输入光束2706的继续部分所表示的。

[0523] 在通过第一目镜波导2700a之后,输入光束2702、2704、2706然后传播到第二目镜波导2700b并入射在其ICG区域2740b上。ICG区域2740b被示出为在中-光栅-矢量目镜波导2700b的后表面上或中形成的部分反射、部分透射衍射光栅,尽管也可以使用其他位置(例如,目镜波导2700b的前表面)和光栅类型。

[0524] 类似于ICG区域2740a,ICG区域2740b可设计有产生一阶光栅矢量的特征节距,该一阶光栅矢量具有这样的幅度,其将对应于由输入光束2702、输入光束2704和输入光束2706表示的相应光束集合的k矢量中的一些平移到位于k空间环之外的位置-例如,超出其外周长或在其内周长内-用于第二目镜波导2700b。因此,红光光束(由输入光束2702表示)与ICG区域2740b之间的相互作用可导致进入被引导的传播模式的一些一阶衍射光束,如在图27A中由一阶衍射红光光束2702b所表示的。(再次,然而,在一些实施例中,ICG区域2740b可具有小于100%(例如,5-90%)的衍射效率,使得可耦入的那些光束的一些百分比的功率被衍射,而那些光束的剩余百分比的功率不被衍射。)不由ICG区域2740b衍射的红光光束简单地继续朝向第三目镜波导2700c,如由输入光束2702的继续部分表示的。以类似方式,绿色光束(由输入光束2704表示)和蓝色光束(由输入光束2706表示)与ICG区域2740b的相互作用同样可导致进入第二目镜波导2700b内的被引导的传播模式的一些一阶衍射绿色和蓝色光束,如在图27A中分别由绿色和蓝色一阶衍射光束2704b、2706b所表示的。不由ICG区域2740b衍射的绿色和蓝色光束继续朝向第三目镜波导2700c传播,如分别由输入光束2704的继续部分和输入光束2706的继续部分表示的。

[0525] 为了简单起见,图27A示出了相同红色光束2702、绿色光束2704和蓝色光束2706在大-光栅-矢量目镜波导2700a和中-光栅-矢量目镜波导2700b二者中似乎被衍射为被引导的传播模式。但是,再一次,输入光束2702、2704、2706中的每一个表示对应颜色分量的FOV中的所有光束,并且在实际操作中,每个颜色分量的输入光束集合的不同子集可以在堆叠中的不同目镜波导2700a、2700b、2700c中衍射为被引导的传播模式。

[0526] 来自中-光栅-矢量目镜波导2700b的ICG区域2740b的非衍射光束2702、2704、2706继续到光学滤波器2745上。光学滤波器2745可以位于中-光栅-矢量层2700b的ICG区域2740b与小-光栅-矢量层2700c的ICG区域2740c之间(例如,在第二目镜波导2700b与第三目镜波导2700c之间的间隙中)。在一些实施例中,光学滤波器2745是红色滤波器,该红色滤波器有效吸收至少90%的绿光(由光束2704表示)和至少90%的蓝光(由光束2706表示)。在一些实施例中,针对光学滤波器2745的-3dB截止可位于560-600nm的范围内,尽管也可使用其他位置。光学滤波器2745的目的是吸收否则由ICG区域2740c而二阶衍射为小-光栅-矢量层2700c内的被引导的传播模式的绿光和蓝光,如关于图27C至图27E所示的k空间图进一步讨论的。这样的二阶衍射可能导致伪影,诸如重影图像,并且因此使用光学滤波器2745来防止它们可能是有利的。在一些实施例中,一种或多种光学管芯可添加到用于第三目镜波导2700c的衬底材料。(一种或多种)光学管芯可吸收绿光和蓝光,类似于光学滤波器2745。因此,添加到用于第三目镜波导2700c的衬底材料的(一种或多种)管芯可以代替光学滤波器2745或者附加到光学滤波器2745而使用。附加地和/或可替代地,可通过将ICG区域2740c设计为对于绿光和蓝光具有低二阶衍射效率(例如,小于50%、或40%、或30%、或20%、或10%)来减轻二阶衍射。

[0527] 由于在一些实施例中,绿色和蓝色光束由光学滤波器2745阻挡,因此仅红色光束(由光束2702表示)被示出为入射在第三目镜波导2700c的ICG区域2740c上。ICG区域2740c被示出为形成在第三目镜波导2700c的后表面上的反射衍射光栅。(高反射衍射光栅可用于ICG区域2740c,因为在示出的实施例中,在第三目镜波导2700c后面不存在剩余目镜波导。)例如,可以使用金属化衍射光栅。然而,其他位置和光栅类型也是可能的。

[0528] 类似于ICG区域2740a和2740b,ICG区域2740c可设计有产生一阶光栅矢量的特征节距,该一阶光栅矢量具有这样的幅度,其将对应于由输入光束2702表示的红色光束集合的k矢量中的一些平移到位于k空间环之外的位置-例如在其内周长内-用于第三目镜波导2700c。因此,红光光束(由输入光束2702表示)与ICG区域2740c之间的相互作用可导致进入被引导的传播模式的一些一阶衍射光束,如在图27A中由一阶衍射红光光束2702c所表示的。由ICG区域2740c衍射但未进入被引导的传播模式的红光光束(即,其k矢量被平移到k空间环的内周长内的位置的那些光束)被衍射到自由空间,并且可通过例如适当放置的吸收挡板材料阻止其到达用户。

[0529] 在一些实施例中,ICG区域2740c可具有小于100%(例如,5-90%)的衍射效率,使得一些红光、绿光和/或蓝光可从ICG区域2740c反射回通过目镜波导2700a、2700b、2700c的堆叠。如果在三个目镜波导2700a、2700b、2700c之间存在良好的平行性,则这通常将不基本上使图像退化。在某些设计中,从位于2740c的表面反射的路径可能甚至有利于效率。

[0530] 再一次,在一些实施例中,系统有意被设计有具有k空间尺寸-在ICG区域2740a、2740b、2740c的光栅矢量的方向上-其大于用于目镜波导2700a、2700b、2700c的k空间环的宽度的输入图像FOV。这意味着仅用于输入图像的每个颜色分量的输入光束的子集被耦合到目镜波导2700a、2700b、2700c中的每一个内的被引导的传播模式中。事实上,在一些情况下,对于输入图像的特定颜色分量没有一个输入光束在波导中的一个或多个内被衍射为被引导的传播状态可能是真的。此外,ICG区域2740a、2740b、2740c被设计有产生一阶光栅矢量的特征节距,该一阶光栅矢量具有这样的幅度,其使得用于每个颜色分量的光束的不同

子集衍射为组成堆叠的各种不同目镜波导2700a、2700b、2700c中的被引导的传播模式。下面参考图27C至图27E中的k空间图详细解释这一点。

[0531] 图27A示出了非常适合于输入光束2702、2704、2706经由同轴投影仪光瞳而提供给目镜波导堆叠的情况的ICG区域2740a、2740b、2740c的配置。在这种类型的实施例中,用于输入图像的多个颜色分量的输入光束入射在相同的ICG区域上。但是,也可以使用分割投影仪光瞳配置。这示出在图27B中。

[0532] 图27B示出了具有增强FOV的目镜波导堆叠的另一示例实施例。图27B中的目镜波导堆叠的操作类似于图27A中的操作,例外的是,图27B中的堆叠非常适合于分割投影仪光瞳配置。在这种类型的实施例中,用于输入图像的每个颜色分量的输入光束入射在不同的ICG区域上。例如,用于第一目镜波导2700a的ICG区域2740a可在空间上分为接收红光的输入光束2702的第一部分2740a1、接收绿光的输入光束2704的第二部分2740a2和接收蓝光的输入光束2706的第三部分2740a3。第一部分2740a1、第二部分2740a2和第三部分2740a3中的衍射特征的空间周期 Λ 可以相同。

[0533] 与图27A中的情况一样,每个输入光束2702、2704、2706旨在表示整个输入光束集合-具有不同传播角度-对于输入图像的颜色分量(例如,红色、绿色、蓝色)的FOV。ICG区域2740a1可将红光的输入光束中的一些(或可能没有)耦合到第一目镜波导2700a内的被引导的传播模式中(如由一阶衍射光束2702a所表示的),而ICG区域2740a2可将绿光的输入光束中的一些(或可能没有)耦合到被引导的传播模式中(如由一阶衍射光束2704a所表示的),以及ICG区域2740a3可将蓝光的输入光束中的一些(或可能没有)耦合到被引导的传播模式中(如由一阶衍射光束2706a所表示的)。未耦合到第一目镜波导2700a中的红光、绿光和蓝光的输入光束可以继续到第二目镜波导2700b上。在一些实施例中,ICG区域2740a1是可选的,如关于图27F所讨论的。

[0534] 在第二目镜波导2700b中,ICG区域2740b可在空间上分为接收红光的第一部分2740b1、接收绿光的第二部分2740b2和接收蓝光的第三部分2740b3。在一些实施例中,ICG区域2740b的部分2740b1、2740b2、2740b3可在x和/或y方向上与ICG区域2740a的相应部分2740a1、2740a2、2740a3对准。第二目镜波导2700b中的第一ICG部分2740b1可以是位于第二目镜波导上或中的部分反射、部分透射光栅。相反,第二ICG部分2740b2和第三ICG部分2740b3例如可以是位于第二目镜波导2700b的后表面上的高反射(例如,金属化)光栅;第二和第三ICG部分不需要是透射的-因为与图27A中的情况一样-要防止绿光和蓝光到达第三目镜波导2700c。

[0535] 未耦合到第二目镜波导2700b中的红光的输入光束可以继续到第三目镜波导2700c上。在第三目镜波导2700c中,ICG区域2740c1可以将剩余红光光束中的一些或全部耦合入到第三目镜波导2700c内的被引导的传播状态。

[0536] 图27A和图27B所示的目镜波导堆叠可以用作近眼显示器,诸如用于AR系统。如本文其他地方所描述的,一些近眼显示器由被设计为支持红光($\sim 625\text{nm}$,其中半高全宽(FWHM) $< 50\text{nm}$)的目镜波导、被设计为支持绿光($\sim 525\text{nm}$,其中FWHM $< 50\text{nm}$)的单独目镜波导和被设计为支持蓝光($\sim 455\text{nm}$,其中FWHM $< 50\text{nm}$)的又一单独目镜波导构建。在那些每层单色分量的设计中,每个单独目镜波导可以使用衍射光栅集合,来以全内反射(TIR)在各种方向上从投影仪传播预期颜色分量的整个FOV。然后,每个层可以复制给定颜色分量的投影仪

光瞳,以通过大的适眼区,将虚拟图像递送给用户的眼睛。然而,如图27A和图27B所示的波导叠层是不同的,因为它们被设计以使得输入图像的每个颜色分量的FOV的不同子部分由不同的目镜波导支持;另外,堆叠中的目镜波导2700a、2700b、2700c中的一个或多个(可能甚至全部)可设计为支持超过一个颜色分量的FOV的子部分。这可以通过改变ICG区域的空间周期以允许将每个颜色分量耦合到多个目镜波导中来实现(例如,每个颜色分量的FOV的子部分可以耦合到不同的波导中)。(另外,CPE/EPE/OPE光栅的周期可以相应改变以保证色散补偿。)例如,在一些实施例中,红色输入图像的FOV的不同子部分可以耦合到大和/或中和/或小-光栅-矢量层2700a、2700b、2700c中(例如,耦合到所有三个光栅矢量层中,或者仅耦合到中和小-光栅-矢量层2700b、2700c中,如图27A和图27B所示)。类似地,绿色输入图像和蓝色输入图像的相应FOV的不同子部分可以耦合到大、中和/或小-光栅-矢量层2700a、2700b、2700c中。随后,组合大、中和小-光栅-矢量目镜波导2700a、2700b、2700c的输出可产生图像FOV-针对颜色分量中的一个或多个-其大于在每层单色(single-color-per-layer)配置中可能出现的图像FOV。使用k空间图最容易说明这一点。

[0537] 图27C至图27E包括示出针对三个不同折射率的图27A和图27B所示的目镜波导堆叠的示例实施例的k空间操作的k空间图。在图27C中,目镜波导2700a、2700b、2700c的折射率是 $n=1.5$ 。在图27D中,目镜波导2700a、2700b、2700c的折射率是 $n=1.75$ 。在图27E中,目镜波导2700a、2700b、2700c的折射率是 $n=2.0$ 。针对每个目镜波导2700a、2700b、2700c的k空间环的宽度由该波导的折射率确定。较大的折射率对应于较宽的k空间环。因此,图27E($n=2.0$)中的k空间图的环比图27D($n=1.75$)中的k空间图的环更宽,图27D($n=1.75$)中的k空间图的环比图27C($n=1.5$)中的k空间图的环更宽。

[0538] 图27C至图27E中的左手k空间图示出了第一目镜波导2700a或大-光栅-矢量层的操作。图27C至图27E中的中间k空间图示出了第二目镜波导2700b或中-光栅-矢量层的操作。图27C至图27E中的右手k空间图示出了第三目镜波导2700c或小-光栅-矢量层操作。

[0539] 图27C至图27E中的k空间图中的每一个示出了目镜波导2700a、2700b、2700c中的一个对光的多个颜色分量(即红色、绿色和蓝色)的k空间效应。因此,k空间图中的每一个实际上表示多个k空间图的叠加-一个k空间图用于每个颜色分量。由于k矢量的波长依赖性(即, $k=n\omega/c$),所有k空间图被归一化(按 c/ω 缩放),以保持不同颜色分量的叠加k空间图之间的一致性。归一化的结果在于,图27C至图27E中的k空间图具有等于目镜波导的折射率的半径。然而,归一化还使得用于每个目镜波导的ICG区域的光栅矢量与每个颜色分量的角频率成反比缩放。这意味着用于ICG区域2740a、2740b、2740c的光栅矢量对于每个颜色分量具有不同的幅度。

[0540] 在图27C至图27E中,用于ICG区域2740a、2740b、2740c的缩放光栅矢量被标记为用于红色分量的 GX_R 、用于绿色分量的 GX_G 和用于蓝色分量的 GX_B ,其中X等于目镜波导的数量(对于第一目镜波导2700a, $X=1$;对于第二目镜波导2700b, $X=2$;以及对于第三目镜波导2700c, $X=3$)。从k空间图明显的,具有给定节距的ICG将红光光束平移k空间中的最大距离,继之以绿光光束,并且然后蓝光光束。其原因在于具有较小节距的光栅对光具有更大的衍射效应,并且与较长波长相比较,给定ICG中的衍射特征的节距较小,使得ICG以更大的角度衍射具有较长波长的光(其对应于k空间中的更大的距离)。

[0541] 图27C至图27E中的每个k空间图的中心包括中心FOV矩形(以实线示出),当输入光

束2702、2704、2706从外部源(例如,投影仪)朝向目镜波导2700a、2700b、2700c的堆叠通常在z方向上传播时,该中心FOV矩形包含用于输入光束2702、2704、2706的k矢量。输入光束2702、2704、2706然后与大-光栅-矢量目镜波导2700a的ICG区域2740a相互作用。在k空间中,该相互作用对应于由ICG区域2740a的光栅矢量平移的黑色FOV矩形。

[0542] ICG区域2740a的k空间操作-在大-光栅-矢量层2700a中-由图27C至图27E中的每一个中的左手k空间图示出。红光FOV矩形(以虚线示出)示出了由 G_{1R} 对红色输入光束2702产生的k空间平移, G_{1R} 是针对红光缩放的ICG区域2740a的光栅矢量。在由图27C所示的实施例中, G_{1R} 具有使得所有红光FOV矩形移位到超出k空间环的外周边的位置的幅度。在由图27D和图27E所示的实施例中,然而, G_{1R} 具有使得红光FOV矩形的一部分移位到k空间环内的位置并且剩余部分移位超出k空间环的外周边的幅度。换句话说,在图27D和图27E实施例中, G_{1R} 可设计有使得红光FOV矩形的内边缘移位到k空间环中而外边缘移位超出环的外周边的幅度。平移到k空间环中的k矢量对应于能够在大-光栅-矢量层2700a内被一阶衍射为被引导的传播模式的红光光束。平移超出k空间环的外周边的k矢量对应于不能够由ICG区域2740a衍射并且相反继续朝向中-光栅-矢量层2700b传播的红光光束。

[0543] 继续参考ICG区域2740a的k空间操作-在大-光栅-矢量层2700a中-如图27C至图27E中的每一个中的左手k空间图所示,绿光FOV矩形(以点划线示出)示出了由 G_{1G} 对绿色输入光束2704的产生的k空间平移, G_{1G} 是针对绿光按比例缩放的ICG区域2740a的光栅矢量。在示出的实施例中, G_{1G} 具有使得绿光FOV矩形的一部分移位到k空间环内的位置并且剩余部分移位超出k空间环的外周边的幅度。换句话说, G_{1G} 可设计有使得绿光FOV矩形的内边缘移位到k空间环中而外边缘移位超出环的外周边的幅度。平移到k空间环中的k矢量对应于能够在大-光栅-矢量层2700a内被一阶衍射为被引导的传播模式的绿光光束。平移超出k空间环的外周边的k矢量对应于不能够由ICG区域2740a衍射并且相反继续朝向中-光栅-矢量层2700b传播的绿光光束。

[0544] 继续参考ICG区域2740a的k空间操作-在大-光栅-矢量层2700a中-如图27C至图27E中的每一个中的左手k空间图所示,蓝光FOV矩形(以虚线示出)示出了由 G_{1B} 对蓝色输入光束2706的的k空间平移, G_{1B} 是针对蓝光按比例缩放的ICG区域2740a的光栅矢量。在示出的实施例中, G_{1B} 同样具有使得蓝光FOV矩形的一部分移位到k空间环内的位置并且剩余部分移位超出k空间环的外周边的幅度。换句话说, G_{1B} 可设计有使得蓝光FOV矩形的内边缘移位到k空间环中(例如,环的内周边缘),而外边缘移位超出环的外周边的幅度。平移到k空间环中的k矢量对应于能够在大-光栅-矢量层2700a内被一阶衍射为被引导的传播模式的蓝光光束,而平移超出k空间环的外周边的k矢量对应于不能够由ICG区域2740a衍射并且相反继续朝向中-光栅-矢量层2700b传播的蓝光光束。

[0545] ICG区域2740b的k空间操作-在中-光栅-矢量层2700b中-由图27C至图27E中的每一个中的中间k空间图示出。红光FOV矩形(以虚线示出)示出了由 G_{2R} 对红色输入光束2702产生的k空间平移, G_{2R} 是针对红光缩放的ICG区域2740b的光栅矢量。在示出的实施例中, G_{2R} 具有使得红光FOV矩形的一部分移位到k空间环内的位置并且剩余部分移位超出k空间环的外周边的幅度。换句话说, G_{2R} 可设计有使得红光FOV矩形的内边缘移位到k空间环中而外边缘移位超出环的外周边的幅度。平移到k空间环中的k矢量对应于能够在中-光栅-矢量层2700b内被一阶衍射为被引导的传播模式的红光光束。平移超出k空间环的外周边的k矢量

对应于不能够由ICG区域2740b衍射并且相反继续朝向小-光栅-矢量层2700c传播的红光光束。

[0546] 继续参考ICG区域2740b的k空间操作-在中-光栅-矢量层2700b中-如图27C至图27E中的每一个中的中间k空间图所示,绿光FOV矩形(以点划线示出)示出了由 G_{2G} 对绿色输入光束2704的的k空间平移, G_{2G} 是针对绿光按比例缩放的ICG区域2740b的光栅矢量。在示出的实施例中, G_{2G} 具有使得绿光FOV矩形的外边缘移位到k空间环内的位置(例如到k空间环的外周边缘)的幅度。由FOV矩形在 k_x 方向上大于k空间环的宽度,因此绿光FOV矩形的一部分延伸到k空间图的中心区域中。平移到k空间环中的k矢量对应于能够在中-光栅-矢量层2700b内被一阶衍射为被引导的传播模式的绿光光束。保持在k空间图的中心区域中的k矢量对应于可能已经通过ICG区域2740a衍射为大-光栅-矢量层2700a内的被引导的传播模式的绿光光束(但是其如果它们将到达中-光栅-矢量层2700b,其将由ICG区域2740b衍射但不进入被引导的传播模式-那些绿光光束可能由光学滤波器2745吸收或者由反射光栅2740b2阻止到达小-光栅-矢量层2700c)。

[0547] 最后,继续参考ICG区域2740b的k空间操作-在中-光栅-矢量层2700b中-如图27C至图27E中的每一个中的中间k空间图所示,蓝光FOV矩形(用虚线示出)示出了由 G_{2B} 对蓝色输入光束2706的的k空间平移, G_{2B} 是针对蓝光按比例缩放的ICG区域2740b的光栅矢量。在示出的实施例中, G_{2B} 具有使得蓝光FOV矩形的一部分移位到k空间环内的位置并且剩余部分保持在k空间图的中心区域中的幅度。平移到k空间环中的k矢量对应于能够在中-光栅-矢量层2700b内被一阶衍射为被引导的传播模式的蓝光光束,而保持在k空间图的中心区域中的k矢量对应于可能已经通过ICG区域2740a而衍射为大-光栅-矢量层2700a内的被引导的传播模式的蓝光光束(但是其如果它们将到达中-光栅-矢量层2700b,其将由ICG区域2740b衍射但不进入被引导的传播模式-那些蓝光光束可能由光学滤波器2745吸收或者由反射光栅2740b3阻止到达小-光栅-矢量层2700c)。

[0548] ICG区域2740c的k空间操作-在小-光栅-矢量层2700c中-由图27C至图27E中的每一个中的右手k空间图示出。红光FOV矩形(用虚线示出)示出了由 G_{3R} 对红色输入光束2702产生的k空间平移, G_{3R} 是针对红光缩放的ICG区域2740c的光栅矢量。在示出的实施例中, G_{3R} 具有使得红光FOV矩形的外边缘移位到k空间环中(例如,到k空间环的外周边缘)的幅度。由FOV矩形在 k_x 方向上大于k空间环的宽度,因此红光FOV矩形的一部分延伸到k空间图的中心区域中。平移到k空间环中的k矢量对应于能够在小-光栅-矢量层2700c内被一阶衍射为被引导的传播模式的红光光束。保持在k空间图的中心区域中的k矢量对应于这样的红光光束,其可能已经通过ICG区域2740a的在大-光栅-矢量层内衍射为被引导的传播模式,或者通过ICG区域2740b在中-光栅-矢量层2700b内衍射为被引导的传播模式。在任何这样的红色光束先前未耦入到目镜波导中的一个中的程度上,例如,由于低于100%衍射效率,它们可能被挡板等阻挡。

[0549] 继续参考ICG区域2740c的k空间操作-在小-光栅-矢量层2700c中-如图27C至图27E中的每一个中的右手k空间图所示,绿光FOV矩形(以点划线示出)示出了由 G_{3G} 对绿色输入光束2704的k空间平移, G_{3G} 是针对绿光按比例缩放的ICG区域2740c的光栅矢量。类似地,蓝光FOV矩形(用虚线示出)示出了由 G_{3B} 对蓝色输入光束2706的k空间平移, G_{3B} 是针对蓝光缩放的ICG区域2740c的光栅矢量。如已经讨论的,可以提供光学滤波器2745以防止绿色和

蓝色光束到达ICG区域2740c。然而,如果允许绿色和蓝色光束与ICG区域2740c相互作用,则一阶衍射光束中的一些将进入被引导的传播模式,因为 G_{3G} 和 G_{3B} 会将那些FOV矩形的一部分平移到k空间环中;将保持在k空间图的中心区域中的k矢量对应于可能已经通过ICG区域2740a在大-光栅-矢量层内衍射为被引导的传播模式,或者通过ICG区域2740b在中-光栅-矢量层2700b内衍射为被引导的传播模式的绿光和蓝光光束。

[0550] 图27C至图27E中的每一个中的右手k空间图还示出了小-光栅-矢量层2700c中的ICG区域2740c的二阶衍射效应。二阶衍射使得中心FOV矩形(以实线示出)平移等于每个缩放光栅矢量的两倍的量。绿光FOV矩形(以轻量点划线)示出了通过长度 $2 \cdot G_{3G}$ 的光栅矢量对绿光2704的二阶衍射,而蓝光FOV矩形(以轻量虚线示出)示出了通过长度 $2 \cdot G_{3B}$ 的光栅矢量对蓝光2706的二阶衍射。如图所示,二阶衍射绿光和蓝光FOV矩形的部分(分别以轻量点划线和虚线示出)可以平移到k空间环内的位置,因此产生一些被引导的传播模式。光学滤波器2745可以阻止绿色和蓝色光束与小-光栅-矢量层2700c中的ICG区域2740c相互作用的原因是防止可能导致图像伪影的任何这样的二阶模式。然而,在一些实施例中,如果小-光栅-矢量层2700c中的ICG区域2740c的二阶衍射效率足够低(例如,低于30%、或低于20%、或低于10%、或低于5%),则可以省略光学滤波器2745。

[0551] 图27C至图27E仅示出了将光耦合入目镜波导2700a、2700b、2700c的堆叠中。一旦光被耦合入到目镜波导2700a、2700b、2700c中,根据本公开中所描述的任何其他实施例,它可以由OPE区域、MPE区域、CPE区域和/或EPE区域来处理。在这样的实施例中,可以修改给定目镜波导中的所有衍射光栅的周期,以保持色散补偿。这可以在给定目镜波导中的光栅矢量之和等于零时实现。

[0552] 根据图27A至图27E所示的实施例,目镜波导2700a、2700b、2700c的堆叠可以投射其FOV在至少一个k空间维度上大于波导的k空间环的宽度的图像。这是可能的,因为输入图像的每个颜色分量的FOV被划分为多个k空间子部分,这些子部分由多个相应的目镜波导单独处理。使用本公开的本章节中所描述的技术,可以实现相对宽的FOV:对于 $n=1.5$ 的折射率(图27C),可以实现在对应于输入耦合光栅矢量的方向上高达 41.5° 的FOV(与每层单色分量目镜波导中的 29° 相比较);对于 $n=1.75$ 的折射率(图27D),可以实现在对应于输入耦合光栅矢量的方向上高达 55.9° 的FOV(与每层单色分量目镜波导中的 44° 相比较);以及对于 $n=2.0$ 的折射率(图27E),可以实现在对应于输入耦合光栅矢量的方向上高达 64.7° 的FOV(与每层单色分量目镜波导中的 60° 相比较)。

[0553] 图27F至图27H示出了根据某些实施例的可耦合入到堆叠中的目镜波导2700a、2700b、2700c中的每一个中的输入图像的每个颜色分量的FOV的子部分,其中每个颜色分量部分地承载在两个目镜波导中。在这些图中,在ICG矢量方向上的输入图像FOV的尺寸大于对应于目镜波导的k空间环的宽度,但是实现本章节中所描述的FOV扩展技术以允许目镜波导堆叠容纳整个图像FOV。

[0554] 在示出的实施例中,输入图像的颜色分量中的每一个部分地由三个目镜波导2700a、2700b、2700c中的两个承载。图27F示出了可耦合入到目镜波导2700a、2700b、2700c中的每一个的输入图像的颜色分量的FOV以及来自波导堆叠的红色输出图像的FOV的子部分。如下文进一步讨论的,在示出的实施例中,红色分量部分在中-光栅-矢量层2700b和小-光栅-矢量层2700c中承载,但是不在大-光栅-矢量层2700a中承载。这可归因于例如图27B中

的大-光栅-矢量层2700a不包括接收红光的输入光束2702的第一ICG部分2740a1。可替代地,其可归因于图27A中的大-光栅-矢量层2700a的ICG区域2740a被设计为具有足够长的光栅矢量 G_{1R} 以将FOV矩形的红色分量平移完全超出k空间环的外周边缘,如图27C所示。同时,图27G和图27H分别示出了来自波导堆叠的绿色和蓝色输出图像的FOV以及可耦合入到目镜波导2700a、2700b、2700c中的每一个的输入图像的绿色和蓝色分量的FOV的子部分。如下文进一步讨论的,在示出的实施例中,绿色和蓝色分量部分由大-光栅-矢量层2700a和中-光栅-矢量层2700b承载,但是不在小-光栅-矢量层2700c中承载。由于光学滤波器2745的存在,小-光栅-矢量层2700c不携带绿色和蓝色分量的任何部分,在一些实施例中,光学滤波器2745阻止绿色和蓝色光到达小-光栅-矢量层2700c。

[0555] 图27F至图27H中的每一个包括四列图。前三列(左到右)中的图中的每一个表示目镜波导2700a、2700b、2700c中的一个中的输入图像的颜色分量中的一个的FOV。在左手侧开始的图的第一列对应于大-光栅-矢量层2700a。图的第二列对应于中-光栅-矢量层2700b。并且,图的第三列对应于小-光栅-矢量层2700c。以黑色示出的FOV的区域未耦合入,而以灰色示出的FOV的区域耦合入。图的第四并且最后一列示出了用于颜色分量输出图像 R_{out} 、 G_{out} 、 B_{out} 的FOV。以黑色示出的FOV的区域不存在,而以灰色示出的FOV的区域存在。

[0556] 如图27F的第一列所示,在示出的实施例中,没有红色输入图像的FOV的部分被耦合入到大-光栅-矢量层中。然而,图27G的第一列示出了绿色输入图像的子部分 G_1 可耦合入到大-光栅-矢量层2700a中。图27H的第一列类似地示出了蓝色输入图像的子部分 B_1 可耦合入到大-光栅-矢量层2700a中。(注意:图27G和图27H的第一列示出了在大-光栅-矢量层2700a中承载的输入图像的绿色和蓝色分量的左手侧,而图27C至图27E示出了由于位于大-光栅-矢量层的k空间环中而具有被支持的被引导的传播模式的绿色和蓝色FOV矩形的右手侧。该差异的原因在于,图27C至图27E中的k空间图示出了光传播的方向,而图27F至图27H指示光束来自的感知角度。例如,向右传播的光被感知为FOV左侧的光。这导致在k空间图中所示出的与由用户所看到的之间的两轴的反转。

[0557] 图27F的第二列示出了红色输入图像的子部分 R_1 可耦合入到中-光栅-矢量层2700b中。图27G和图27H的第二列示出了子部分 G_1 和 B_2 可分别耦合入到中-光栅-矢量层2700b中。

[0558] 图27F的第三列示出了红色输入图像的子部分 R_2 可耦合入到小-光栅-矢量层2700c中。图27G和图27H的第三列示出了对于示出的实施例,没有绿色或蓝色输入图像的部分被耦合入到小-光栅-矢量层2700c中。这是由于阻止绿色和蓝色光束到达小-光栅-矢量层2700c的事实,如上文关于图27A和图27B所讨论的。

[0559] 图27F至图27H的第四列示出了存在于用于不同颜色分量的输出图像中的FOV的部分。以黑色示出的FOV的区域不存在于输出图像中,而以灰色示出的FOV的区域存在于输出图像中。对于图27F至图27H中的每一个,第四列中的图是纯灰色的,这意味着用于每个颜色分量(R_{out} 、 G_{out} 、 B_{out})的完整FOV存在于来自波导2700a、2700b、2700c的堆叠的输出图像。这是真的,因为 R_1 和 R_2 子部分的并集、 G_1 和 G_2 子部分的并集以及 B_1 和 B_2 子部分的并集各自包括输入图像的完整FOV。

[0560] 如果ICG区域(例如,2740a、2740b、2740c)中的衍射光栅是100%有效的,那么输入图像的每个颜色分量的相应子部分(R_2/R_1 、 G_2/G_1 、 B_2/B_1)将不彼此重叠。例如,输入图像的红色分量的子部分 R_2 将不与子部分 R_1 重叠,因为 R_1 中的任何红色光束将不可用于在小-光栅-

矢量层2700c处进行耦合,因为它们将已经在中-光栅-矢量层2700b处进行耦合。类似地,输入图像的绿色和蓝色分量的子部分 G_2 和 B_2 将不分别与子部分 G_1 和 B_1 重叠,因为 G_1 中的任何绿色光束和 B_1 中的任何蓝色光束将已经在大-光栅-矢量层2700c处进行耦合,并且因此将不可用于在中-光栅-矢量层2700b处进行耦合。然而,在一些实施例中,ICG区域(例如,2740a、2740b、2740c)中的衍射光栅低于100%效率。这意味着可以在给定层处耦合的光的一些部分将通过该层的ICG区域传输,并且将具有在下一层的ICG区域处耦合的机会。这可以在每个颜色分量的相应子部分(R_2/R_1 、 G_2/G_1 、 B_2/B_1)之间提供一定程度的重叠,以确保在显示给用户的FOV中不存在间隙。在一些实施例中,例如,ICG区域(例如,2740a、2740b、2740c)具有5-90%范围内的衍射效率。

[0561] 图27I至图27K类似于图27F至图27H,因为它们示出了可耦合到堆叠中的目镜波导2700a、2700b、2700c中的每一个中的输入图像的每个颜色分量的FOV的子部分,例外的是,图27I至图27K示出了其中每个颜色分量部分地承载在三个目镜波导而不是两个目镜波导中的某些实施例。

[0562] 图27I示出了来自波导堆叠的红色输出图像的FOV以及可耦合到目镜波导2700a、2700b、2700c中的每一个的输入图像的红色分量的FOV的子部分。如下文进一步讨论的,在示出的实施例中,红色分量部分地携带在所有三个目镜波导2700a、2700b、2700c中。这可以是例如大-光栅-矢量层2700a的ICG区域2740a被设计为具有将FOV矩形的红色分量平移到至少部分在k空间环内的k空间位置的光栅矢量 G_{1R} 的情况,如图27D和图27E所示。同时,图27J和图27K分别示出了来自波导堆叠的绿色和蓝色输出图像的FOV以及可耦合到目镜波导2700a、2700b、2700c中的每一个的输入图像的绿色和蓝色分量的FOV的子部分。如下文进一步讨论的,在示出的实施例中,绿色和蓝色分量同样部分地携带在所有三个目镜波导2700a、2700b、2700c中。这可以是例如小-光栅-矢量层2700c中的ICG区域2740c的二阶衍射效率足够低,以使得不要求光学滤波器2745以防止由小-光栅-矢量层中的二阶衍射产生的图像伪影。

[0563] 图27I至图27K中的每一个包括四列图。前三列(左到右)中的图中的每一个表示目镜波导2700a、2700b、2700c中的一个中的输入图像的颜色分量中的一个的FOV。在左手侧开始的图的第一列对应于大-光栅-矢量层2700a。图的第二列对应于中-光栅-矢量层2700b。并且,图的第三列对应于小-光栅-矢量层2700c。以黑色示出的FOV的区域未被耦合,而以灰色示出的FOV的区域被耦合。图的第四并且最后一列示出了用于颜色分量输出图像 R_{out} 、 G_{out} 、 B_{out} 的FOV。以黑色示出的FOV的区域不存在,而以灰色示出的FOV的区域存在。

[0564] 如图27I的第一列所示,在示出的实施例中,红色输入图像的FOV的一部分被耦合到大-光栅-矢量层中。类似地,图27J的第一列示出了绿色输入图像的子部分 G_1 可耦合到大-光栅-矢量层2700a中,以及图27K的第一列示出了蓝色输入图像的子部分 B_1 可耦合到大-光栅-矢量层2700a中。

[0565] 图27I的第二列示出了红色输入图像的子部分 R_2 可耦合到中-光栅-矢量层2700b中。图27J和图27K的第二列示出了子部分 G_1 和 B_2 可分别耦合到中-光栅-矢量层2700b中。

[0566] 图27I的第三列示出了红色输入图像的子部分 R_3 可耦合到小-光栅-矢量层2700c中。图27J和图27K的第三列示出了子部分 G_3 和 B_3 可分别耦合到小-光栅-矢量层2700c中。

[0567] 图27I至图27K的第四列示出了存在于用于不同颜色分量的输出图像中的FOV的部

分。以黑色示出的FOV的区域不存在于输出图像中,而以灰色示出的FOV的区域存在于输出图像中。对于图27I至图27K中的每一个,第四列中的图是纯灰色的,这意味着用于每个颜色分量(R_{out} 、 G_{out} 、 B_{out})的完整FOV存在于来自波导2700a、2700b、2700c的堆叠的输出图像。这是真的,因为 R_1 、 R_2 和 R_3 子部分的并集、 G_1 、 G_2 和 G_3 子部分的并集以及 B_1 、 B_2 和 B_3 子部分的并集各自包括输入图像的完整FOV。

[0568] 与图27F至图27H和图27I至图27K相反,图27L至图27N示出了可耦合入到每层单色分量目镜波导中的输入图像的每个颜色分量的FOV的子部分。在图27L至图27N中使用与在图27F至图27H和图27I至图27K中相同的折射率 $n=1.75$ 和图像FOV。然而,由于每层单色分量目镜波导用于图27L至图27N,因此这些图示出了未实现关于图27A至图27K所描述的FOV扩展技术时存在的FOV限制。

[0569] 图27L示出了来自波导堆叠的红色输出图像的FOV以及可耦合入到三个目镜波导中的每一个的输入图像的红色分量的FOV的子部分。同时,图27M和图27N分别示出了来自波导堆叠的绿色和蓝色输出图像的FOV以及可耦合入到目镜波导中的每一个的输入图像的绿色和蓝色分量的FOV的子部分。

[0570] 图27L至图27N中的每一个包括四列图。前三列(左到右)中的图中的每一个表示目镜波导中的一个中的输入图像的颜色分量中的一个的FOV。在左手侧开始的图的第一列对应于被设计为容纳蓝光的目镜波导。图的第二列对应于被设计为容纳绿光的目镜波导。并且,图的第三列对应于被设计为容纳红光的目镜波导。以黑色示出的FOV的区域未被耦合入,而以灰色示出的FOV的区域被耦合入。图的第四并且最后一列示出了用于颜色分量输出图像 R_{out} 、 G_{out} 、 B_{out} 的FOV。以黑色示出的FOV的区域不存在,而以灰色示出的FOV的区域存在。

[0571] 如图27L和图27M的第一列所示,没有红色输入图像或绿色输入图像的FOV的部分被耦合入到蓝光目镜波导中。图27N的第一列示出了蓝色输入图像的子部分 B_1 可耦合入到蓝光目镜波导中。然而,蓝色输入图像的FOV的一些部分未耦合入,因为FOV具有大于对应于蓝光目镜波导的k空间环的宽度的k空间尺寸。

[0572] 图27L和图27N的第二列示出了没有红色输入图像或蓝色输入图像的FOV的部分被耦合入到绿光目镜波导中。图27M的第二列示出了绿色输入图像的子部分 G_1 可耦合入到绿光目镜波导中。然而,绿色输入图像的FOV的一些部分未耦合入,因为FOV具有大于对应于绿光目镜波导的k空间环的宽度的k空间尺寸。

[0573] 图27M和图27N的第三列示出了没有绿色输入图像或蓝色输入图像的FOV的部分被耦合入到红光目镜波导中。图27L的第三列示出了红色输入图像的子部分 R_1 可耦合入到红光目镜波导中。然而,红色输入图像的FOV的一些部分未耦合入,因为FOV具有大于对应于红光目镜波导的k空间环的宽度的k空间尺寸。

[0574] 图27L至图27N的第四列示出了存在于用于不同颜色分量的输出图像中的FOV的部分。以黑色示出的FOV的区域不存在于输出图像中,而以灰色示出的FOV的区域存在于输出图像中。对于图27L至图27N中的每一个,第四列中的图具有多个黑色区域,这意味着用于每个颜色分量(R_{out} 、 G_{out} 、 B_{out})的完整FOV不存在于来自每层单颜色目镜波导的堆叠的输出图像中。这示出了关于图27A至图27K所描述的技术可用于实现能够显示具有比图27L至图27N所示的每层单色分量目镜波导更大的FOV的全色图像的波导堆叠。

[0575] 图28A示出了具有增强FOV和直列光瞳ICG配置的目镜波导堆叠2800a、2800b、

2800c的另一示例实施例。图28A中的波导堆叠包括大-光栅-矢量目镜波导2800a、中-光栅-矢量目镜波导2800b和小-光栅-矢量目镜波导2800c。目镜波导2800a、2800b、2800c中的每一个包括相应的ICG区域2840a、2840b、2840c。图28A中的波导堆叠在结构和操作上类似于图27A中的波导堆叠,例外的是,其被设计为处理小-光栅-矢量层2800c中的红光和绿光-不仅红光。因此,图27A的波导堆叠中的红色光学滤波器2745由图28A的波导堆叠中的黄色光学滤波器2845替换。

[0576] 图28A的波导堆叠被设计为接收红光2802、绿光2804和蓝光2806的输入光束。再次,输入光束2802旨在表示针对输入图像红色分量的整个输入光束集合,而输入光束2804表示针对输入图像绿色分量的整个输入光束集合,以及输入光束2806表示针对输入图像蓝色分量的整个输入光束集合。

[0577] 用于大-光栅-矢量层2800a的ICG区域2840a可设计为耦入在第一目镜波导2800a内的被引导的传播状态中的红色输入光束的子部分、绿色输入光束的子部分和/或蓝色输入光束的子部分(如分别由一阶衍射光束2802a、2804a、2806a表示)。用于中-光栅-矢量层2800b的ICG区域2840b同样可设计为耦入在第二目镜波导2800b内的被引导的传播状态中的红色输入光束的子部分、绿色输入光束的子部分和/或蓝色输入光束的子部分(如分别由一阶衍射光束2802b、2804b、2806b表示)。

[0578] 来自中-光栅-矢量目镜波导2800b的ICG区域2840b的非衍射光束2802、2804、2806继续到光学滤波器2845上。光学滤波器2845可以位于中-光栅-矢量层2800b的ICG区域2840b与小-光栅-矢量层2800c的ICG区域2840c之间(例如,在第二目镜波导2800b与第三目镜波导2800c之间的间隙中)。在一些实施例中,光学滤波器2845是黄色滤波器,该黄色滤波器有效吸收至少90%的蓝光(由光束2706表示)。在一些实施例中,针对光学滤波器2845的-3dB截止可位于465-500nm的范围内,尽管也可使用其他位置。光学滤波器2845的目的是吸收否则由ICG区域2840c二阶衍射为小-光栅-矢量层2800c内的被引导的传播模式的蓝光,因为这样的二阶衍射可能导致伪影,诸如重影图像。在一些实施例中,一种或多种光学管芯可添加到用于第三目镜波导2800c的衬底材料。(一种或多种)光学管芯可吸收蓝光,类似于光学滤波器2845。因此,添加到用于第三目镜波导2800c的衬底材料的(一种或多种)管芯可以代替光学滤波器2845或者附加到光学滤波器2745使用。

[0579] 由于蓝色光束由光学滤波器2845阻挡,因此仅红色光束(由光束2802表示)和绿色光束(由光束2804表示)入射在第三目镜波导2800c的ICG区域2840c上。ICG区域2840c可设计为耦入第三目镜波导2800c内的被引导的传播状态中的红色输入光束的子部分和/或绿色输入光束的子部分(如分别由一阶衍射光束2802c和2804c表示)。

[0580] 图28B示出了具有增强FOV和分割光瞳ICG配置的目镜波导堆叠2800a、2800b、2800c的另一示例实施例。图28B中的波导堆叠包括大-光栅-矢量目镜波导2800a、中-光栅-矢量目镜波导2800b和小-光栅-矢量目镜波导2800c。目镜波导2800a、2800b、2800c中的每一个包括相应的ICG区域2840a、2840b、2840c。第一目镜波导2800a的ICG区域2840a被分成三个间隔开的部分2940a1、2940a2、2940a3。类似地,第二目镜波导2800b的ICG区域2840b被划分为三个间隔开的部分2840b1、2840b2、2840b3,以及第三目镜波导2800c的ICG区域2840c被划分为两个间隔开的部分2840c1、2840c2。图28B中的波导堆叠在结构和操作上类似于图27B中的波导堆叠,例外的是,其被设计为处理小-光栅-矢量层2800c中的红光和绿

光-而不仅红光。因此,图27B的波导堆叠中的反射ICG区域2740b2由图28B的波导堆叠中的部分透射ICG区域2940b2替换。

[0581] 尽管未示出,但是用于图28A和图28B所示的目镜波导堆叠的k空间图将类似于为图27A和图28B所示的目镜波导堆叠所提供的k空间图,例外的是,它们将示出用于绿光的FOV矩形不仅在大-光栅-矢量层2800a和中光栅矢量层2800b之间而且在小-光栅-矢量层2800c之间部分分割。

[0582] 在一些实施例中,可以使用以下考虑来设计图27A至图27B和图28A至图28B中的示例目镜波导堆叠:1) 耦合到目镜波导中的输入图像的每个颜色分量的FOV的相应子部分的并集包含输入图像的完整FOV(例如,如图27F至图27H和图27I和图27K所示);以及2) 不允许任何颜色分量的FOV的任何部分的二阶ICG衍射耦合到任何目镜波导中的被引导的传播模式,因为那些路径可能导致图像伪影,诸如重影图像。

[0583] 根据图27A至图27B中的示例目镜波导堆叠的一些实施例可以实现的最大FOV,受限于上述设计考虑,可以使用以下变量和等式计算:

[0584] n 是目镜波导2700a、2700b、2700c的折射率;

[0585] 用于目镜波导2700a、2700b、2700c的k空间环的外周边缘的半径等于 n ;

[0586] 用于目镜波导2700a、2700b、2700c的k空间环的内周边缘的半径等于1;

[0587] Λ_1 是第一目镜波导或大-光栅-矢量层2700a的ICG区域2740a的周期;

[0588] Λ_2 是第二目镜波导或中-光栅-矢量层2700b的ICG区域2740b的周期;

[0589] Λ_3 是第三目镜波导或小-光栅-矢量层2700c的ICG区域2740c的周期;

[0590] $\lambda_{\text{红色}}$ 是红色输入光2702的中心波长;

[0591] $\lambda_{\text{绿色}}$ 是绿色输入光2704的中心波长;

[0592] $\lambda_{\text{蓝色}}$ 是蓝色输入光2706的中心波长;

[0593] k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的输入图像的k空间尺寸;

[0594] $\frac{\lambda_{\text{蓝色}}}{\Lambda_2} + \frac{k_{\text{FOV}}}{2} < n$,其提供了蓝色FOV矩形的外边缘在第二目镜波导2700b中以TIR而传播(即,位于k空间环中);

[0595] $n - \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_1} > 1 - \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_2}$,其提供了在第一目镜波导2700a中以TIR而传播(即,位于k空间环中)的绿色FOV矩形的内部部分大于不在第二目镜波导2700b中以TIR而传播(即,不位于k空间环中)的绿色FOV矩形的外部部分;

[0596] $n - \frac{\lambda_{\text{红色}}}{\Lambda_1} > 1 - \frac{\lambda_{\text{红色}}}{\Lambda_2}$,其提供了在第一目镜波导2700a中以TIR而传播(即,位于k空间环中)的红色FOV矩形的内部部分大于不在第二目镜波导2700b中以TIR而传播(即,不位于k空间环中)的红色FOV矩形的外部部分;

[0597] $\Lambda_1 < \frac{\lambda_{\text{蓝色}}}{1 + \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$,其提供了第一目镜波导2700a的最大周期可以是蓝色FOV矩形的内边缘在大光栅矢量层中以TIR而传播(即,位于k空间环中)的最大周期(第一目镜波导2700a中的任何较大光栅周期将导致较短的光栅矢量,其不会将蓝色FOV矩形的内边缘平移到k空间环中);

[0598] $\Lambda_3 > \frac{\lambda_{\text{红色}}}{n - \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$, 其提供了第三目镜波导2700c的ICG区域2740c的最小周期可以是红色FOV矩形的外边缘在小-光栅-矢量层中以TIR而传播(即, 位于k空间环中)的最小周期(第三目镜波导2700c中的任何较小光栅周期将导致较长光栅矢量, 其会将红色FOV矩形的外边缘平移超出k空间环); 可能需要附加约束来设置用于 Λ_3 的最大周期, 以强制保留完整的红色FOV矩形;

[0599] $\frac{2\lambda_{\text{蓝色}}}{\Lambda_2} - \frac{k_{\text{FOV}}}{2} > n$, 其提供了来自第二目镜波导2700b上的ICG区域2740b的蓝光的二阶衍射不在完整FoV上以TIR而传播(即, 不位于k空间环中);

[0600] $\Lambda_2 > \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{n - \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$, 其提供了第二目镜波导2700b的ICG区域2740b的最小周期是绿色FOV矩形的外边缘在中-光栅-矢量层中以TIR而传播(即, 位于k空间环中)的最小周期。

[0601] 根据图28A至图28B中的示例目镜波导堆叠的一些实施例可以实现的最大FOV, 受限于上述设计考虑, 可以使用以下变量和等式计算:

[0602] n 是目镜波导2800a、2800b、2800c的折射率;

[0603] 用于目镜波导2800a、2800b、2800c的k空间环的外边缘的半径等于 n ;

[0604] 用于目镜波导2800a、2800b、2800c的k空间环的内边缘的半径等于1;

[0605] Λ_1 是第一目镜波导或大-光栅-矢量层2800a的ICG区域2740a的周期;

[0606] Λ_2 是第二目镜波导或中-光栅-矢量层2800b的ICG区域2840b的周期;

[0607] Λ_3 是第三目镜波导或小-光栅-矢量层2800c的ICG区域2840c的周期;

[0608] $\lambda_{\text{红色}}$ 是红色输入光2802的中心波长;

[0609] $\lambda_{\text{绿色}}$ 是绿色输入光2804的中心波长;

[0610] $\lambda_{\text{蓝色}}$ 是蓝色输入光2806的中心波长;

[0611] k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的输入图像的k空间尺寸;

[0612] $\frac{\lambda_{\text{蓝色}}}{\Lambda_2} + \frac{k_{\text{FOV}}}{2} < n$, 其提供了蓝色FOV矩形的外边缘在第二目镜波导2800b中以TIR而传播(即, 位于k空间环中);

[0613] $n - \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_1} > 1 - \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_2}$, 其提供了在第一目镜波导2800a中以TIR而传播(即, 位于k空间环中)的绿色FOV矩形的内部部分大于不在第二目镜波导2800b中以TIR而传播(即, 不位于k空间环中)的绿色FOV矩形的外部部分;

[0614] $n - \frac{\lambda_{\text{红色}}}{\Lambda_1} > 1 - \frac{\lambda_{\text{红色}}}{\Lambda_2}$, 其提供了在第一目镜波导2800a中以TIR而传播(即, 位于k空间环中)的红色FOV矩形的内部部分大于不在第二目镜波导2800b中以TIR而传播(即, 不位于k空间环中)的红色FOV矩形的外部部分;

[0615] $\frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_3} - 1 > \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_2} - n$, 其提供了在第三目镜波导2800c中以TIR而传播(即, 位于k空间环中)的绿色FOV矩形的外部部分大于不在第二目镜波导2800b中以TIR而传播(即, 不位于k空间环中)的绿色FOV矩形的外部部分;

[0616] $\Lambda_1 < \frac{\lambda_{\text{蓝色}}}{1 + \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$, 其提供了第一目镜波导2800a的最大周期可以是蓝色FOV矩形的内边缘在大光栅矢量层中以TIR而传播(即, 位于k空间环中)的最大周期(第一目镜波导2800a中的任何较大光栅周期将导致较短的光栅矢量, 其不会将蓝色FOV矩形的内边缘平移到k空间环中);

[0617] $\Lambda_3 > \frac{\lambda_{\text{红色}}}{n - \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$, 其提供了第三目镜波导2800c的ICG区域2840c的最小周期可以是红色FOV矩形的外边缘在小-光栅-矢量层中以TIR而传播(即, 位于k空间环中)的最小周期(第三目镜波导2800c中的任何较小光栅周期将导致较长光栅矢量, 其会将红色FOV矩形的外边缘平移超出k空间环); 可能需要附加约束来设置用于 Λ_3 的最大周期, 以强制保留完整的红色FOV矩形;

[0618] $\frac{2\lambda_{\text{蓝色}}}{\Lambda_2} - \frac{k_{\text{FOV}}}{2} > n$, 其提供了来自第二目镜波导2800b上的ICG区域2840b的蓝光的二阶衍射不在完整FoV上以TIR而传播(即, 不位于k空间环中);

[0619] $\frac{2\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_3} - \frac{k_{\text{FOV}}}{2} > n$, 其提供了来自第三目镜波导2800c上的ICG区域2840c的绿光的二阶衍射不在完整FOV上以TIR而传播。

[0620] 使用图27A至图27B和图28A至图28B中的示例目镜波导堆叠实现的最大FOV, 受限上述设计考虑, 是目镜波导的折射率的函数。表1示出了最大FOV-在ICG光栅矢量的方向上-作为折射率的函数。

衬底折射率	ICG 光栅矢量方向中的最大 FOV (°)		
	每层单色	3 层 w/ 每层多色 (图 27A-27B)	3 层 w/ 每层多色 (图 28A-28B)
1.5	29.0	41.5	44.5
1.6	34.9	50.4	47.3
1.7	41.0	54.2	50.9
1.8	47.2	57.5	53.6
1.9	53.5	60.9	57.3
2.0	60.0	64.7	60.9
2.1	66.7	68.0	63.6
2.2	73.7	71.9	67.3
2.3	81.1	75.8	70.9
2.4	88.9	79.6	74.6

[0621] 表1. 作为衬底折射率的函数的ICG光栅矢量方向上的最大FOV。

[0622] 图29是将表1中的FOV值绘制为折射率的函数的图2900。每层单色目镜波导(即层间无“串扰”)的FOV值用菱形示出。图27A至图27B的实施例的FOV值用三角形示出。图28A至图28B的实施例的FOV值用正方形示出。

[0623] 如图表2900中看到, 对于低于约2.0-2.1的较低折射率, 利用目镜波导之间的“串

扰”的实施例(例如,图27A至图27B和图28A至图28B所示的实施例)能够实现比不利用层间“串扰”的每层单色波导更高的FOV(在ICG光栅矢量的方向上)。然而,对于高于约2.0-2.1的较高折射率,利用“串扰”的实施例的FOV可能变得由二阶衍射限制。

[0625] 表2A和表2B中的数据示出了根据图27A至图28B和图28A至图28B所示的实施例的ICG光栅矢量方向上的最大FOV的示例ICG光栅周期。将光栅周期与每层单色实施例的光栅周期进行比较。表中的值分别使用针对红光、绿光和蓝光的455nm、525nm和625nm波长进行计算。在窄线宽(<5nm)光源(如激光器)的情况下,数值和范围描述了达到最大FOV的光栅周期限制。在更宽的线宽光源(如LED)的情况下,由于可用于填充用于每个颜色通道的FOV的波长范围,因此值和范围具有更大的灵活性。

[0626] 表2A示出了根据图27A至图27B所示的目镜波导2700a、2700b、2700c的ICG区域2740a、2740b、2740c的示例周期。这些光栅周期可使用上文所讨论的等式计算。

衬底折 射率	每层单色				具有每层多色的3层 (图 27A-27B)			
	ICG 光栅 矢量方向 上的最大 FOV (°)	蓝色层 ICG 周 期 (nm)	绿色层 ICG 周 期 (nm)	红色层 ICG 周 期(nm)	ICG 光栅 矢量方向 上的最大 FOV(°)	大光栅矢量 层 ICG 周期 (nm)	中光栅矢 量层 ICG 周期(nm)	小光栅矢 量层 ICG 周期 (nm)
1.5	29	364	420	500	41.5	≤336	≥458	≥546
1.6	34.9	350	404	481	50.4	≤319	≥447	≥532
1.7	41	337	389	463	54.2	≤313	≥422	≥502
1.8	47.2	325	375	446	57.5	≤307	≥398	≥474
1.9	53.5	314	362	431	60.9	≤302	≥377	≥449
2.0	60	303	350	417	64.7	≤296	≥358	≥427
2.1	66.7	294	339	403	68	≤292	≥341	≥406
2.2	73.7	284	328	391	71.9	≤287	≥325	≥387
2.3	81.1	276	318	379	75.8	≤282	≥311	≥371
2.4	88.9	268	309	368	79.6	≤277	≥298	≥355

[0628] 表2A. 对于ICG光栅矢量方向上的最大FOV的示例ICG光栅周期。给出的值分别使用用于红光、绿光和蓝光的455nm、525nm和625nm波长进行计算。

[0629] 表2B示出了根据图28A至图28B所示的目镜波导2800a、2800b、2800c的ICG区域2840a、2840b、2840c的示例周期。这些光栅周期可使用上文所讨论的等式计算。

衬底折 射率	每层单色				具有每层多色的3层 (图 28A-28B)			
	ICG 光栅 矢量方向 上的最大 FOV (°)	蓝色层 ICG 周 期(nm)	绿色层 ICG 周 期(nm)	红色层 ICG 周 期(nm)	ICG 光栅 矢量方向 上的最大 FOV (°)	大光栅矢量 层 ICG 周期 (nm)	中光栅矢 量层 ICG 周期(nm)	小光栅矢 量层 ICG 周期(nm)
1.5	29	364	420	500	44.5	≤330	408-447	≥557
1.6	34.9	350	404	481	47.3	≤325	380-454	≥521
1.7	41	337	389	463	50.9	≤318	359-427	≥492
1.8	47.2	325	375	446	53.6	≤314	338-403	≥463
1.9	53.5	314	362	431	57.3	≤308	321-382	≥440
2.0	60	303	350	417	60.9	≤302	306-362	≥419
2.1	66.7	294	339	403	63.6	≤298	298-346	≥397
2.2	73.7	284	328	391	67.3	≤293	293-330	≥380
2.3	81.1	276	318	379	70.9	≤288	288-315	≥363
2.4	88.9	268	309	368	74.6	≤283	283-302	≥348

[0630]

[0631] 表2B. 对于ICG光栅矢量方向上的最大FOV的示例ICG光栅周期。给出的值分别使用用于红光、绿光和蓝光的455nm、525nm和625nm波长进行计算。

[0632] 到目前为止,对垂直于ICG光栅矢量的方向上的FOV的限制尚未关于图27A至图27B和图28A至图28B的实施例进行描述。它主要是用于扩展出射光瞳的目镜光栅架构的因素。图14A至图26F示出了多个目镜光栅架构。这些目镜波导架构中的任何一个与图27A至图27B和图28A至图28B所示的实施例兼容。在垂直于ICG光栅矢量的方向上的最大FOV将取决于使用哪个层级光栅架构。

[0633] 作为示例,图24A至图26F所示的实施例可与图27B所示的堆叠配置一起使用。表3提供了目镜波导具有1.75的折射率的情况的示例CPE光栅周期和角度。

串扰堆叠	ICG 周期 (nm)	ICG 角度 (°)	CPE1 周期 (nm)	CPE1 角度 (°)	CPE2 周期 (nm)	CPE2 角度 (°)
层 1	310	0	294	61.61	294	-61.61
层 2	410	0	349	64.80	349	-64.80
层 3	500	0	418	65.32	418	-65.32

[0634]

无串扰堆叠	ICG 周期 (nm)	ICG 角度 (°)	CPE1 周期 (nm)	CPE1 角度 (°)	CPE2 周期 (nm)	CPE2 角度 (°)
层 1	331	0	299	63.35	299	-63.35
层 2	382	0	345	63.35	345	-63.35
层 3	455	0	410	63.35	410	-63.35

[0635]

[0636] 表3. 示例目镜堆叠中使用的示例光栅周期和角度,在折射率1.75衬底上有或没有串扰(例如,在多个目镜波导之间分割颜色分量图像)

[0637] 除了能够增强FOV之外,本文描述的用于利用多个目镜波导来投射每个颜色分量的FOV的不同子部分的技术还可用于改进来自目镜波导的输出光跨输出图像的FOV的亮度均匀性。当将颜色分量耦合到多个目镜波导中时可用的附加自由度允许增加的FOV和改进的均匀性的这两个益处之间的折中。

[0638] 当颜色分量耦合到具有不同光栅矢量的两个目镜波导中时,FOV中的每个角度在最终被衍射出来并朝向用户的眼睛之前采取通过目镜波导的不同的路径。FOV中的相同角

度的该光路多样性可用于设计师的优势,以补偿否则将更暗的FOV中的区域,因此改进投射到用户的虚拟图像的亮度均匀性。

[0639] 图30示出了使用图27A至图27B和图28A至图28B所示的目镜波导堆叠的改进的输出图像均匀性的示例。与右手图相比较,左手图示出了用于每层单色设计中的绿色通道的 $45^\circ \times 55^\circ$ FOV均匀性图案,右手图示出了用于其中绿色FOV的子部分通过不同的目镜波导传播的设计中的绿色通道的 $45^\circ \times 55^\circ$ FOV均匀性图案(例如,如在图27A至图27B和图28A至图28B中)。如图30可以看到,右手图像具有更均匀的光分布。

[0640] 示例实施例

[0641] 一种增强现实显示系统,包括:第一目镜波导,其包括第一光学透射衬底;第一输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在第一目镜波导上或中,第一ICG区域被配置为接收对应于具有对应视场的输入图像的输入光束集合,以及将输入光束的第一子集耦合到衬底中作为被引导的光束的第一集合,输入光束的第一子集对应于输入图像的视场的第一子部分;第二目镜波导,其包括第二光学透射衬底;以及第二输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在第二目镜波导上或中,第二ICG区域被配置为接收对应于输入图像的输入光束的至少第二子集,以及将输入光束的第二子集耦合到衬底中作为被引导的光束的第二集合,输入光束的第二子集对应于输入图像的视场的第二子部分,其中,视场的第一和第二子部分至少部分不同,但是一起包括输入图像的完整视场。

[0642] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,输入图像的视场在至少一个维度上大于在第一和第二目镜波导的厚度方向上的全内反射传播角度的范围。

[0643] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,还包括:第三目镜波导,其包括第三光学透射衬底;以及第三输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在所述第三目镜波导上或中,第三ICG区域被配置为接收对应于输入图像的输入光束的至少第三子集,以及将输入光束的第三子集耦合到衬底中作为被引导的光束的第三集合,输入光束的第三子集对应于输入图像的视场的第三子部分,其中,视场的第一、第二和第三子部分至少部分不同,但是一起包括输入图像的完整视场。

[0644] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一ICG区域包括具有第一空间周期的周期性衍射特征,第二ICG区域包括具有第二空间周期的周期性衍射特征,第三ICG区域包括具有第三空间周期的周期性衍射特征,第一空间周期小于第二空间周期,并且第二空间周期小于第三空间周期。

[0645] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中:对于折射率 $n \leq 1.5$,第一空间周期 $< 336\text{nm}$,第二空间周期 $408-458\text{nm}$,以及第三空间周期 $> 546\text{nm}$;对于折射率 $1.5 < n \leq 1.6$,第一空间周期 $< 325\text{nm}$,第二空间周期 $380-454\text{nm}$,以及第三空间周期 $> 521\text{nm}$;对于折射率 $1.6 < n \leq 1.7$,第一空间周期 $< 318\text{nm}$,第二空间周期 $359-427\text{nm}$,以及第三空间周期 $> 492\text{nm}$;对于折射率 $1.7 < n \leq 1.8$,第一空间周期 $< 314\text{nm}$,第二空间周期 $338-403\text{nm}$,以及第三空间周期 $> 463\text{nm}$;对于折射率 $1.8 < n \leq 1.9$,第一空间周期 $< 308\text{nm}$,第二空间周期 $321-382\text{nm}$,以及第三空间周期 $> 440\text{nm}$;对于折射率 $1.9 < n \leq 2.0$,第一空间周期 $< 302\text{nm}$,第二空间周期 $306-362\text{nm}$,以及第三空间周期 $> 419\text{nm}$;或对于折射率 $2.0 < n \leq 2.1$,第一空间周期 $< 298\text{nm}$,第二空间周期 $298-346\text{nm}$,以及第三空间周期 $> 397\text{nm}$ 。

[0646] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,还包括:投影仪系统,其被配置为

将对应于输入图像的输入光束集投射向第一、第二和第三目镜波导,其中,第一目镜波导沿着输入光束集合的光路位于第二目镜波导之前,以及其中,第二目镜波导沿着输入光束集合的光路位于第三目镜波导之前。

[0647] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中:视场的第一和第二子部分部分重叠,以及视场的第二和第三子部分部分重叠。

[0648] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一、第二和第三ICG区域横向对准。

[0649] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中:第一、第二和第三ICG区域被配置为接收对应于输入图像的多个颜色分量的输入光束;第一ICG区域被配置为将用于颜色分量中的两个或两个以上的输入光束的第一子集耦合到第一衬底中作为被引导的光束的第一集合,输入光束的第一子集对应于输入图像的颜色分量的视场的第一子部分;第二ICG区域被配置为将用于颜色分量中的两个或两个以上的输入光束的第二子集耦合到第二衬底中,输入光束的第二子集对应于输入图像的颜色分量的视场的第二子部分;第三ICG区域被配置为将用于颜色分量中的两个或两个以上的输入光束的第三子集耦合到第三衬底中,输入光束的第三子集对应于输入图像的颜色分量的视场的第三子部分;以及输入图像的相应颜色分量的视场的第一、第二和第三子部分至少部分不同,但是一起包括输入图像的颜色分量的完整视场。

[0650] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中:第一ICG区域包括多个空间分离的子部分,每个子部分对应于颜色分量中的一个;第二ICG区域包括多个空间分离的子部分,每个子部分对应于颜色分量中的一个;以及第三ICG区域包括多个空间分离的子部分,每个子部分对应于颜色分量中的一个。

[0651] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第三ICG区域具有小于10%的二阶衍射效率。

[0652] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,还包括:光学滤波器,其沿着输入光束的光路位于第二目镜波导之后,光学滤波器被配置为选择性地吸收用于具有最短波长的颜色分量的输入光束。

[0653] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,光学滤波器是黄色滤波器,其吸收蓝光的至少90%。

[0654] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,光学滤波器被配置为选择性地吸收用于具有两个最短波长的两个颜色分量的输入光束。

[0655] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,光学滤波器是红色滤波器,其吸收绿光和蓝光的至少90%。

[0656] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,光学滤波器是提供在第二目镜波导与第三目镜波导之间的组件。

[0657] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,光学滤波器是提供在第三目镜波导中的管芯。

[0658] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一和第二ICG区域具有5-90%的一阶衍射效率。

[0659] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一ICG区域被配置为使得

输入光束的第二子集通过而不被衍射。

[0660] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一和第二目镜波导具有1.5-2.1的折射率。

[0661] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,对于折射率 $n \leq 1.5$,在至少一个方向上的输入图像的视场大于 29.0° 但小于或等于 44.5° ;对于折射率 $1.5 < n \leq 1.6$,在至少一个方向上的输入图像的视场大于 34.9° 但小于或等于 50.4° ;对于折射率 $1.6 < n \leq 1.7$,在至少一个方向上的输入图像的视场大于 41.0° 但小于或等于 54.2° ;对于折射率 $1.7 < n \leq 1.8$,在至少一个方向上的输入图像的视场大于 47.2° 但小于或等于 57.5° ;对于折射率 $1.8 < n \leq 1.9$,在至少一个方向上的输入图像的视场大于 53.5° 但小于或等于 60.9° ;对于折射率 $1.9 < n \leq 2.0$,在至少一个方向上的输入图像的视场大于 60.0° 但小于或等于 64.7° ;或对于折射率 $2.0 < n \leq 2.1$,在至少一个方向上的输入图像的视场大于 66.7° 但小于或等于 68.0° 。

[0662] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一和第二目镜波导具有相同尺寸。

[0663] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一目镜波导和第二目镜波导横向对准,并且通过间隙纵向分离。

[0664] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,还包括:第一正交光瞳扩展器(OPE)区域、或第一多向光瞳扩展器(MPE)区域、或第一组合光瞳扩展器-提取器(CPE)区域,其形成在第一目镜波导上或中,第一OPE、MPE或CPE区域被配置为接收被引导的光束的第一集合,并且在第一目镜波导的空间分布部分上复制它们;以及第二OPE区域、或第二MPE区域、或第二CPE区域,其形成在第二目镜波导上或中,第二OPE、MPE或CPE区域被配置为接收被引导的光束的第二集合,并且在第二目镜波导的空间分布部分上复制它们。

[0665] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,还包括:第一输出耦合光栅区域,其形成在所述第一目镜波导上或中,第一输出耦合光栅区域被配置为从第一目镜波导输出被引导的光束的第一集合作为输出光束的第一集合;以及第二输出耦合光栅区域,其形成在所述第二目镜波导上或中,第二输出耦合光栅区域被配置为从第二目镜波导输出被引导的光束的第二集合作为输出光束的第二集合,其中,第一和第二输出光束集合一起包括输入图像的完整视场。

[0666] 一种增强现实显示系统,包括:第一目镜波导,其包括第一光学透射衬底;第一输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在第一目镜波导上或中,第一ICG区域被配置为接收输入光束集合,输入光束集合与对应于输入图像的k空间中的k矢量集合相关联,以及将k矢量集平移到k空间中的位置,使得k矢量的第一子集位于与第一目镜波导相关联的第一k空间环内,第一k空间环对应于与第一目镜波导中的引导传播相关联的k空间中的区域;第二目镜波导,其包括第二光学透射衬底;以及第二输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在第二目镜波导上或中,第二ICG区域被配置为接收输入光束集合的至少一部分,以及将k矢量集合平移到k空间中的位置,使得k矢量的第二子集位于与第二目镜波导相关联的第二k空间环内,第二k空间环对应于与第二目镜波导中的被引导的传播相关联的k空间中的区域;其中,k矢量的第一和第二子集至少部分不同,但是一起包括对应于输入图像的k矢量的完整集合。

[0667] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,对应于输入图像的k矢量集

合具有大于第一和第二k空间环的宽度的k空间中的至少一个尺寸。

[0668] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,还包括:第三目镜波导,其包括第三光学透射衬底;以及第三输入耦合光栅(ICG)区域,其形成在所述第三目镜波导上或中,第三ICG区域被配置为接收输入光束集合的至少一部分,以及将k矢量集合平移到k空间中的位置,使得k矢量的第三子集位于与第三目镜波导相关联的第三k空间环内,第三k空间环对应于与第三目镜波导中的被引导的传播相关联的k空间中的区域;其中,k矢量的第一、第二和第三子集至少部分不同,但是一起包括对应于输入图像的k矢量的完整集合。

[0669] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,显示系统满足等式 $\frac{\lambda_{\text{蓝色}}}{\Lambda_2} + \frac{k_{\text{FOV}}}{2} < n$,其中,n是第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{蓝色}}$ 是蓝色输入光的中心波长, Λ_2 是第二ICG区域的周期,以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的输入图像的k空间尺寸。

[0670] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,显示系统满足等式 $n - \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_1} > 1 - \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_2}$,其中,n是第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{绿色}}$ 是绿色输入光的中心波长, Λ_1 是第一ICG区域的周期,以及 Λ_2 是第二ICG区域的周期。

[0671] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,显示系统满足等式 $n - \frac{\lambda_{\text{红色}}}{\Lambda_1} > 1 - \frac{\lambda_{\text{红色}}}{\Lambda_2}$,其中,n是第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{红色}}$ 是红色输入光的中心波长, Λ_1 是第一ICG区域的周期,以及 Λ_2 是第二ICG区域的周期。

[0672] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,显示系统满足等式 $\Lambda_1 < \frac{\lambda_{\text{蓝色}}}{1 + \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$,其中,n是第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{蓝色}}$ 是蓝色输入光的中心波长, Λ_1 是第一ICG区域的周期,以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的输入图像的k空间尺寸。

[0673] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,显示系统满足等式 $\Lambda_3 > \frac{\lambda_{\text{红色}}}{n - \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$,其中,n是第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{红色}}$ 是红色输入光的中心波长, Λ_3 是第三ICG区域的周期,以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的输入图像的k空间尺寸。

[0674] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,显示系统满足等式 $\frac{2\lambda_{\text{蓝色}}}{\Lambda_2} - \frac{k_{\text{FOV}}}{2} > n$,其中,n是第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{蓝色}}$ 是蓝色输入光的中心波长, Λ_2 是第二ICG区域的周期,以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的输入图像的k空间尺寸。

[0675] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,显示系统满足等式 $\Lambda_2 > \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{n - \frac{k_{\text{FOV}}}{2}}$,其中,n是第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{绿色}}$ 是绿色输入光的中心波长, Λ_2 是第二ICG区域的周期,以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的输入图像的k空间尺寸。

[0676] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,显示系统满足等式 $\frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_3} - 1 > \frac{\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_2} - n$,其中,n是第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{绿色}}$ 是绿色输入光的中心波长, Λ_2 是第二ICG区域的周期,以及 Λ_3 是第三ICG区域的周期。

[0677] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,显示系统满足等式

$\frac{2\lambda_{\text{绿色}}}{\Lambda_3} - \frac{k_{\text{FOV}}}{2} > n$, 其中, n 是第一、第二和第三目镜波导的折射率, $\lambda_{\text{绿色}}$ 是绿色输入光的中心波长, Λ_3 是第三ICG区域的周期, 以及 k_{FOV} 是在ICG矢量的方向上的输入图像的 k 空间尺寸。

[0678] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 其中: 第一ICG区域具有带有第一幅度的一阶光栅矢量; 第二ICG区域具有带有第二幅度的一阶光栅矢量; 第三ICG区域具有带有第三幅度的一阶光栅矢量; 第一幅度大于第二幅度; 以及第二幅度大于第三幅度。

[0679] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 还包括: 投影仪系统, 其被配置为将输入光束集合投射向第一、第二和第三目镜波导, 其中, 第一目镜波导沿着输入光束集合的光路位于第二目镜波导之前, 以及其中, 第二目镜波导沿着输入光束集合的光路位于第三目镜波导之前。

[0680] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 其中: k 矢量的第一和第二子集部分重叠, 以及 k 矢量的第二和第三子集部分重叠。

[0681] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 其中, 第一、第二和第三ICG区域横向对准。

[0682] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 其中: 第一、第二和第三ICG区域被配置为接收用于输入图像的多个颜色分量的输入光束; 用于每个颜色分量的输入光束与 k 空间中的 k 矢量集合相关联; 第一ICG区域被配置为将 k 矢量集合平移到 k 空间中的位置, 使得用于颜色分量中的两个或两个以上的 k 矢量的第一子集位于第一 k 空间环内; 第二ICG区域被配置为将 k 矢量集合平移到 k 空间中的位置, 使得用于颜色分量中的两个或两个以上的 k 矢量的第二子集位于第二 k 空间环内; 第三ICG区域被配置为将 k 矢量集合平移到 k 空间中的位置, 使得用于颜色分量中的两个或两个以上的 k 矢量的第三子集位于第三 k 空间环内; 以及用于输入图像的相应颜色分量的 k 矢量的第一、第二和第三子集至少部分不同, 但是一起包括用于输入图像的颜色分量的 k 矢量的完整集合。

[0683] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 其中, 第一ICG区域包括多个空间分离的子部分, 每个子部分对应于颜色分量中的一个; 第二ICG区域包括多个空间分离的子部分, 每个子部分对应于颜色分量中的一个; 以及第三ICG区域包括多个空间分离的子部分, 每个子部分对应于颜色分量中的一个。

[0684] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 其中, 第三ICG区域具有小于10%的二阶衍射效率。

[0685] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 还包括: 光学滤波器, 其沿着输入光束的光路位于第二目镜波导之后, 光学滤波器被配置为选择性地吸收用于具有最短波长的颜色分量的输入光束。

[0686] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 其中, 光学滤波器是黄色滤波器, 其吸收蓝光的至少90%。

[0687] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 其中, 光学滤波器被配置为选择性地吸收用于具有两个最短波长的两个颜色分量的输入光束。

[0688] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 其中, 光学滤波器是红色滤波器, 其吸收绿光和蓝光的至少90%。

[0689] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统, 其中, 光学滤波器是提供在第二

目镜波导与第三目镜波导之间的组件。

[0690] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,光学滤波器是提供在第三目镜波导中的管芯。

[0691] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一和第二ICG区域具有5-90%的一阶衍射效率。

[0692] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一ICG区域被配置为使得k矢量的第二子集通过而不被衍射。

[0693] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一和第二目镜波导具有1.5-2.1的折射率。

[0694] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一和第二目镜波导具有相同尺寸。

[0695] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,其中,第一目镜波导和第二目镜波导横向对准,并且通过间隙纵向分离。

[0696] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,还包括:第一正交光瞳扩展器(OPE)区域、或第一多向光瞳扩展器(MPE)区域、或第一组合光瞳扩展器-提取器(CPE)区域,其形成在第一目镜波导上或中,第一OPE、MPE或CPE区域被配置为接收对应于k矢量的第一子集的光束,并且在第一目镜波导的空间分布部分上复制它们;以及第二OPE区域、或第二MPE区域、或第二CPE区域,其形成在第二目镜波导上或中。第二OPE、MPE或CPE区域被配置为接收对应于k矢量的第二子集的光束,并且在第二目镜波导的空间分布部分上复制它们。

[0697] 根据任何前述实施例所述的增强现实显示系统,还包括:第一输出耦合光栅区域,其形成在第一目镜波导上或中,第一输出耦合光栅区域被配置为将k矢量的第一子集平移到第一k空间环的中心位置;以及第二输出耦合光栅区域,其形成在第二目镜波导上或中,第二输出耦合光栅区域被配置为将k矢量的第二子集平移到第二k空间环的中心位置,其中,k矢量的第一和第二子集一起包括对应于输入图像的k矢量的完整集合。

[0698] 附加考虑

[0699] 本文中关于任何目镜波导所描述的任何特征可替代地用本文所描述的任何其他目镜波导实现。

[0700] 除非上下文另外明确要求,否则在整个说明书和权利要求书中,词语“包括”、“包括了”、“包含”、“包含了”、“具有”和“具有了”等应以包含性的含义,而不是排他性或独占的含义来解释,也就是说,以“包括但不限于”的含义解释。如本文通常使用的,词语“耦接”是指两个或更多个元件可以直接连接或通过一个或多个中间元件连接。同样地,如本文通常使用的,词语“连接”是指两个或更多个元件可以直接连接或通过一个或多个中间元件连接。取决于上下文,“耦接”或者“连接”可以是指光学耦合或者光学连接,以使得光从一个光学元件耦合或者连接到另一光学元件。另外,当在本申请中使用,词语“本文”、“上面”、“下面”、“下文”、“上文”和类似含义的词语应当指该申请整体而不是本申请的任何特定部分。在上下文允许的情况下,上述具体实施方式中使用单数或复数的词语也可以分别包括复数或单数。关于两个或更多个项的列表的词语“或”是包含性的(而不是排他性的)“或”,并且“或”涵盖了该单词的以下所有解释:列表中的任一项、列表中的所有项,以及列表中的一个或多个项的任意组合,并且不排除被添加到列表的其他项。另外,在本申请和所附权利

要求书中使用的“一”、“一个”和“该”应被解释为表示“一个或多个”或“至少一个”，除非另有说明。

[0701] 如本文所使用的，涉及项目列表中的“至少一个”的短语是指这些项的任意组合，包括单个成员。例如，“A、B或C中的至少一个”旨在涵盖：A、B、C、A和B、A和C、B和C以及A、B和C。除非另外特别说明，否则诸如短语“X、Y和Z中的至少一个”之类的词语应与上下文一起理解，该上下文通常用于传达项目、术语等可以是X、Y或Z中的至少一个。因此，这种联合语言通常不旨在暗示某些实施例要求X中的至少一个、Y中的至少一个和Z中的至少一个存在。

[0702] 此外，除非另有明确说明或者在所使用的上下文内另有理解，否则本文使用的条件语，例如，除其他之外，“可 (can)”、“可以 (could)”、“也许 (might)”、“可能 (may)”、“例如 (e.g.)”、“例如 (for example)”、“诸如”等通常旨在表达某些实施例包括而其他实施例不包括某些特征、元件和/或状态。因此，这种条件语通常不旨在暗示一个或多个实施例以任何方式需要这些特征、元件和/或表述，或者暗示这些特征、元件和/或表述是否被包括在任何特定实施例中或者在任何特定实施例中执行。

[0703] 虽然已经描述了某些实施例，但是这些实施例仅以示例的方式给出，并且不旨在限制本公开的范围。任何一个实施例的特征可以与任何其他一个实施例的特征组合/或替代。本文已经描述了各种实施例的某些优点。但并非所有实施例必须实现这些优点中的每一个。

[0704] 已经结合附图描述实施例。然而，附图不按比例绘制。距离、角度等仅是说明性的，并且不一定与所示设备的实际尺寸和布局具有确切的关系。

[0705] 上述实施例已经在细节层次上描述以允许本领域普通技术人员制造和使用本文所描述的设备、系统、方法等。各种各样的变化是可能的。可以改变、添加、移除或重新排列组件、元件和/或步骤。虽然已经明确描述了某些实施例，但是基于本公开，其他实施例对于本领域普通技术人员将变得显而易见。

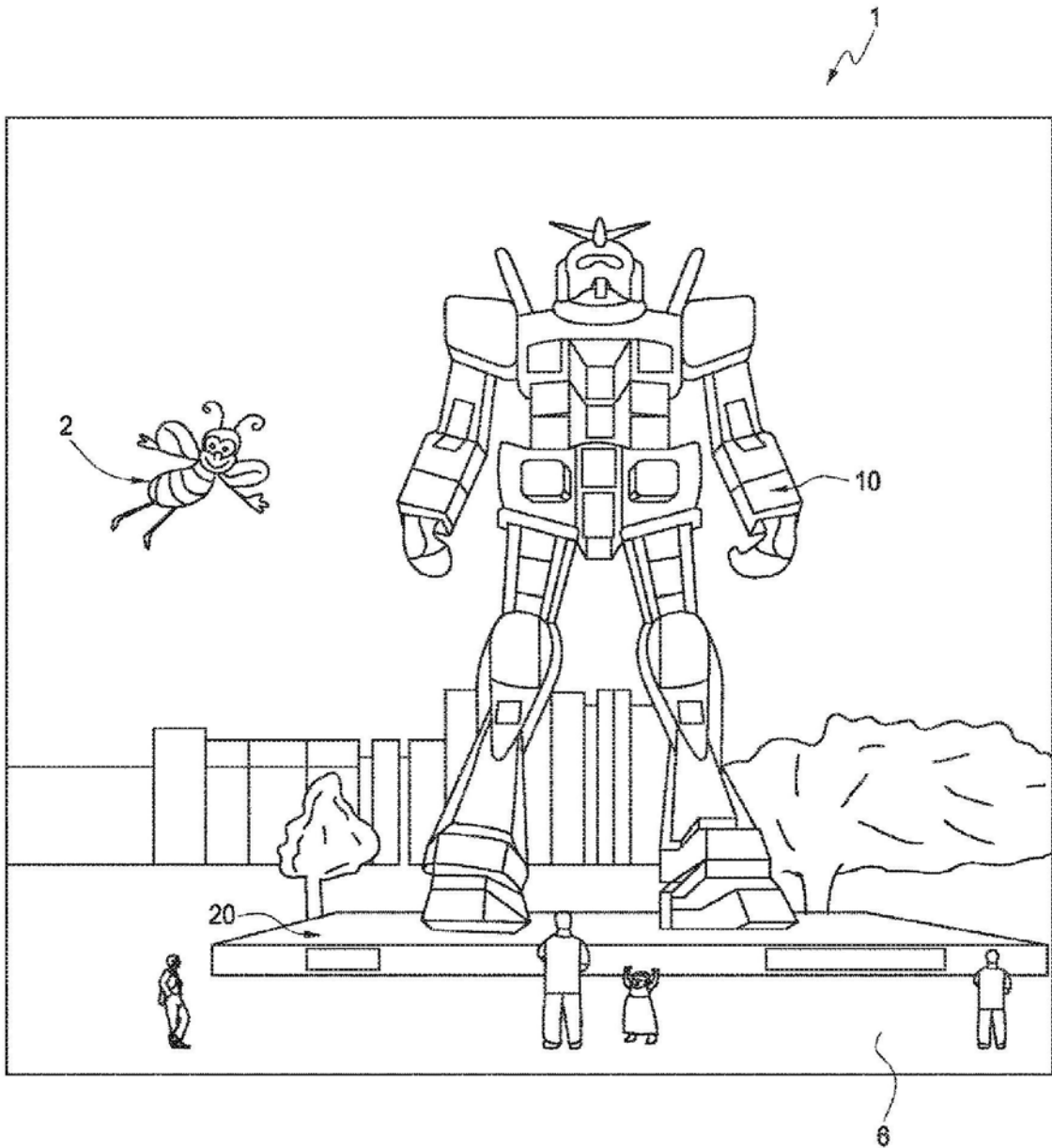


图1

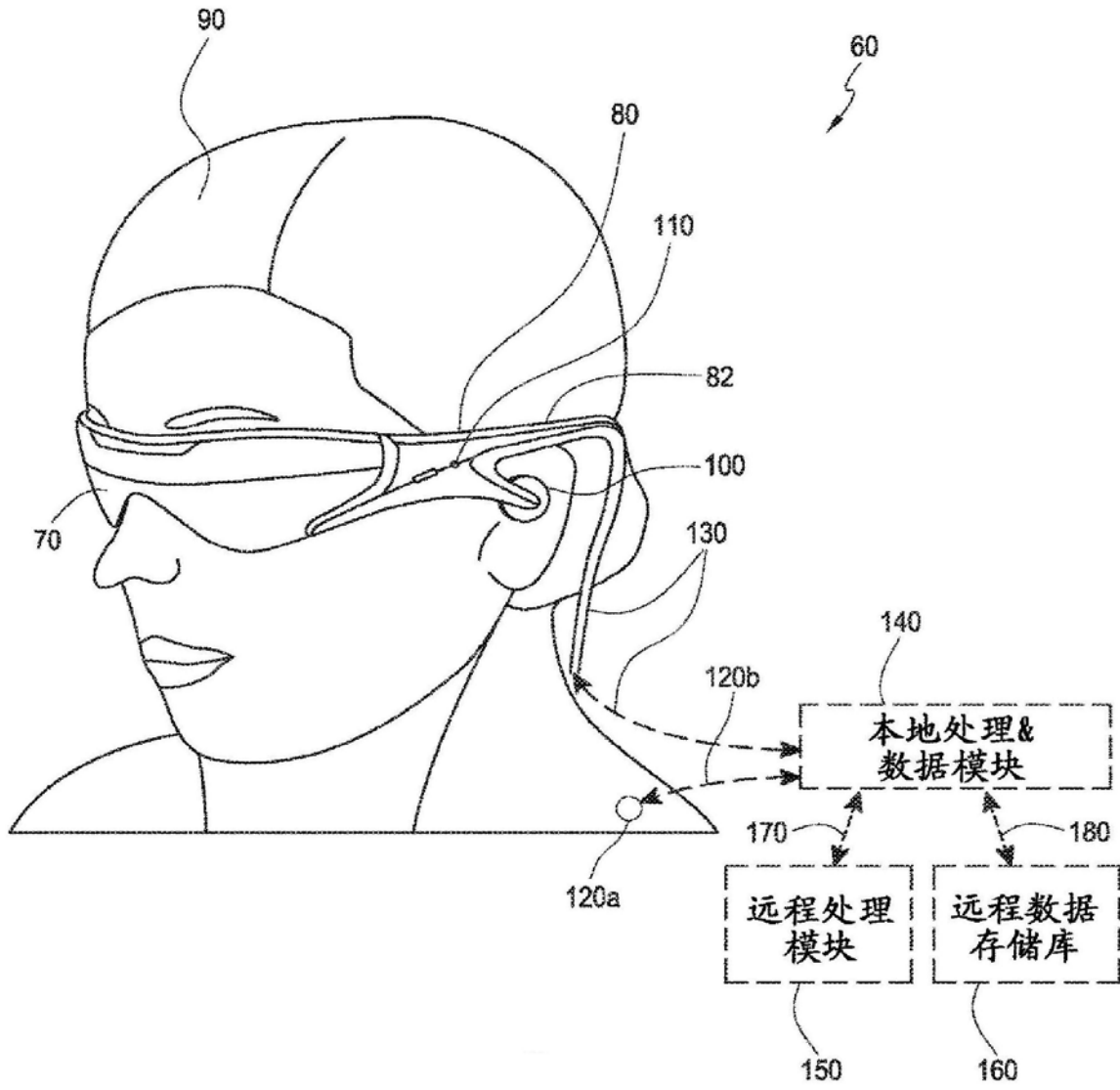


图2

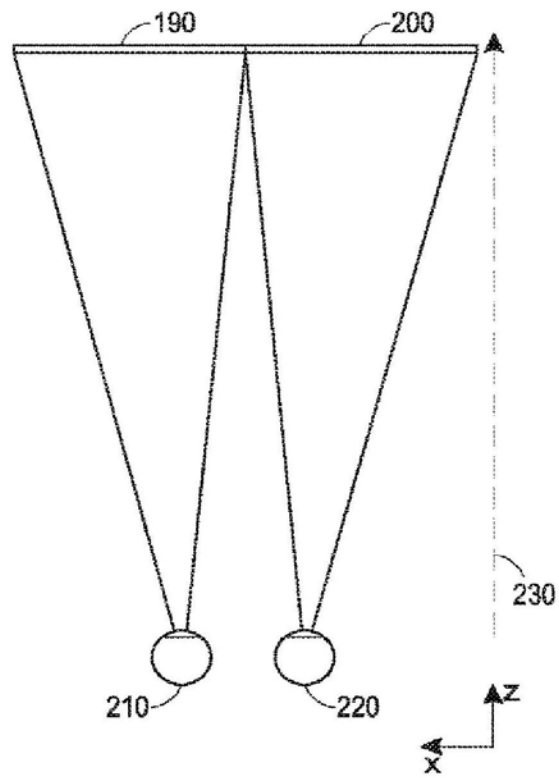


图3

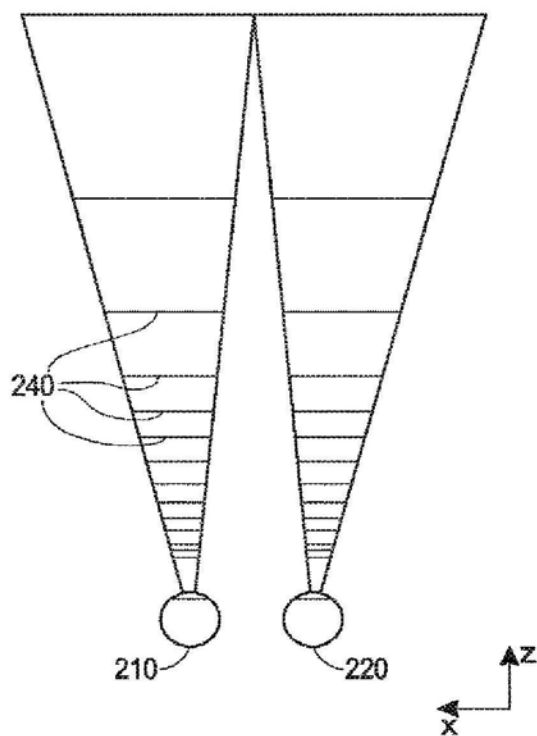


图4

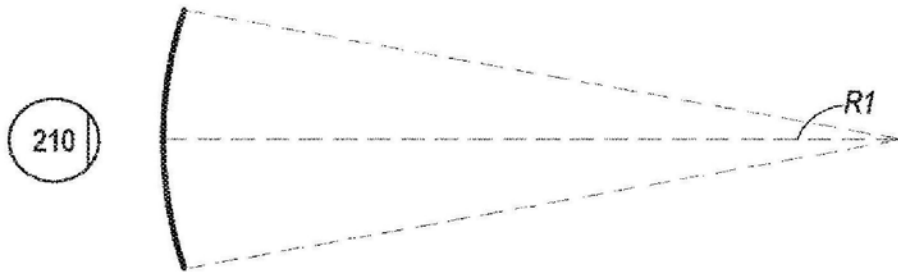


图5A

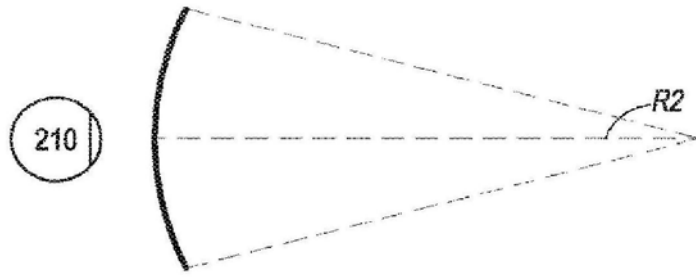


图5B

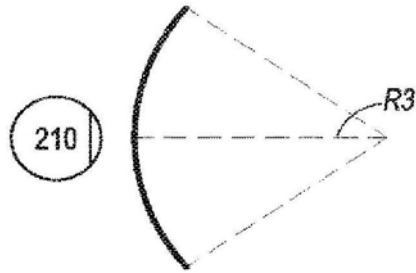


图5C

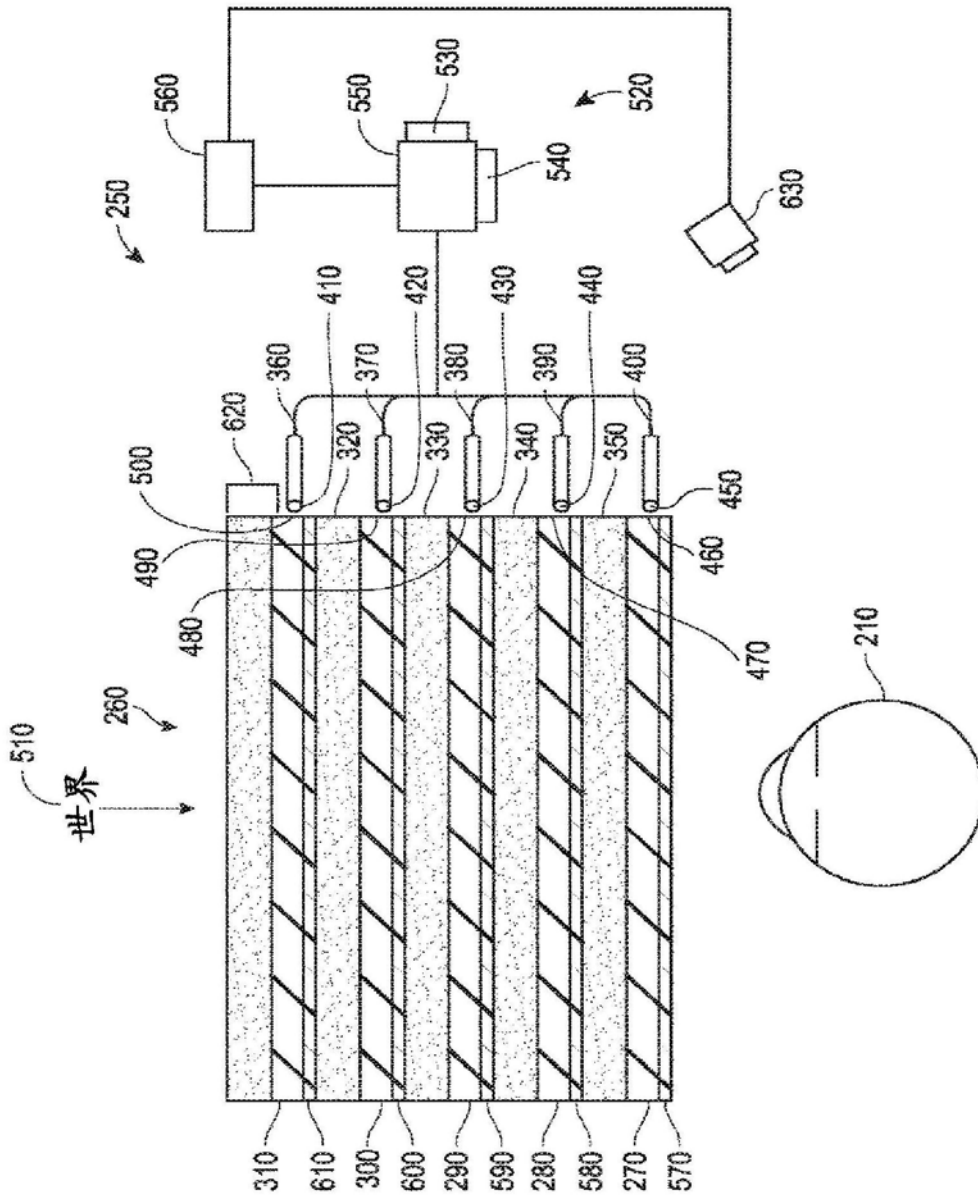


图6

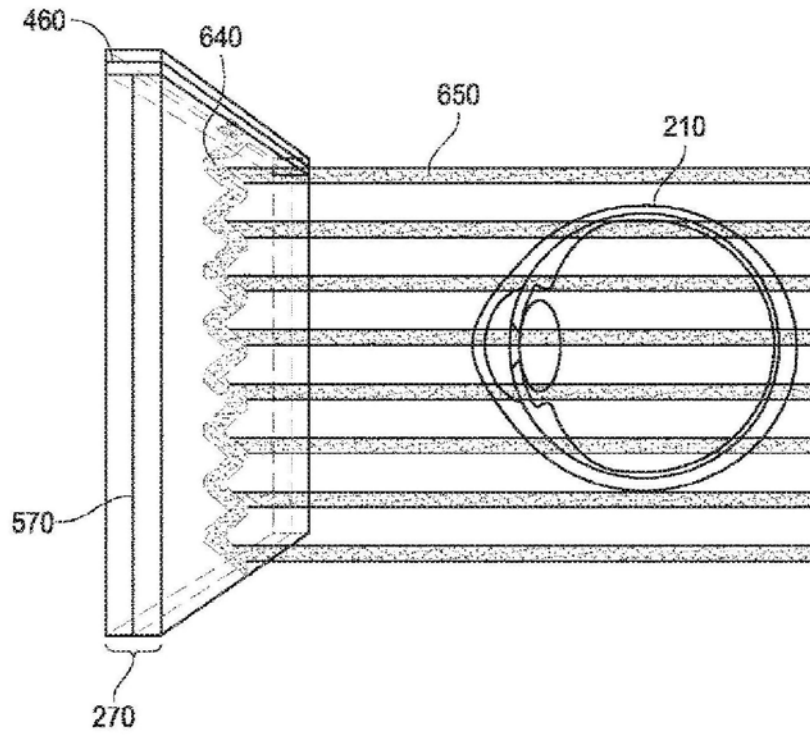


图7A

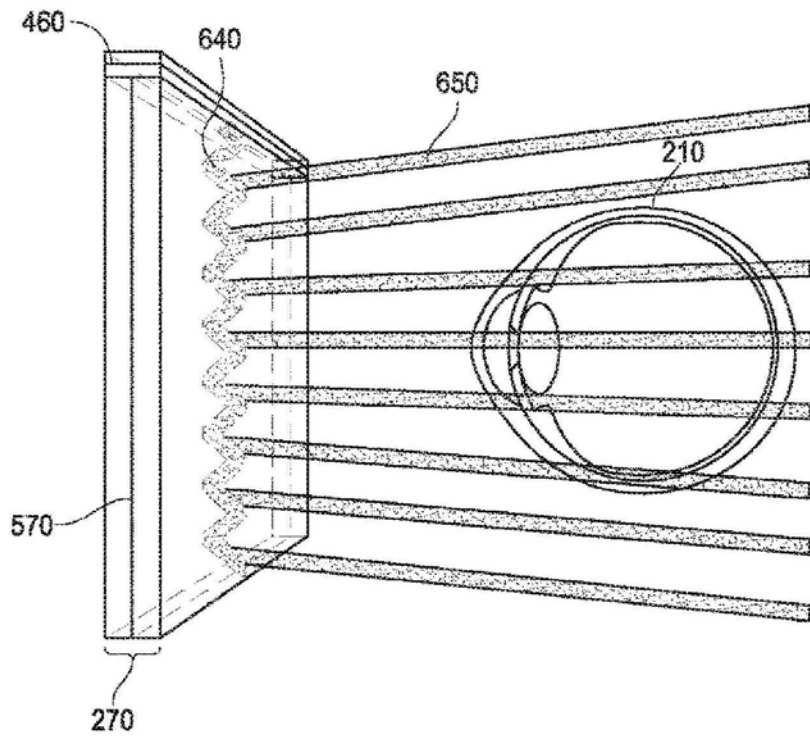


图7B

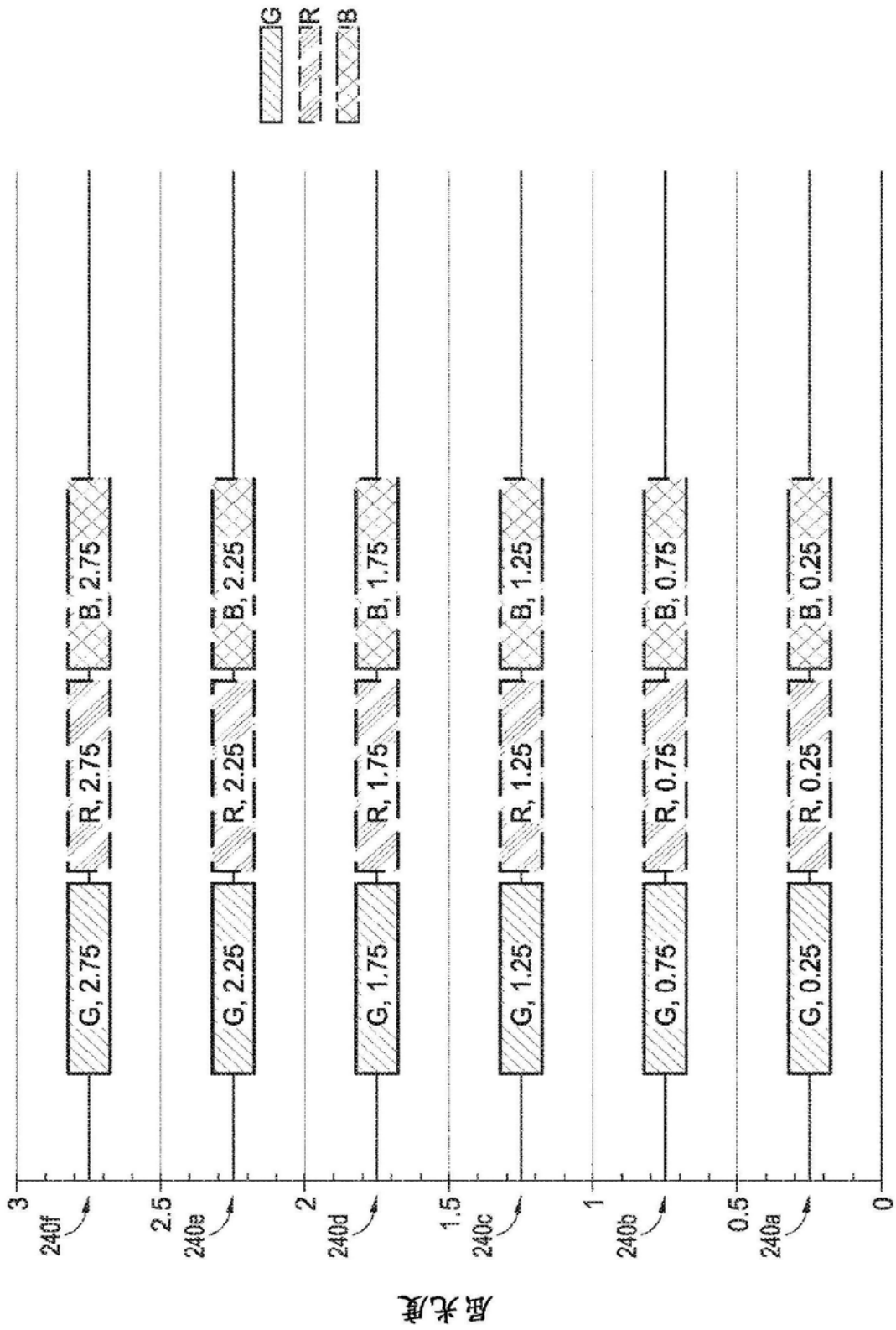


图8

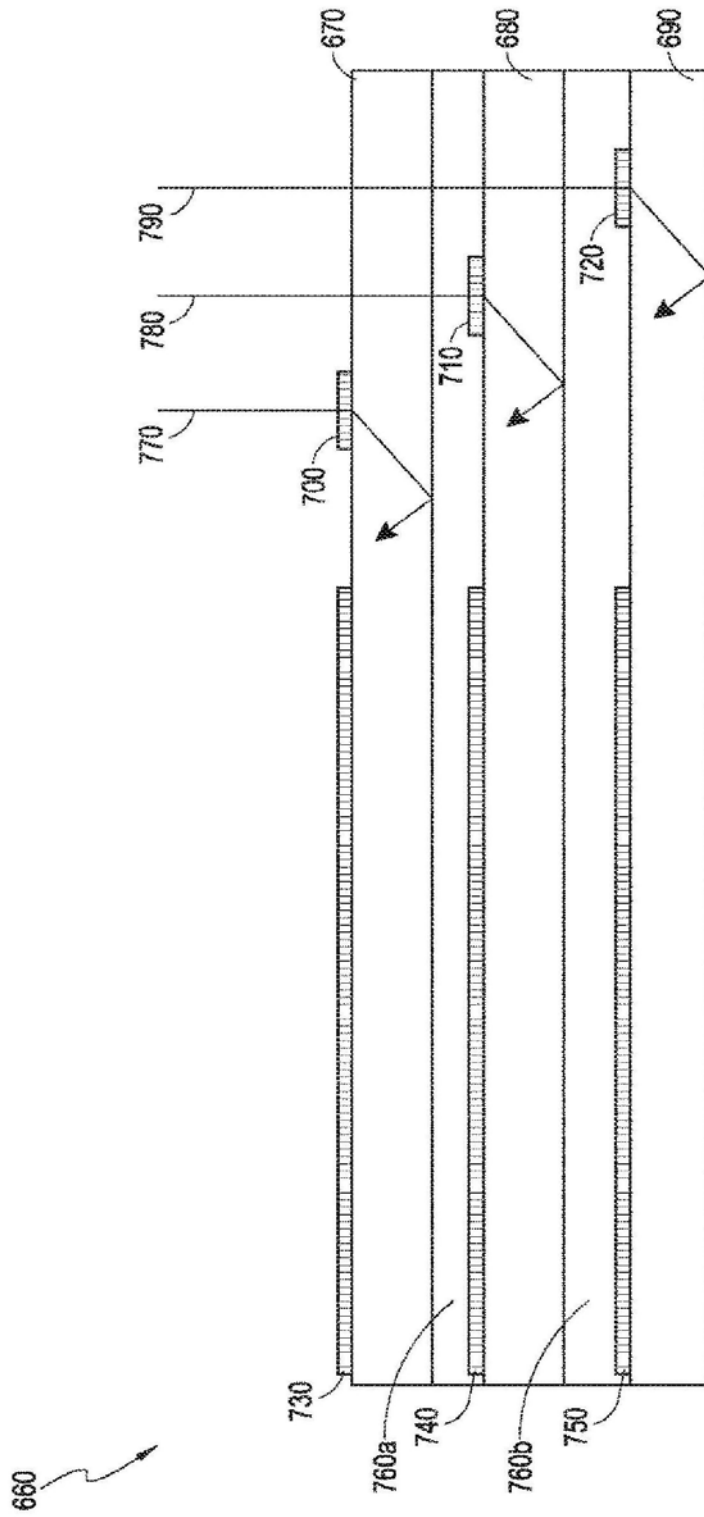


图9A

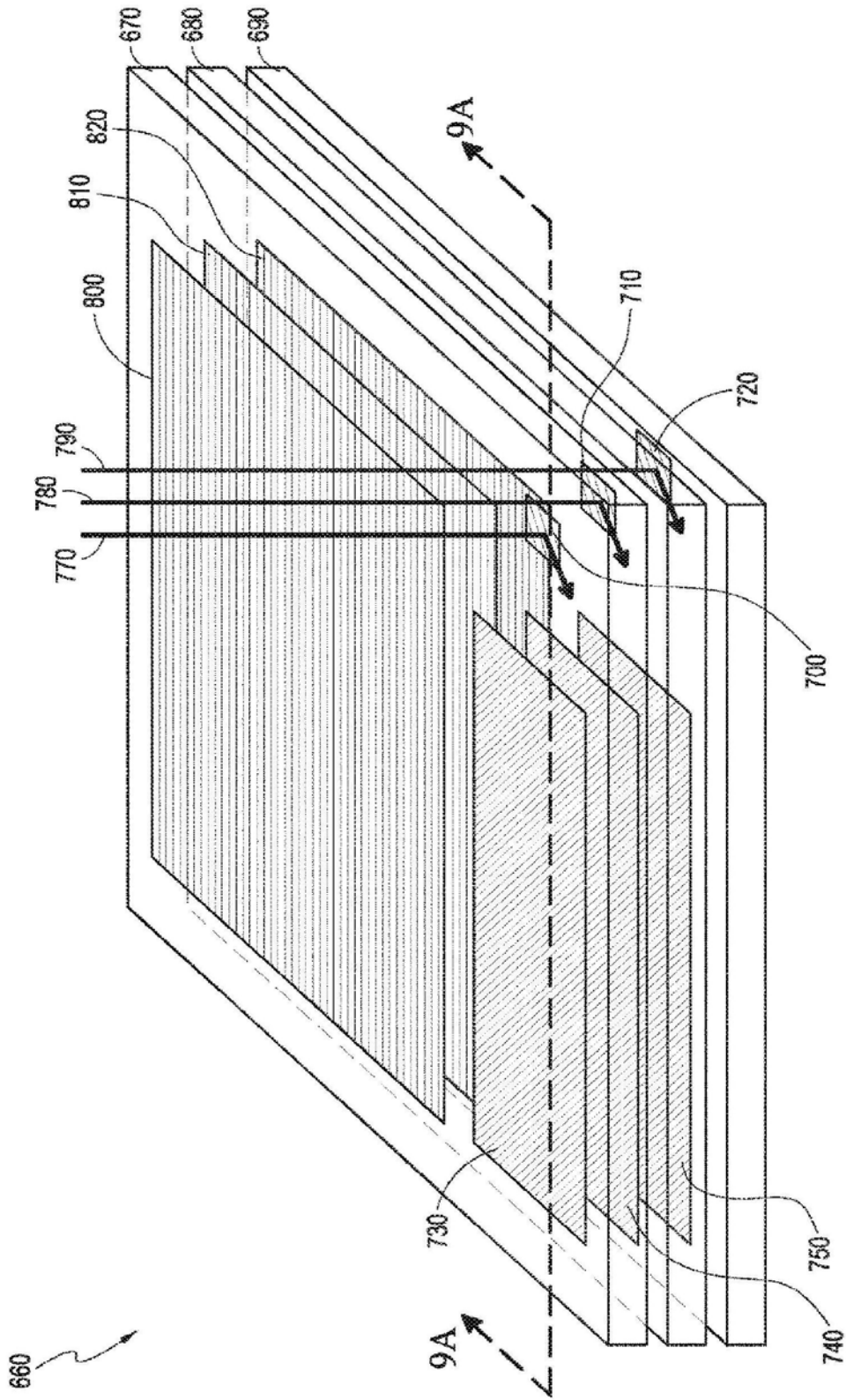


图9B

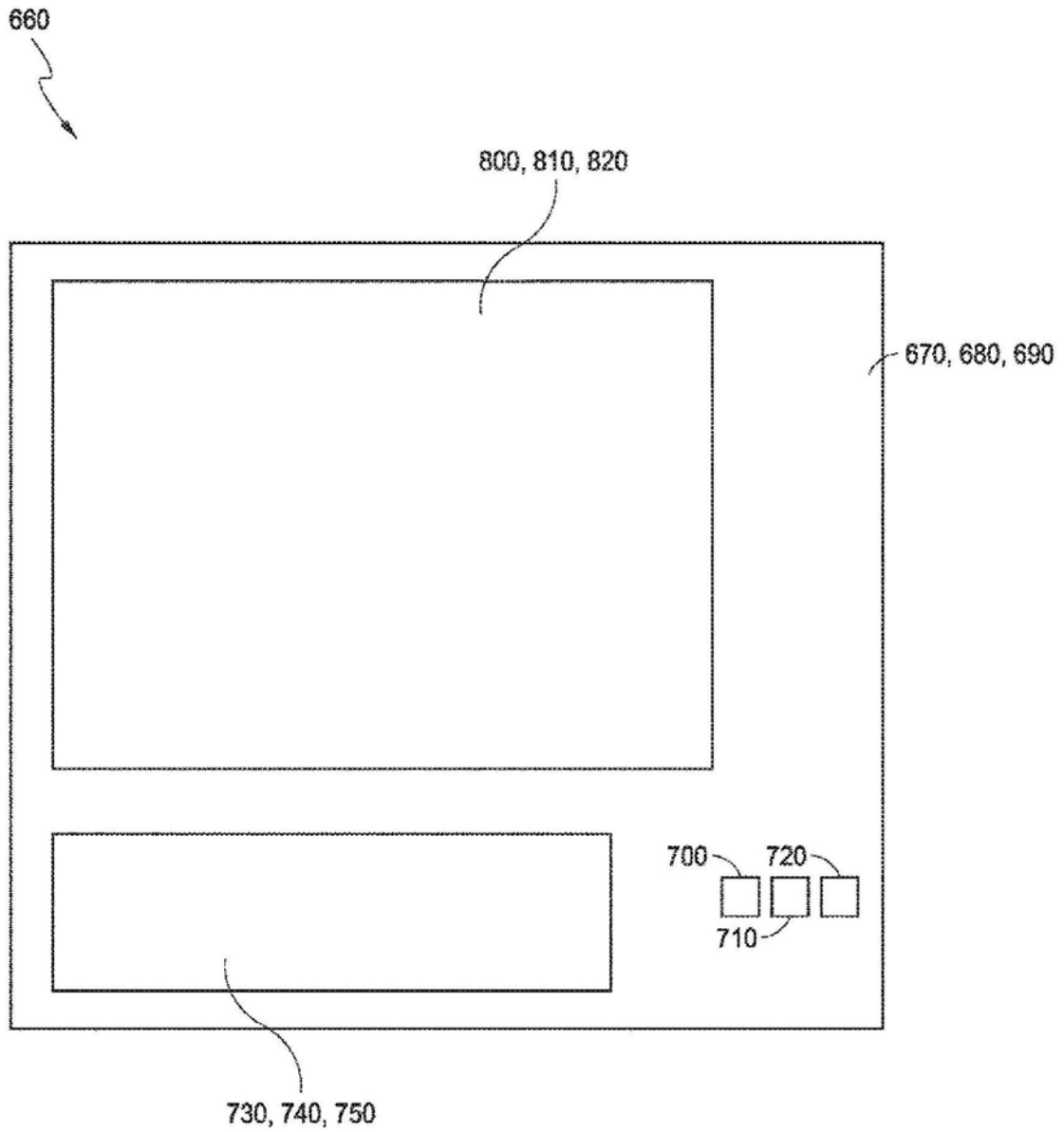


图9C

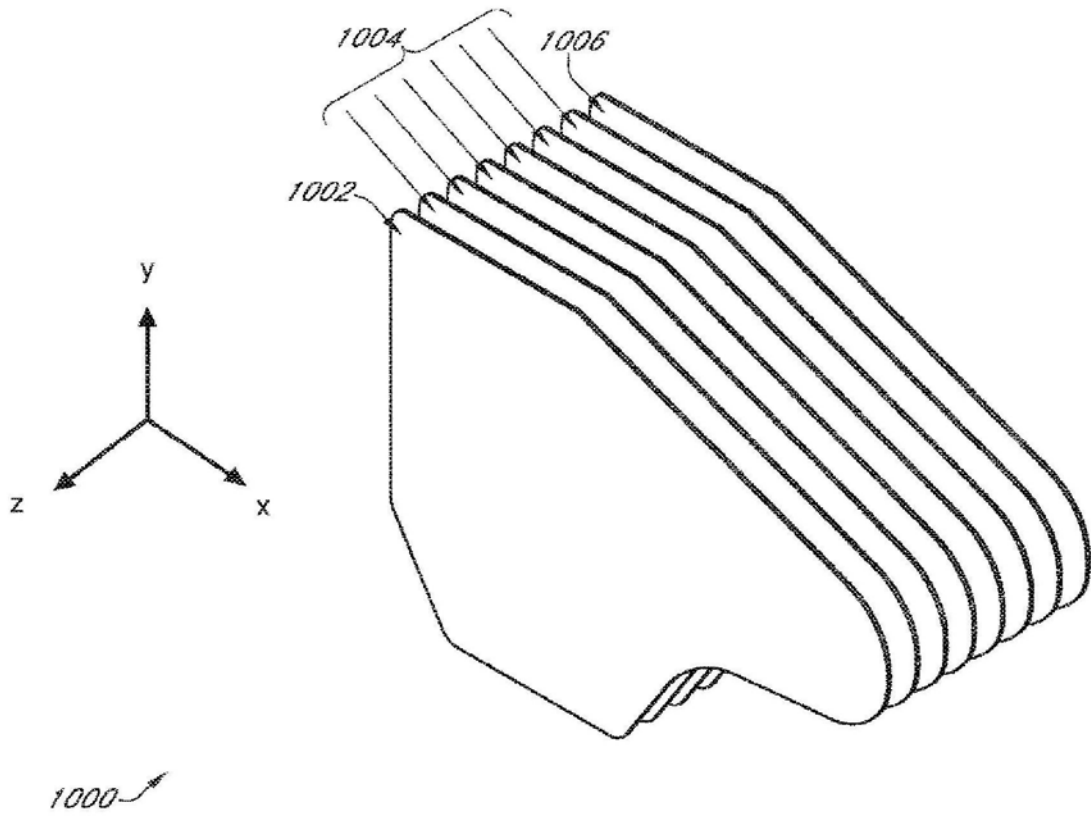


图10

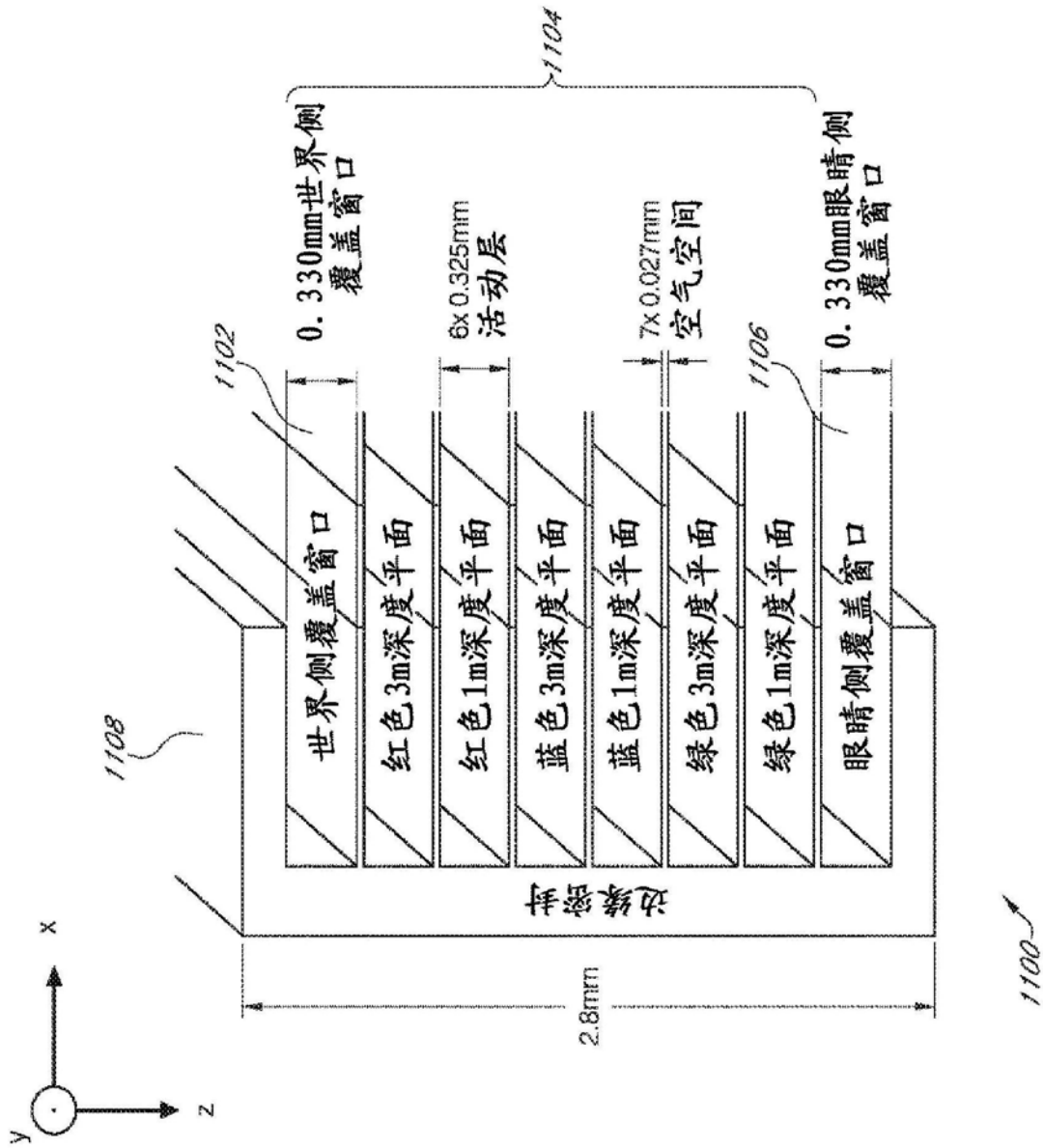


图11

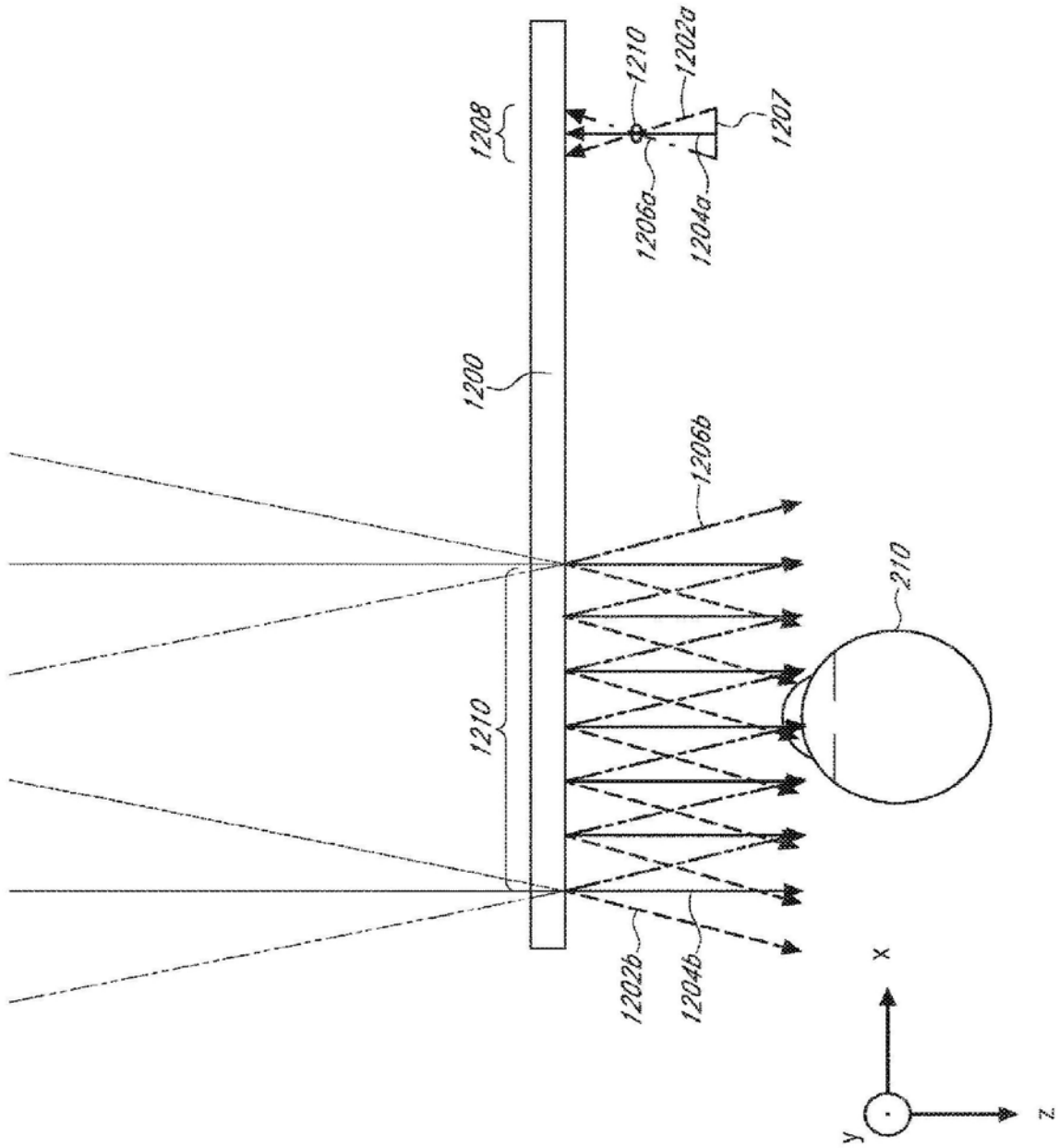


图12A

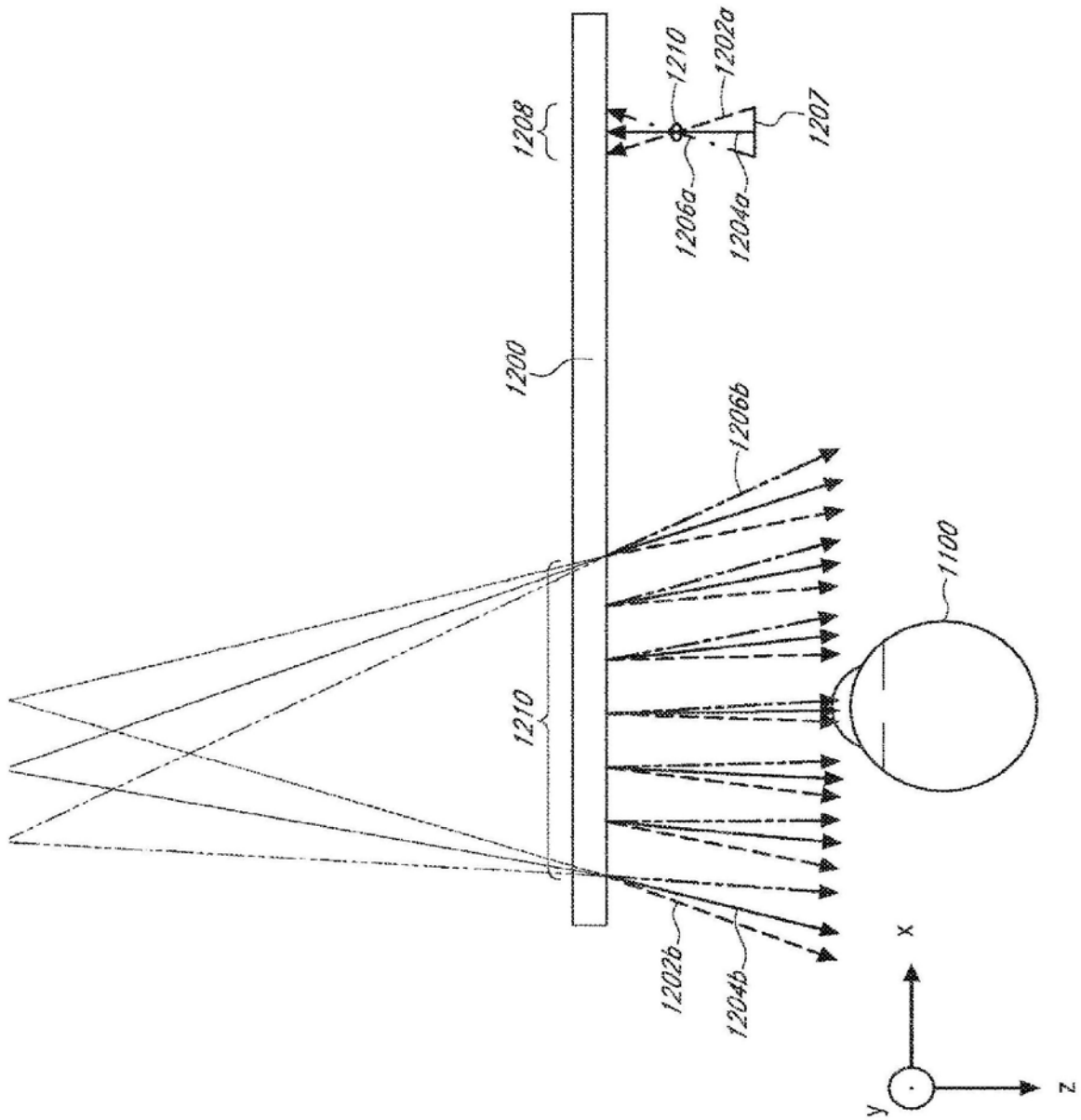


图12B

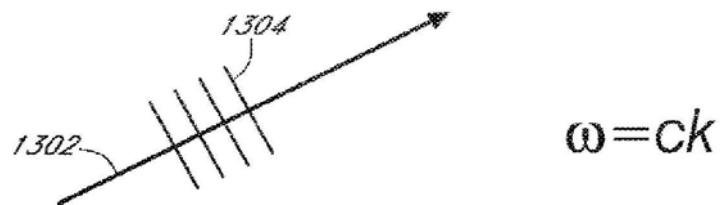


图13A

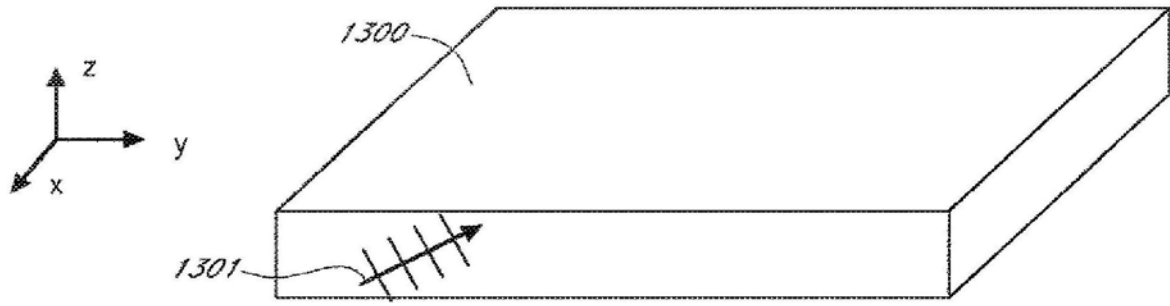


图13B

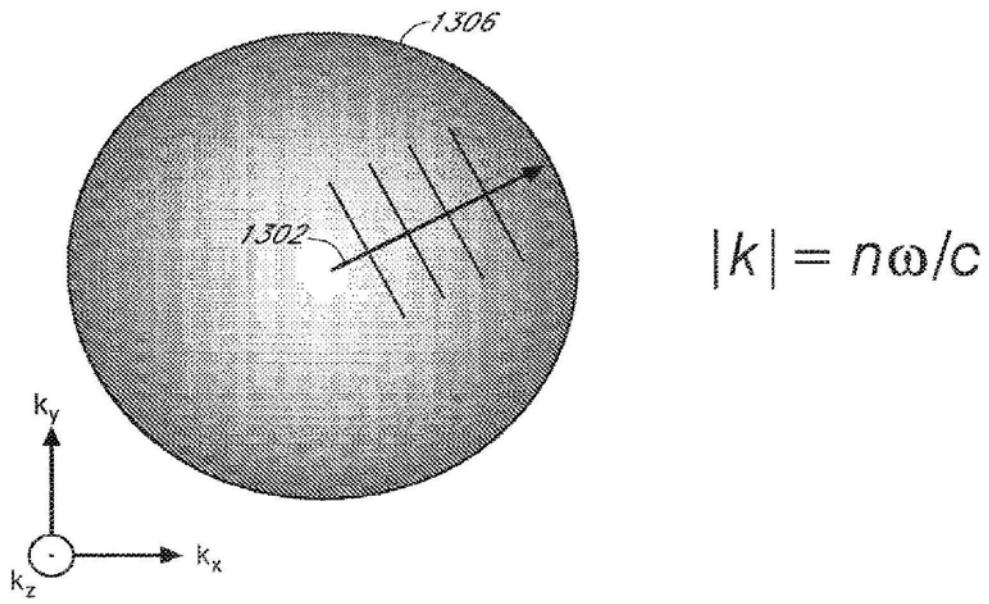


图13C

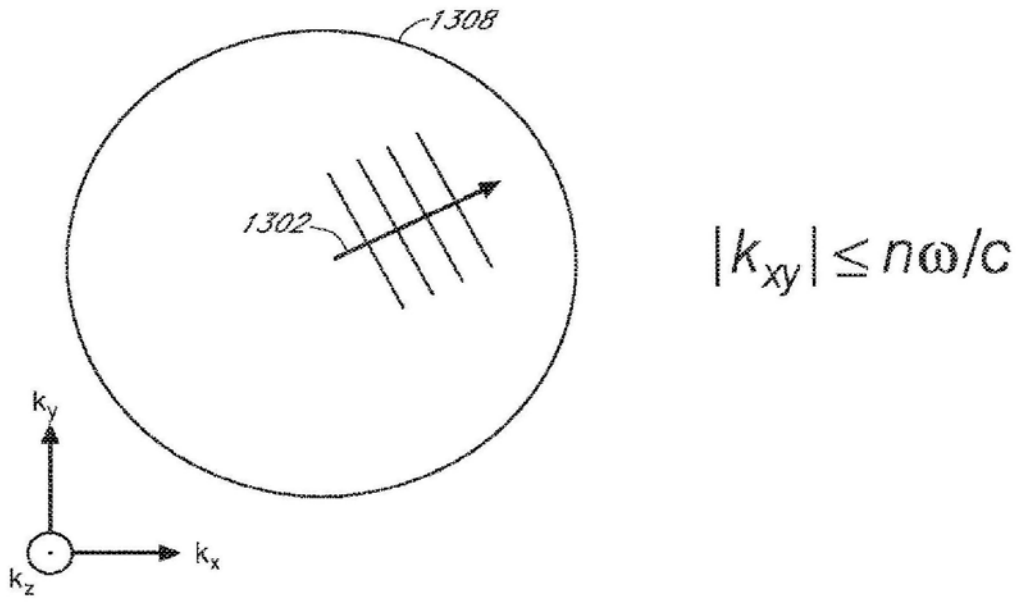


图13D

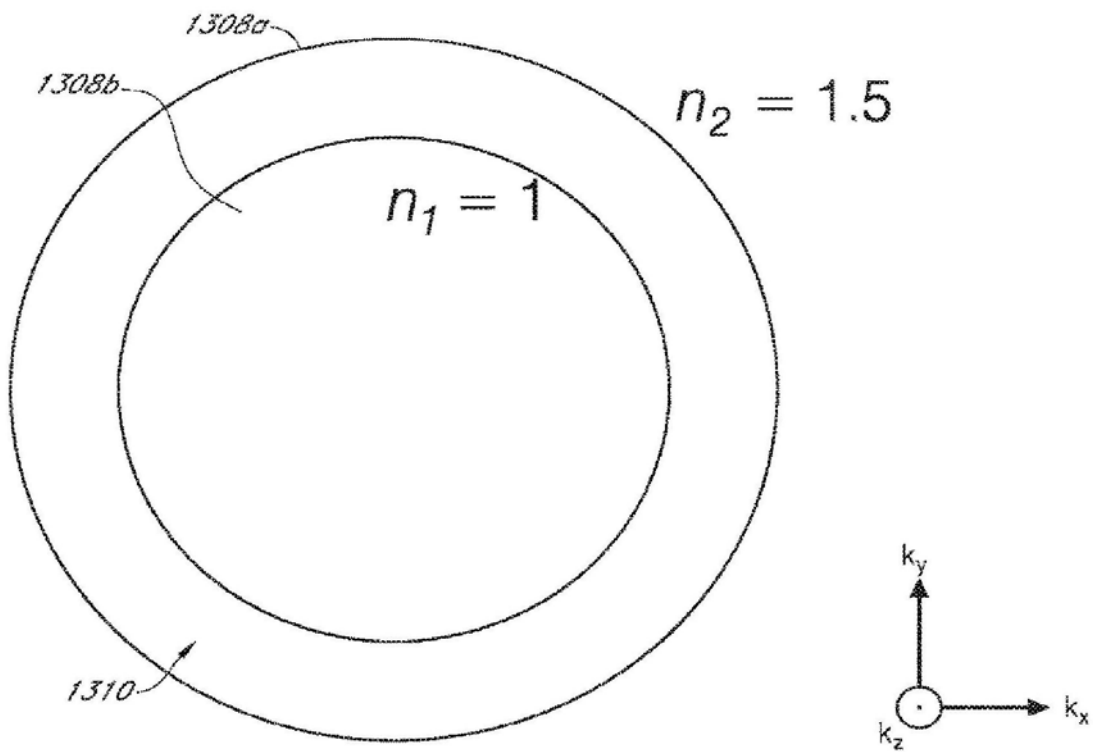


图13E

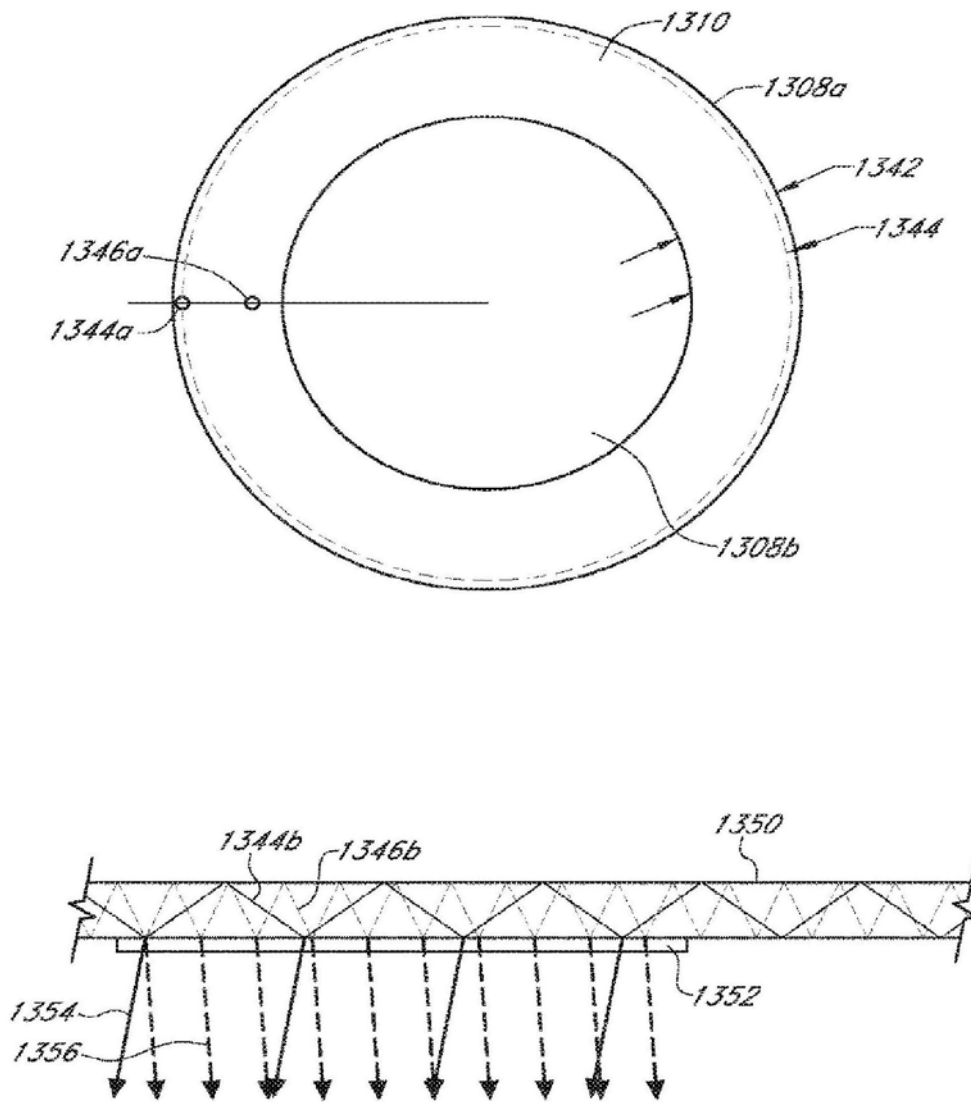


图13F

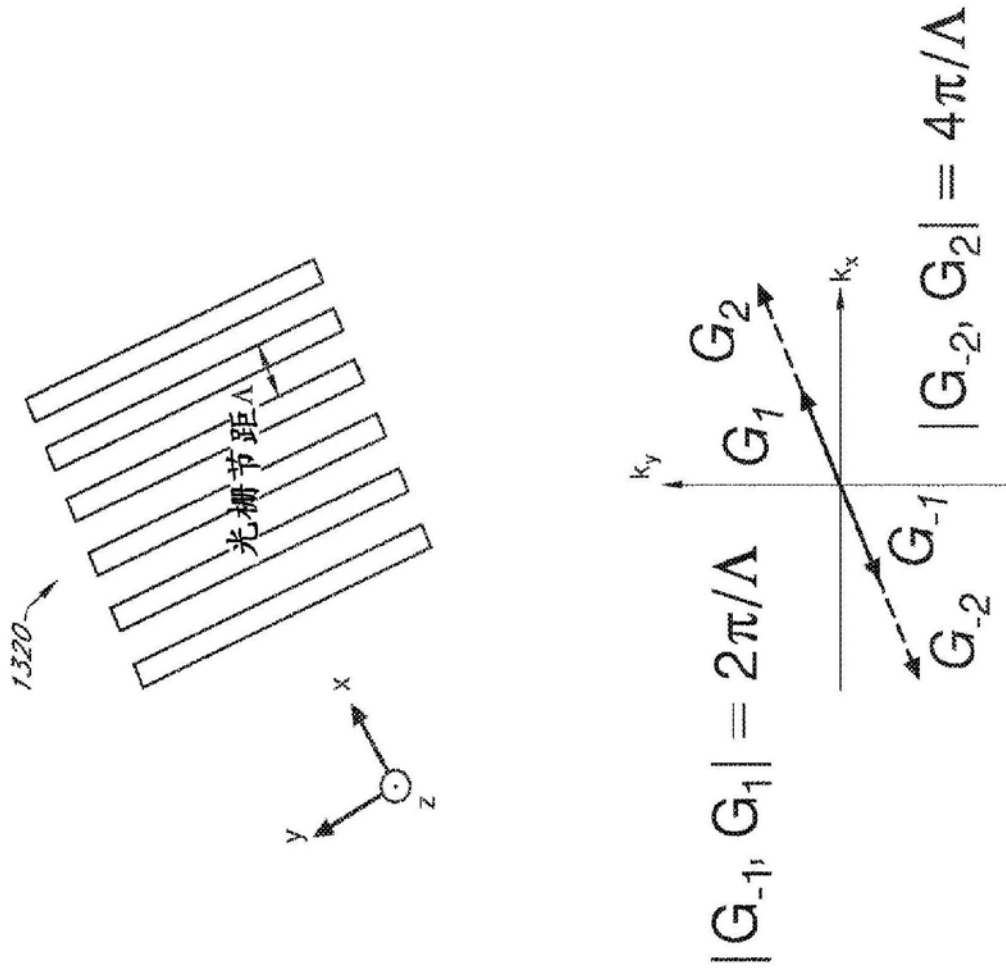


图13G

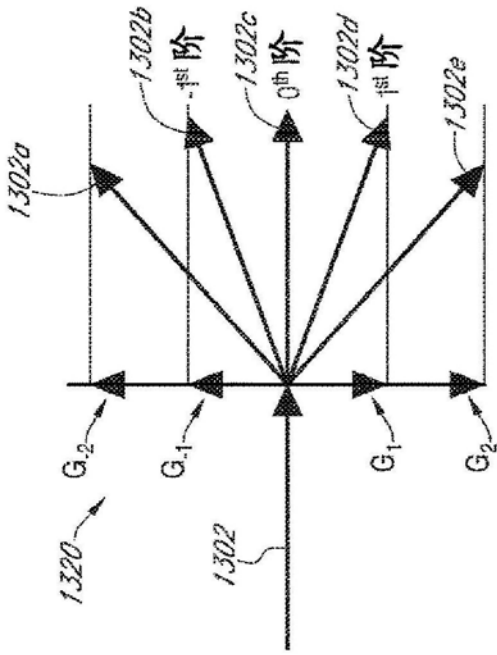


图13H

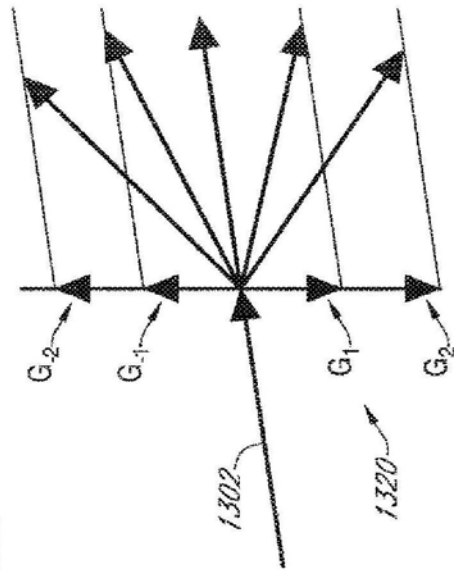
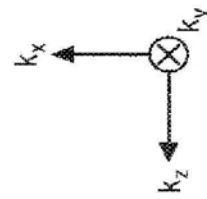


图13I



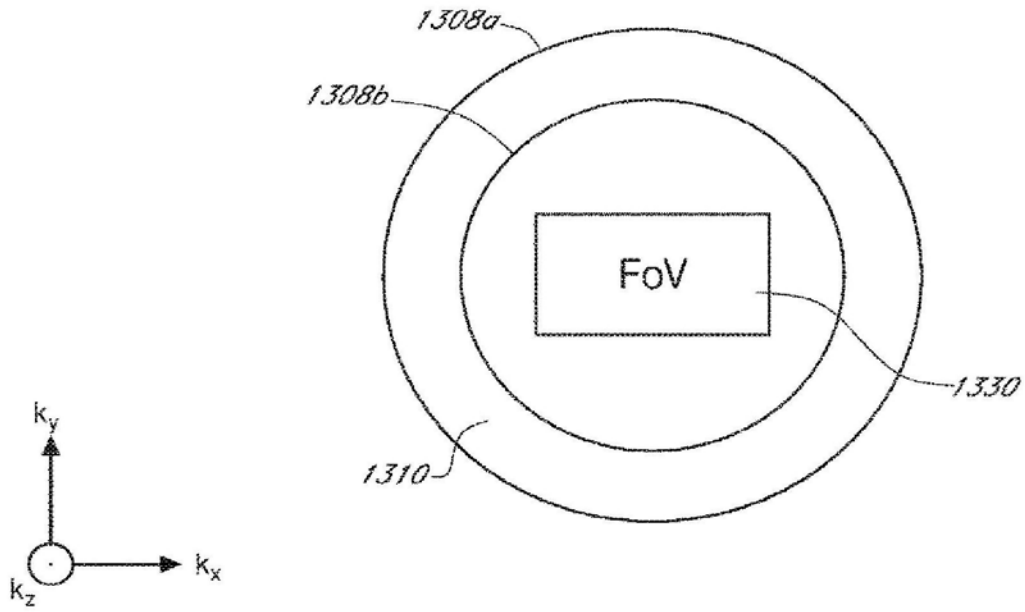


图13J

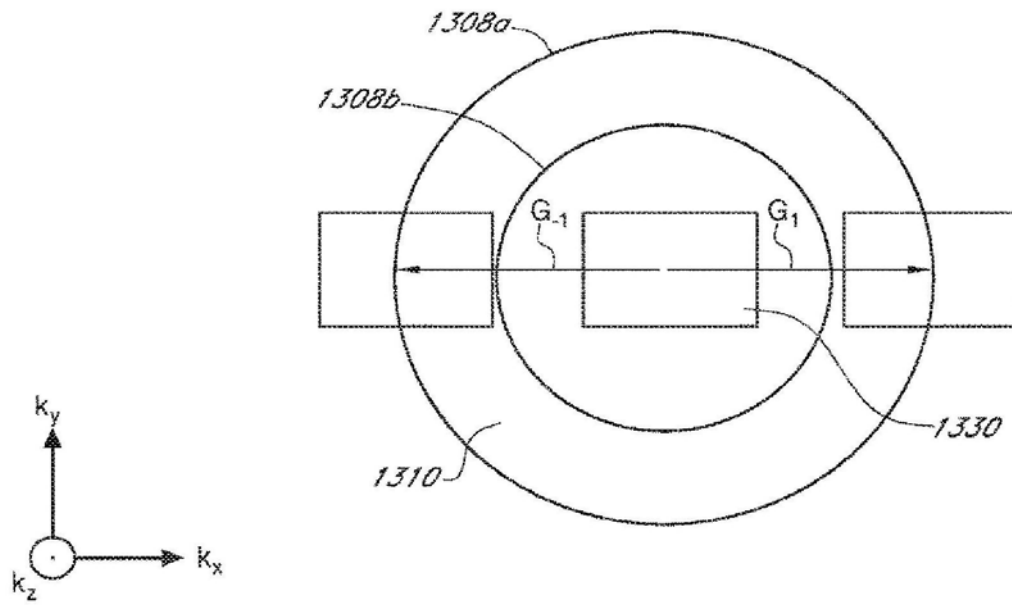


图13K

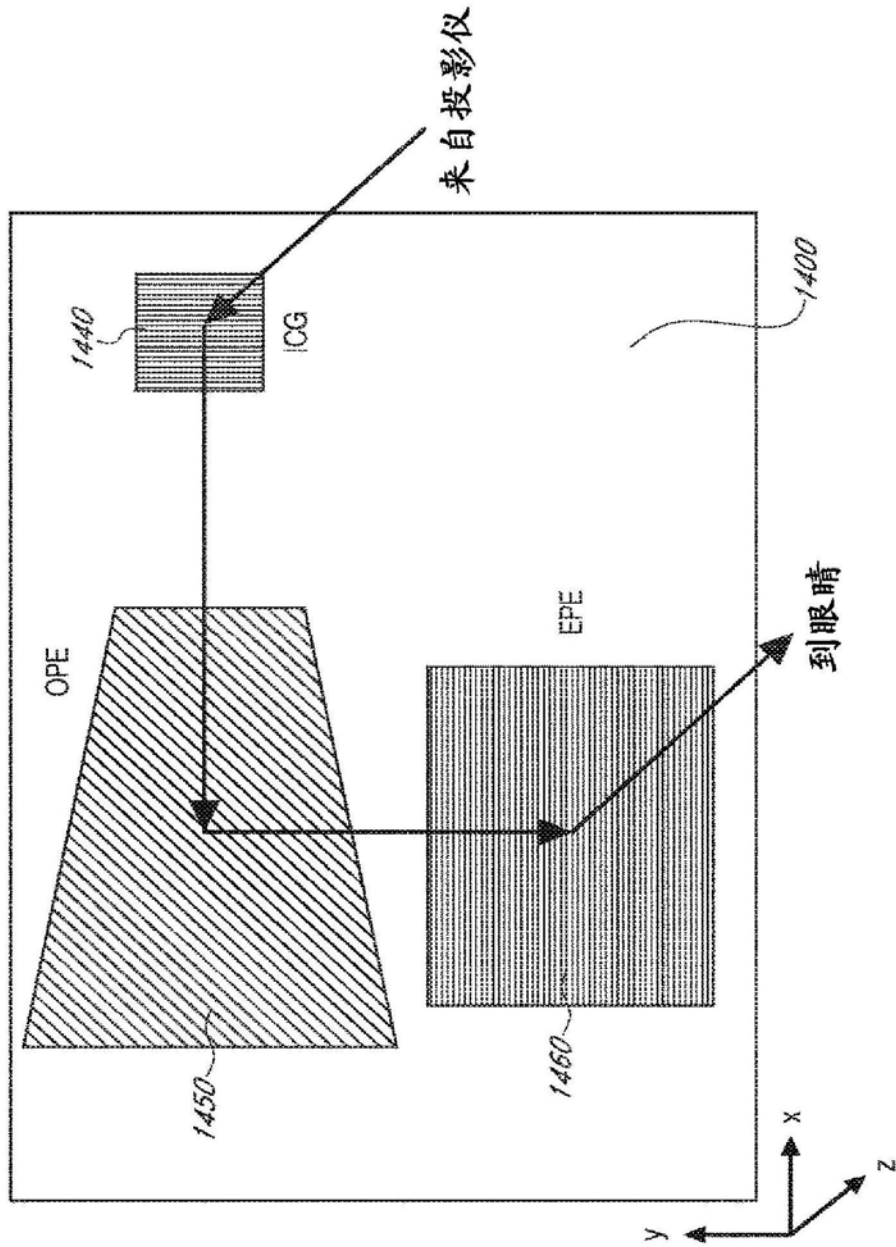


图14A

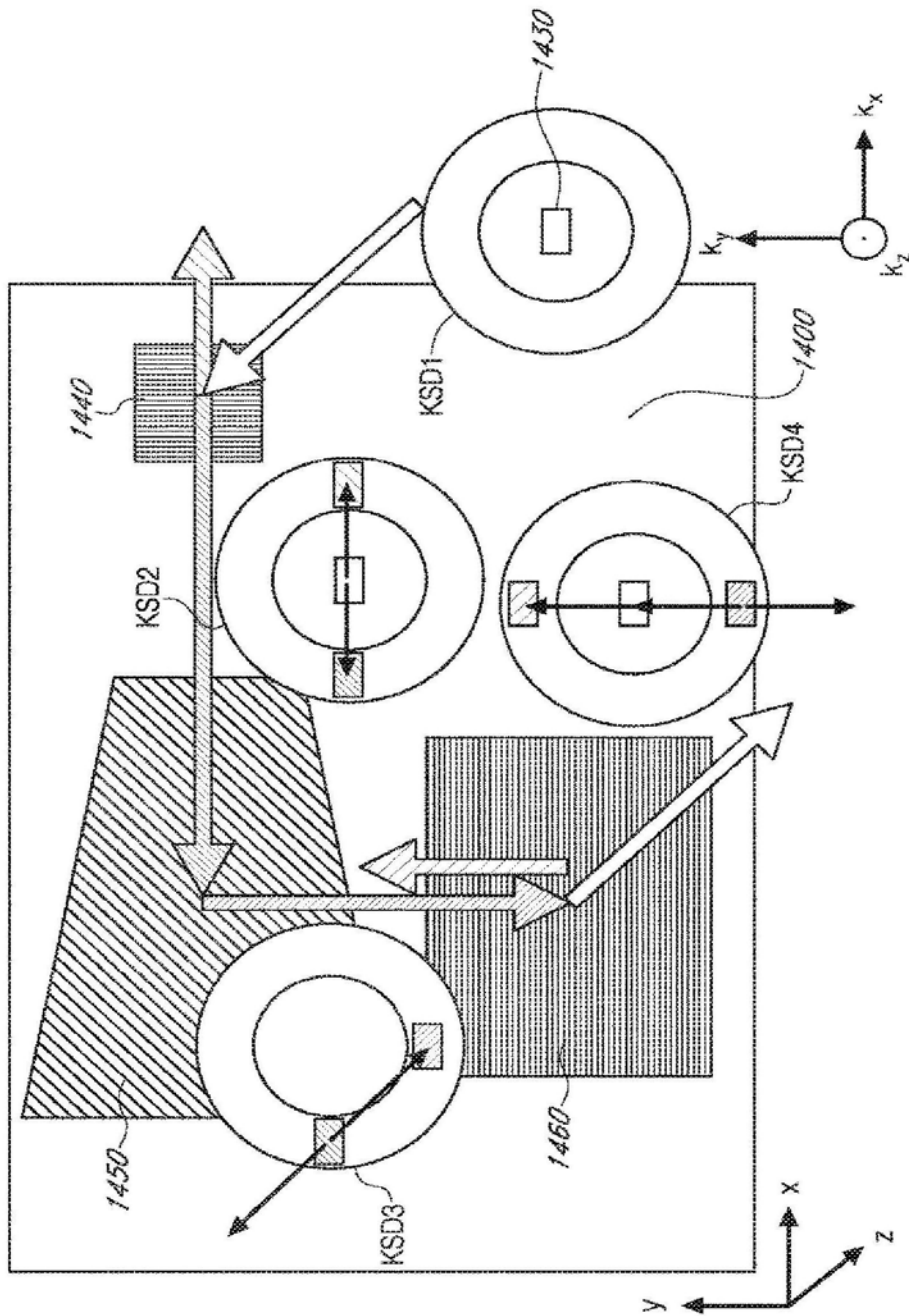


图14B

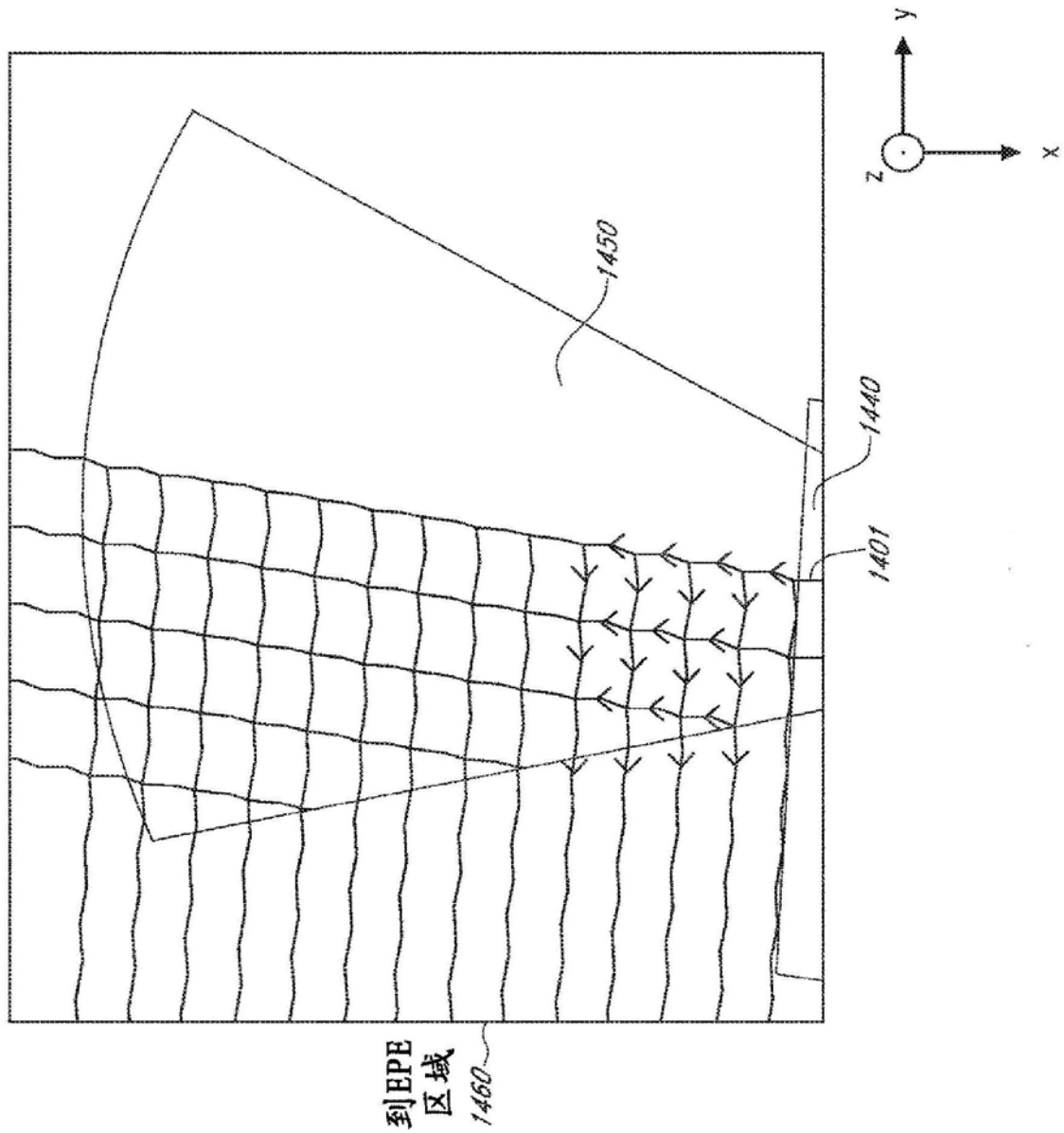


图14C

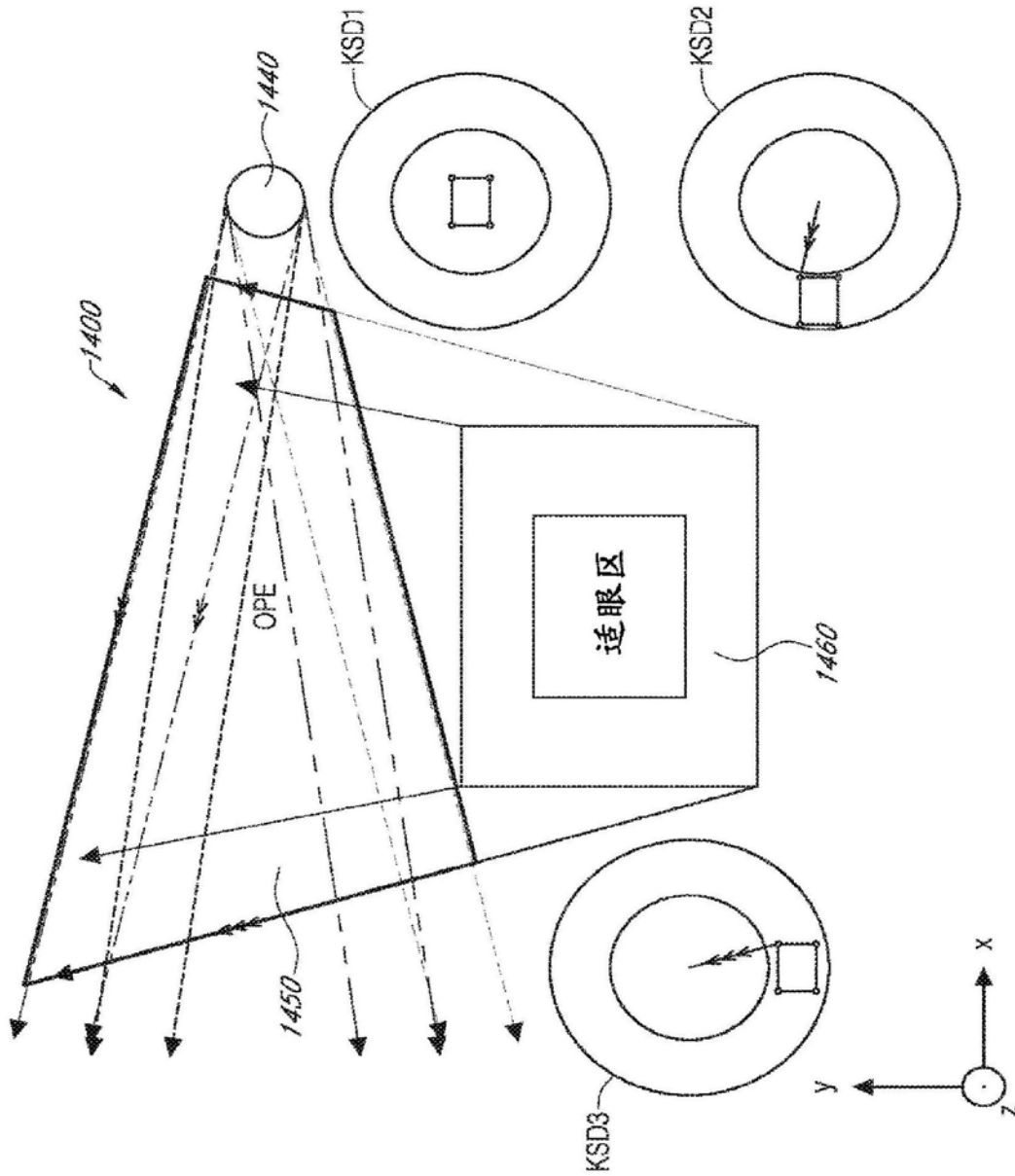


图14D

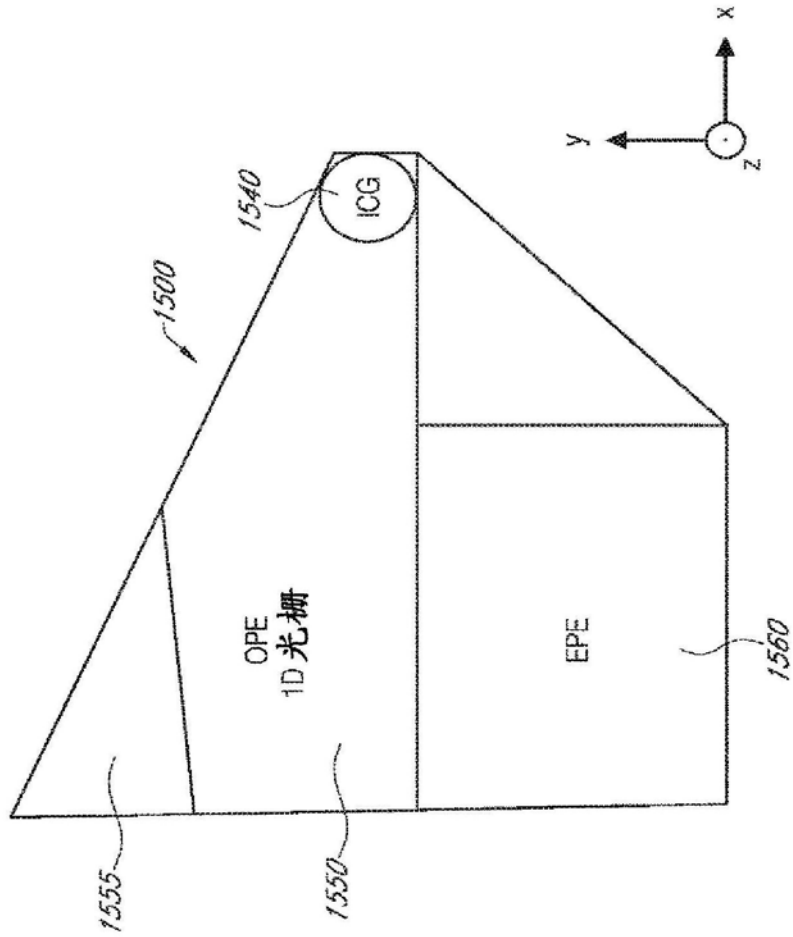


图15A

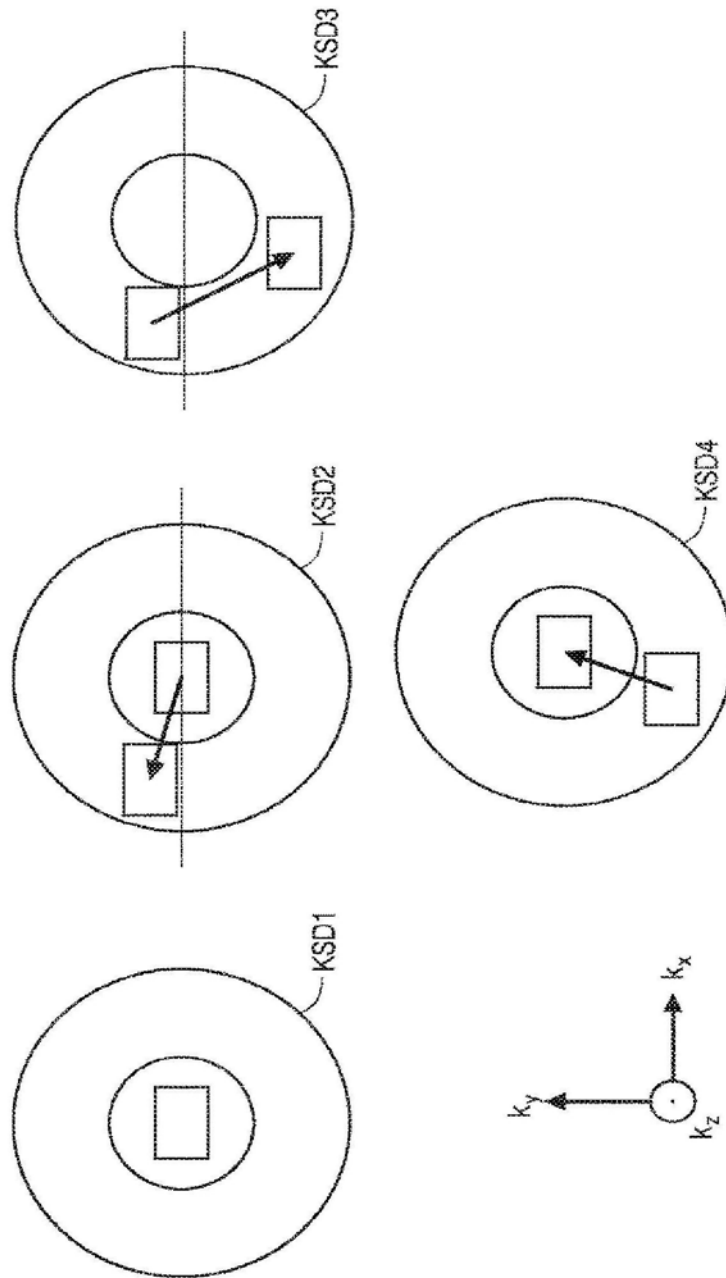


图15B

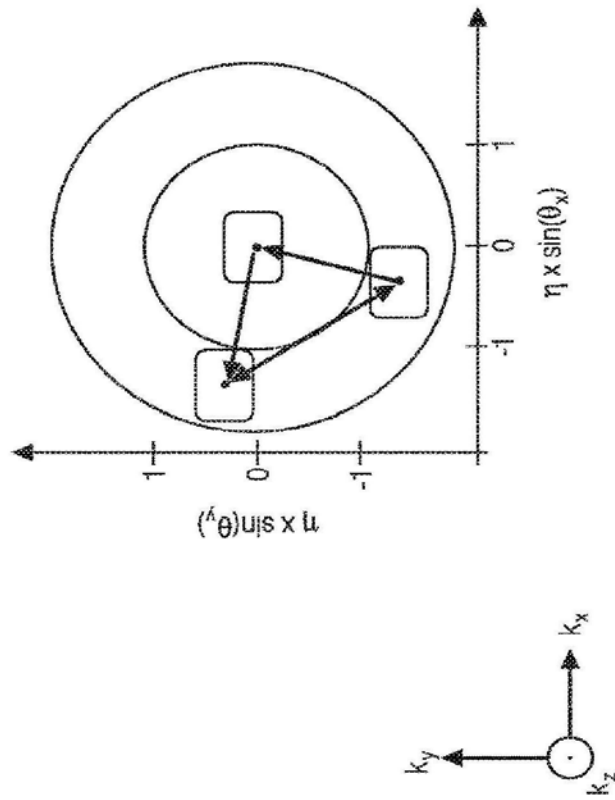


图15C

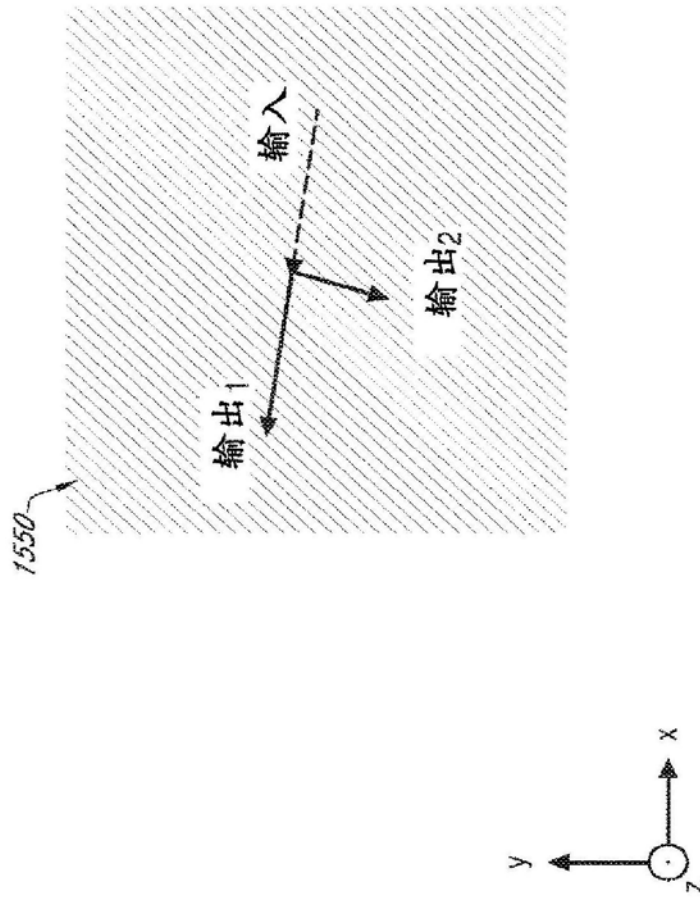


图15D

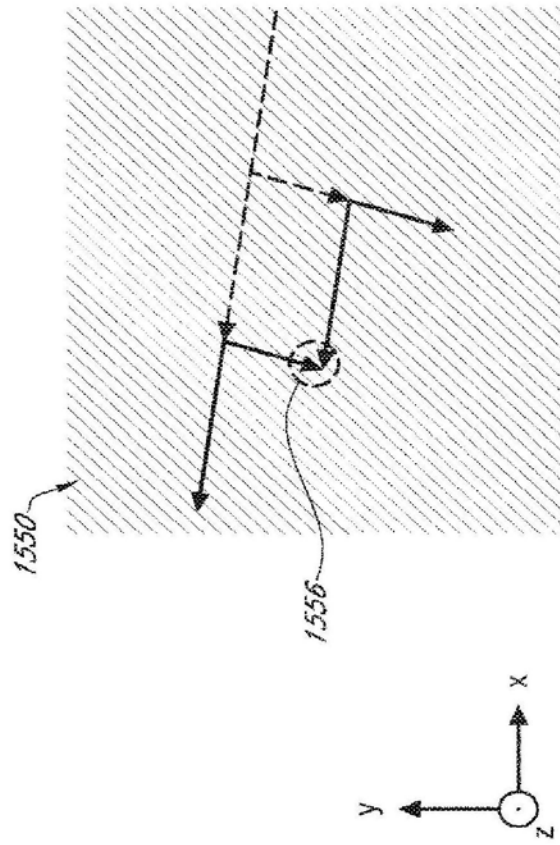


图15E

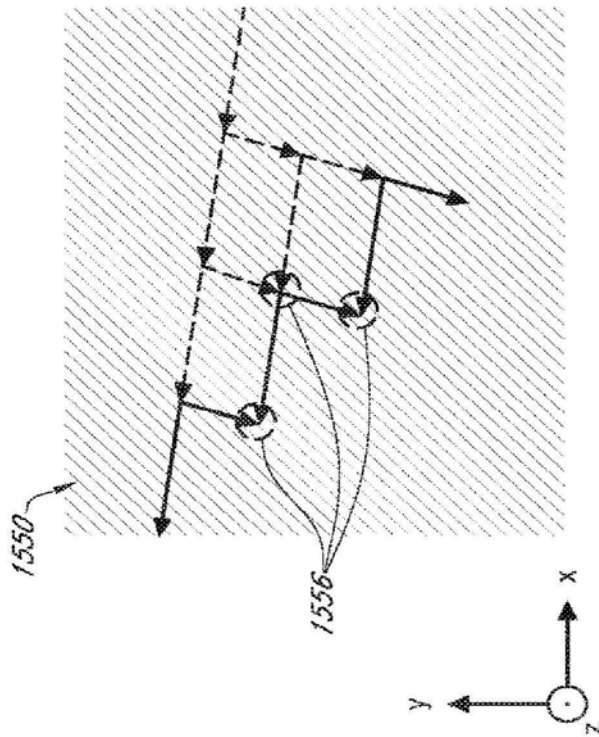


图15F

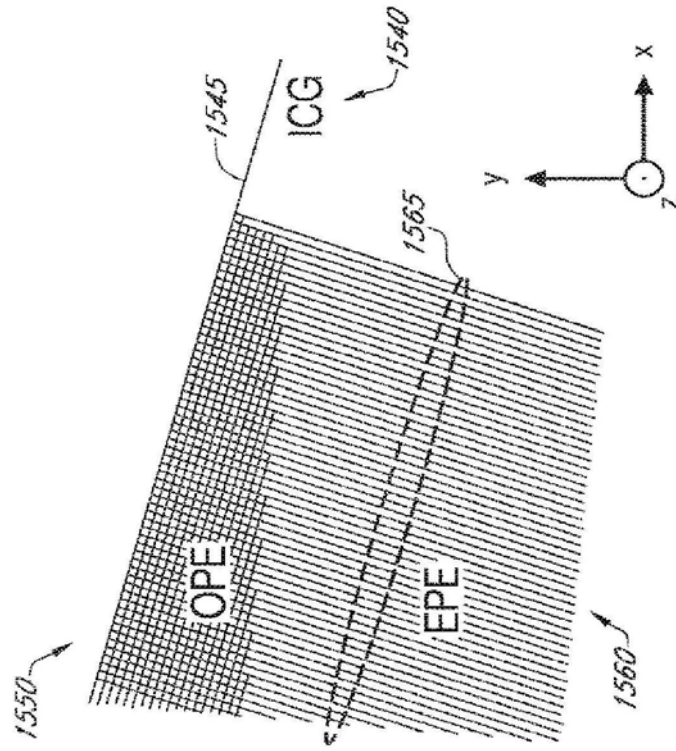


图15G

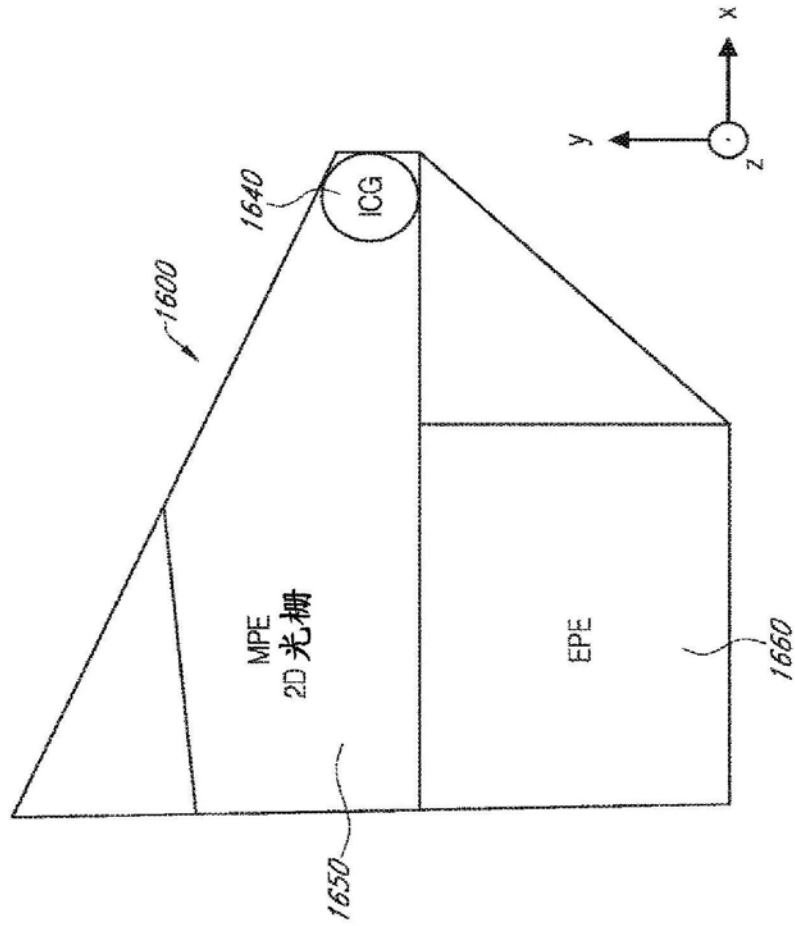


图16A

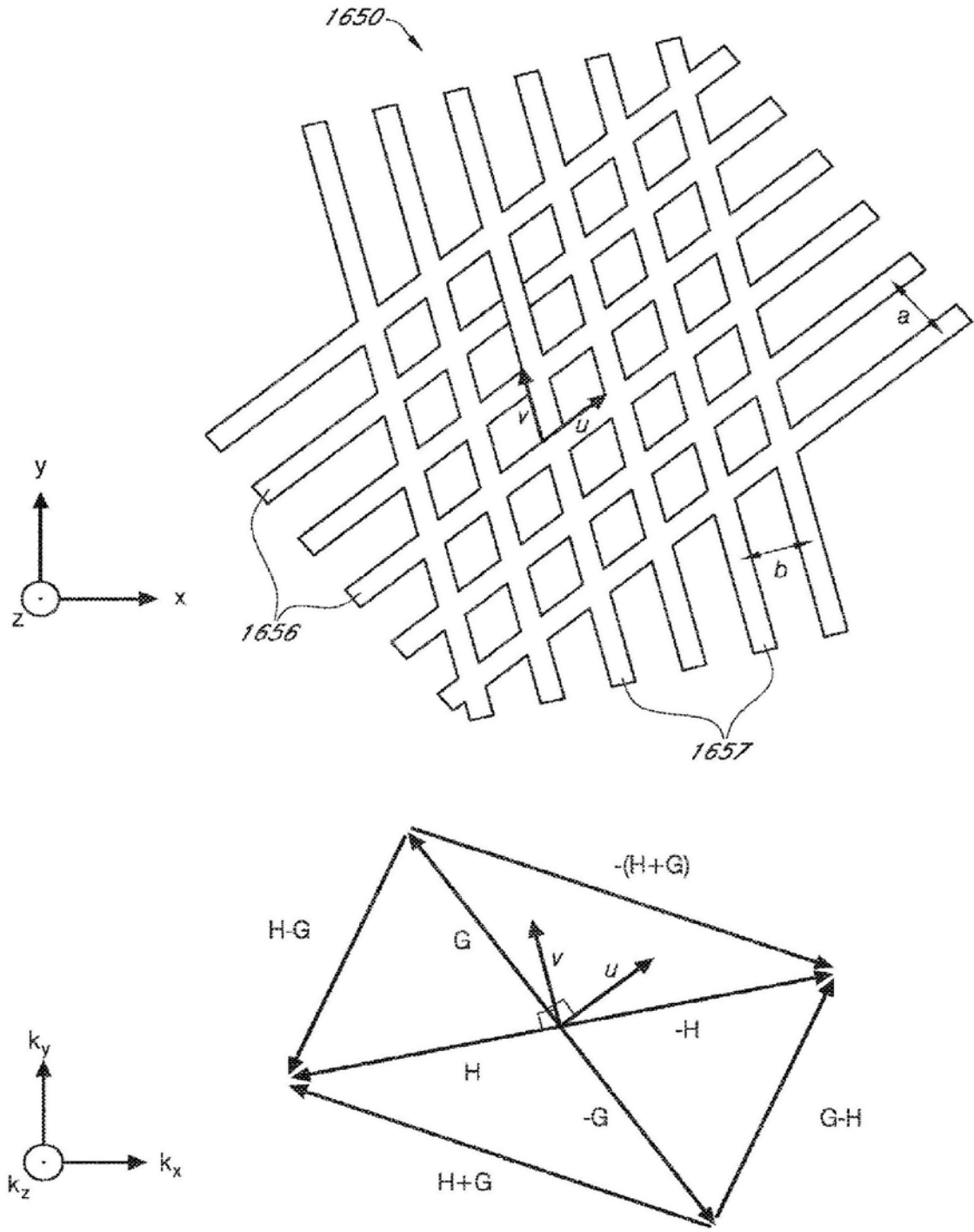


图16B

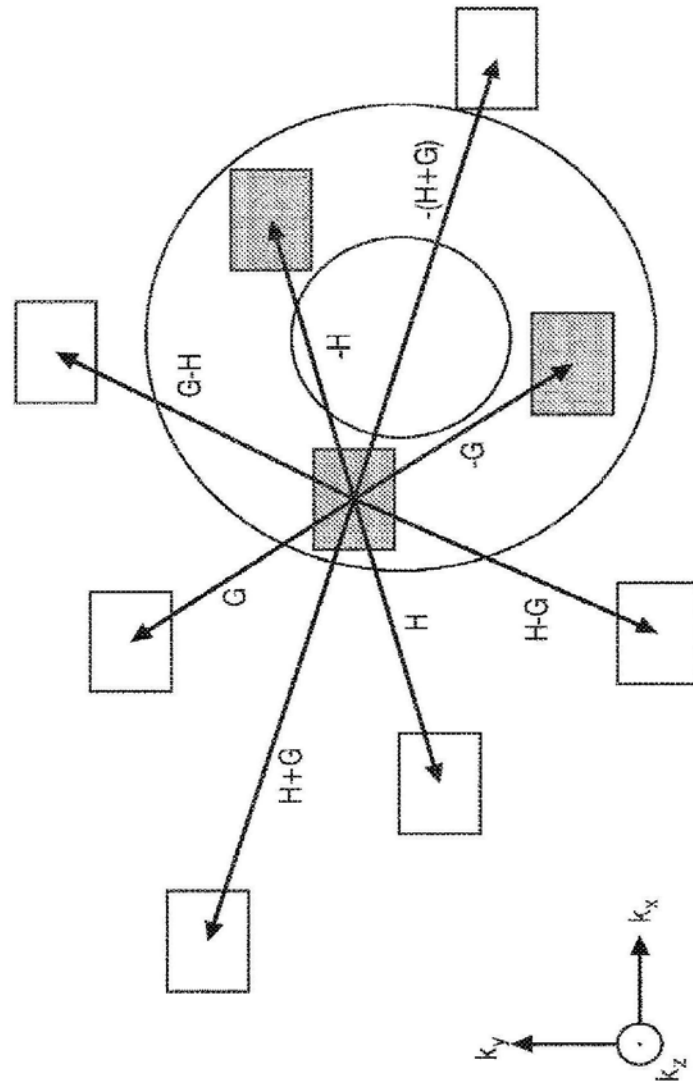


图16C

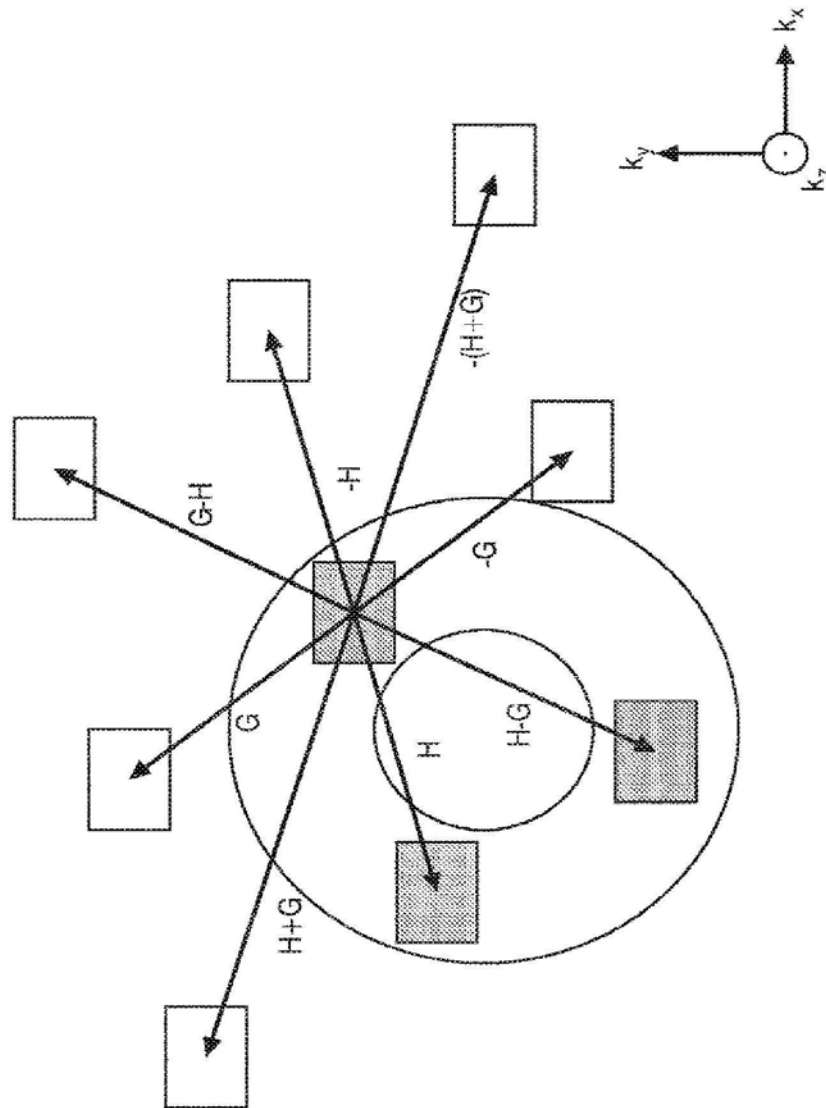


图16D

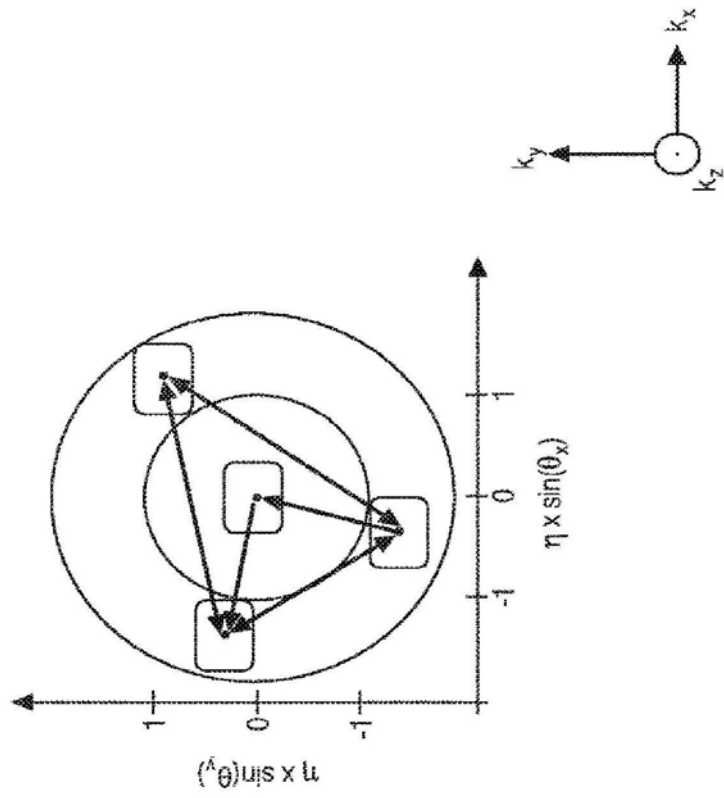


图16E

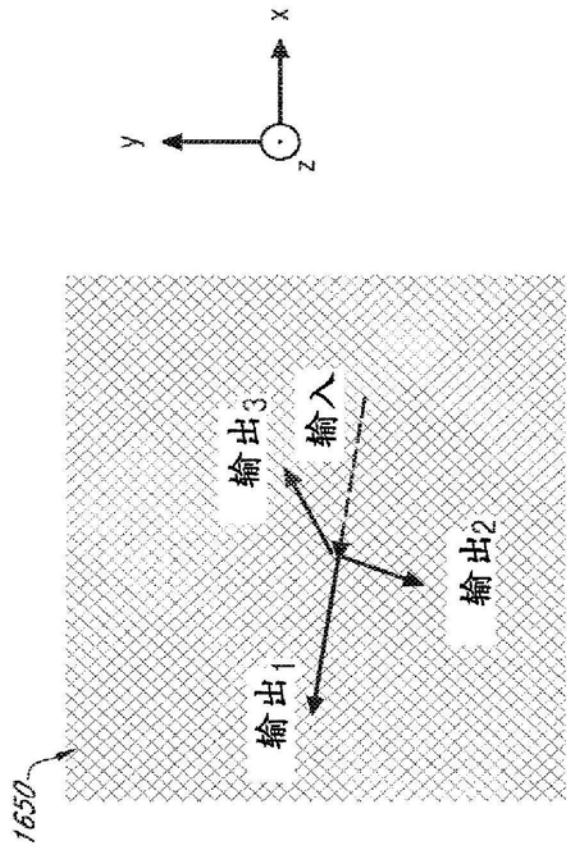


图16F

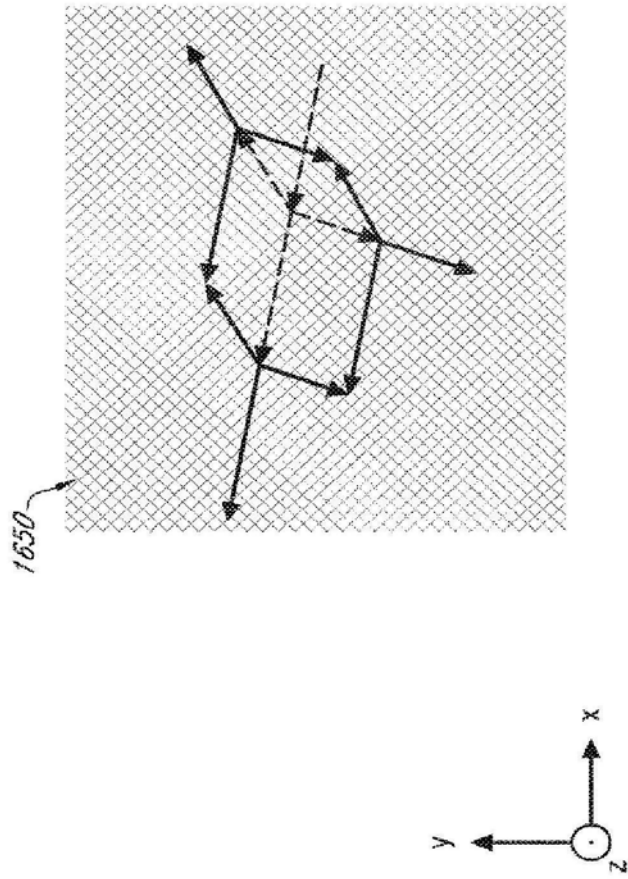


图16G

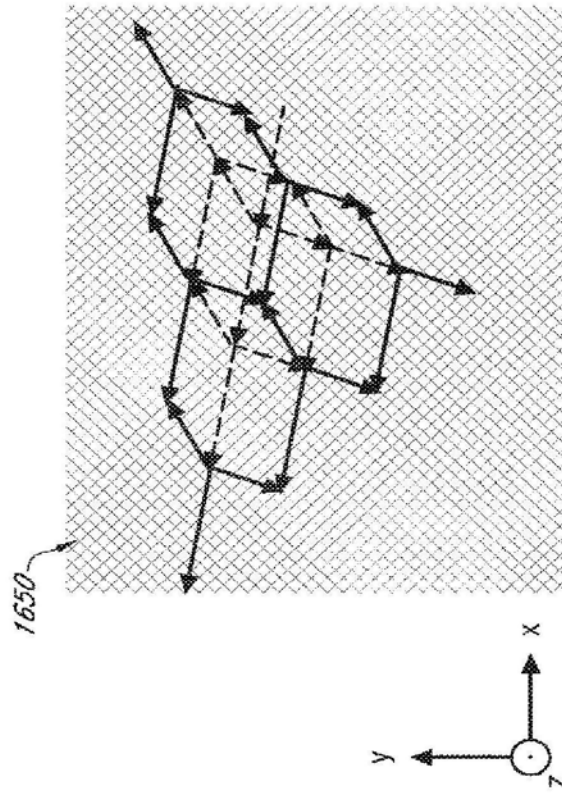


图16H

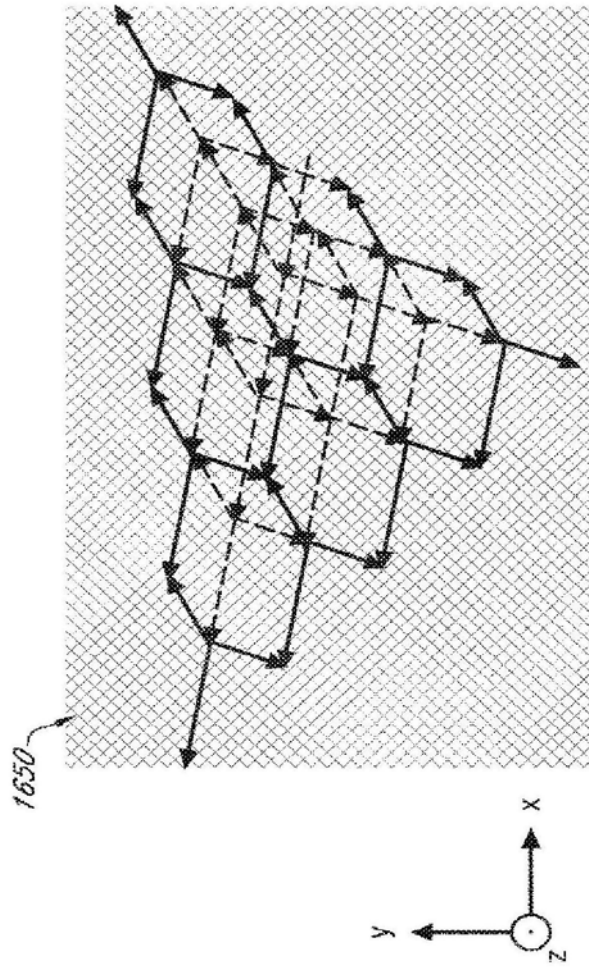


图16I

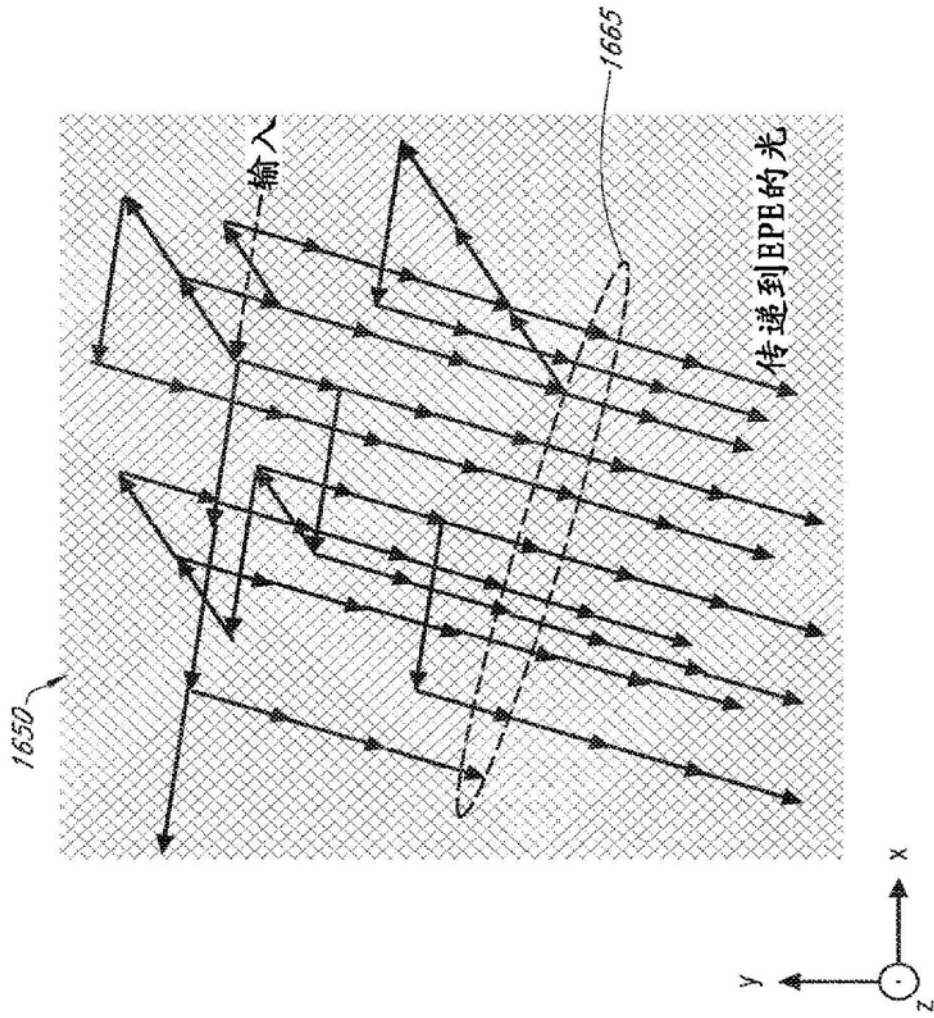


图16J

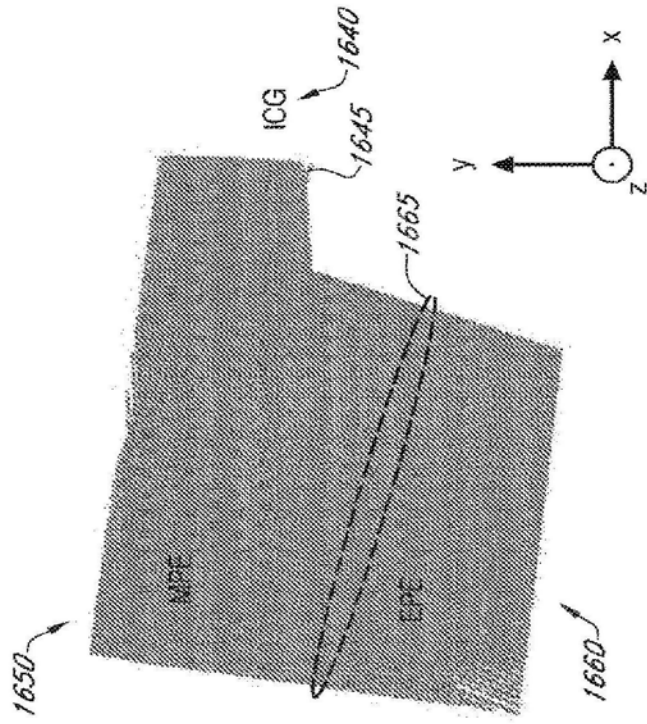


图16K

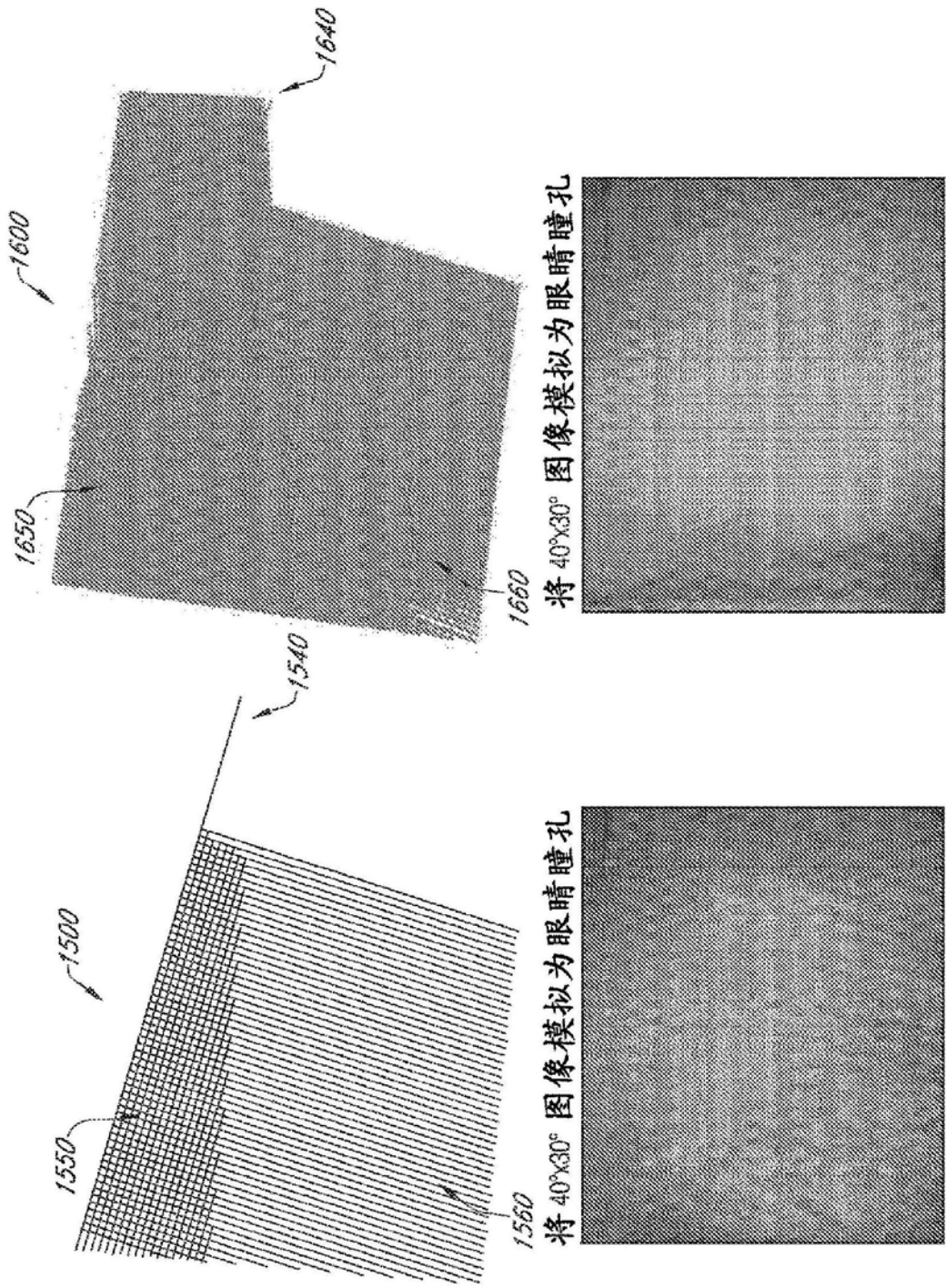


图16L

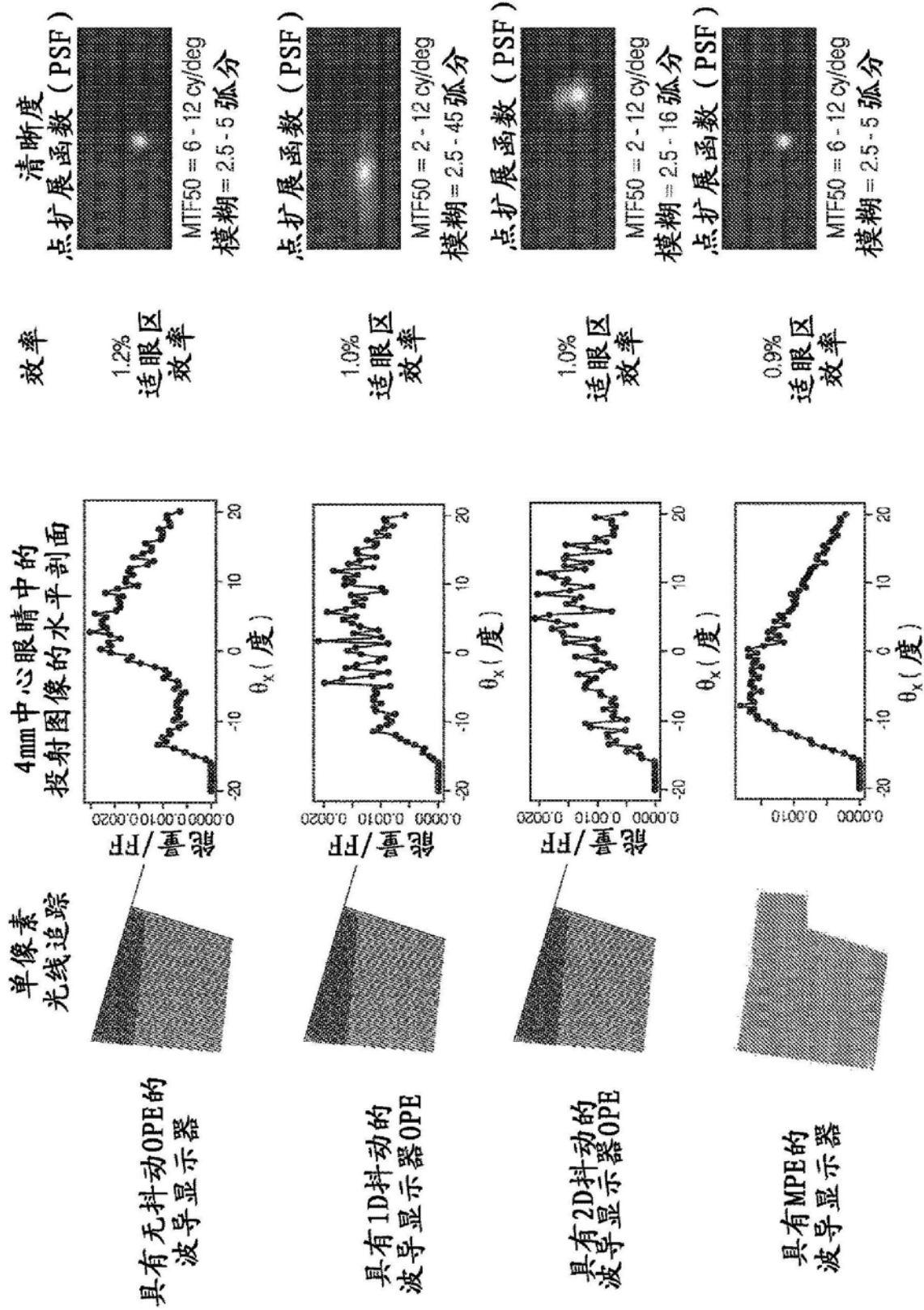


图16M

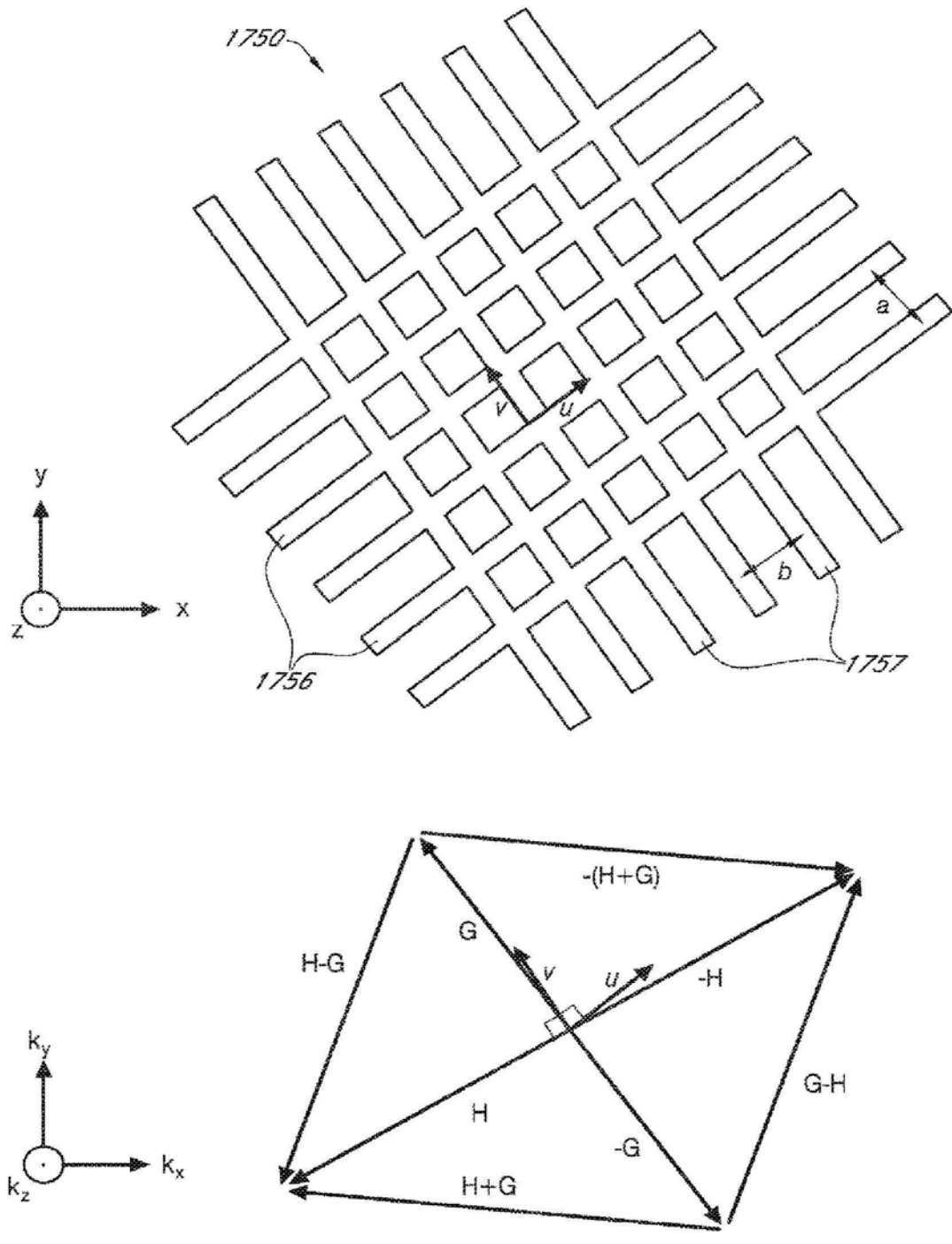


图17A

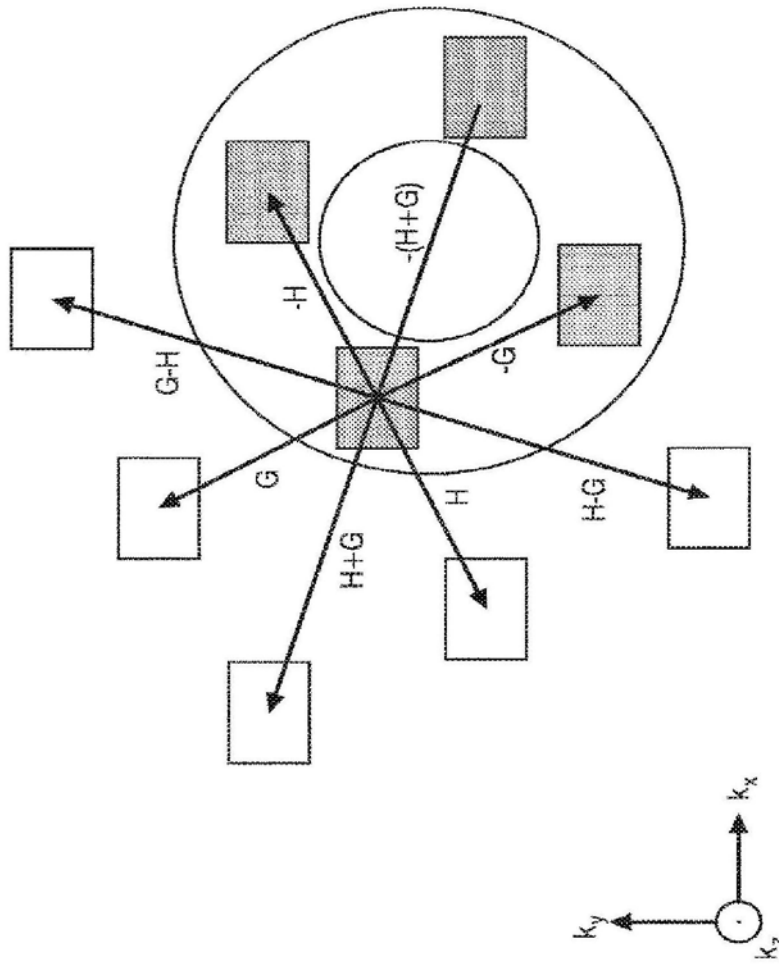


图17B

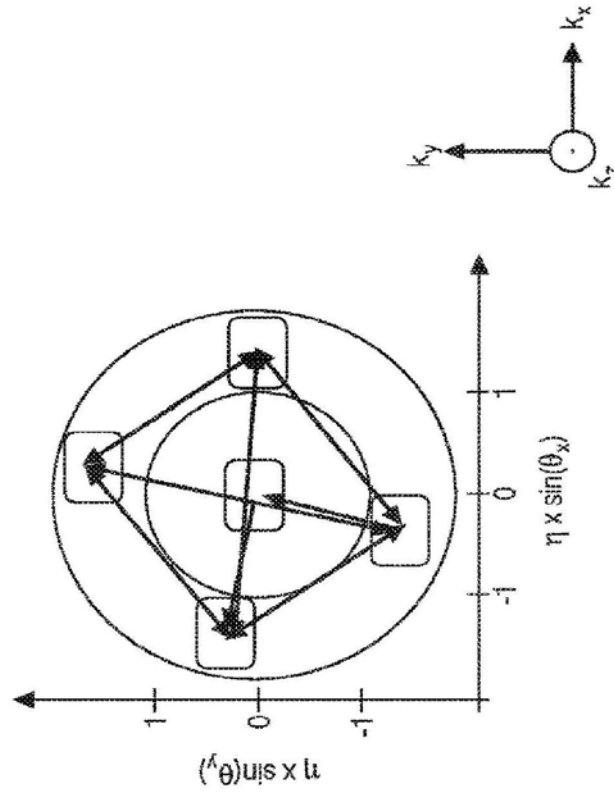


图17C

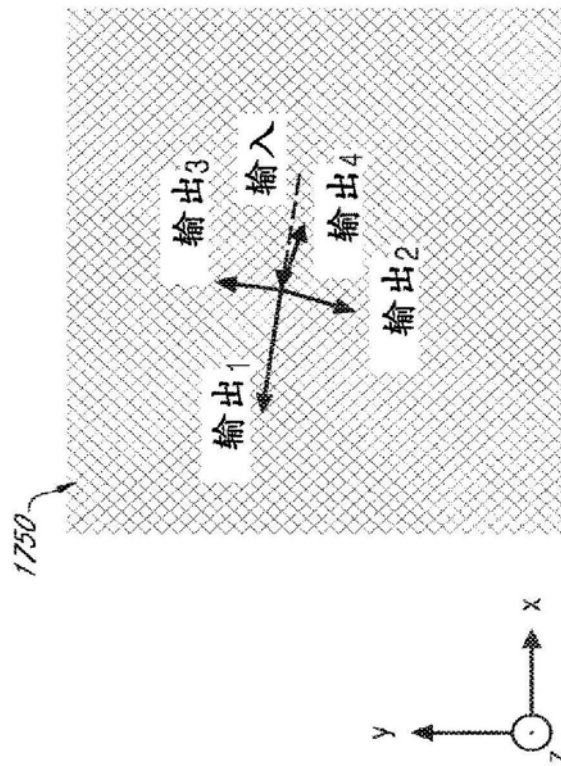


图17D

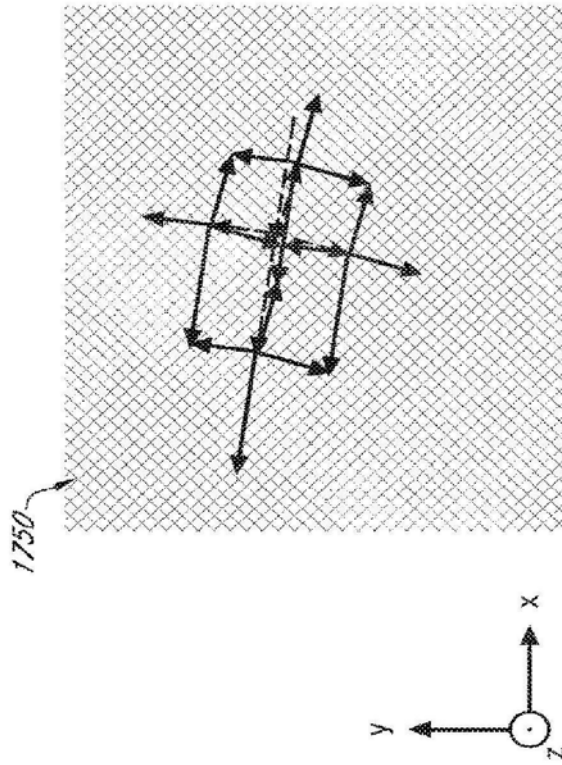


图17E

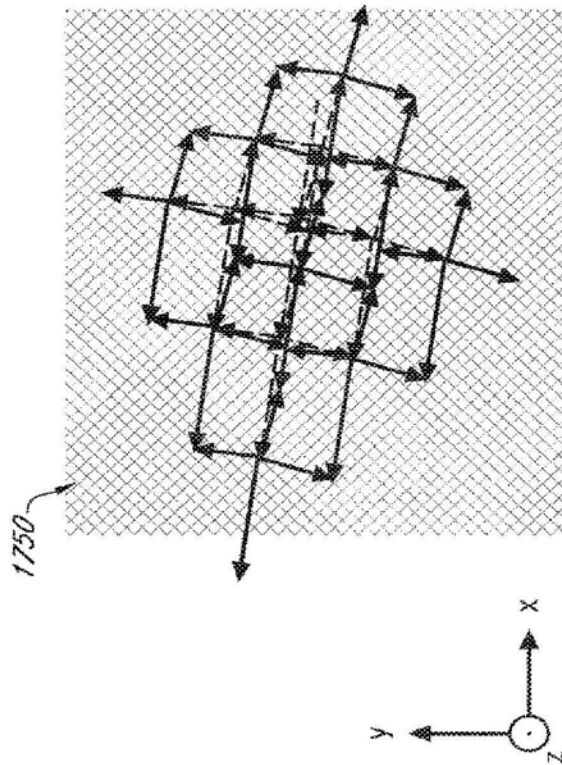


图17F

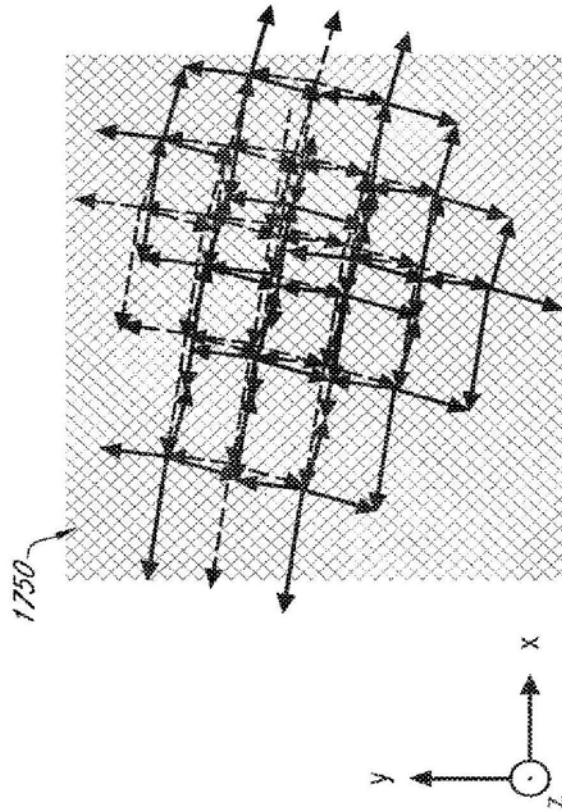


图17G

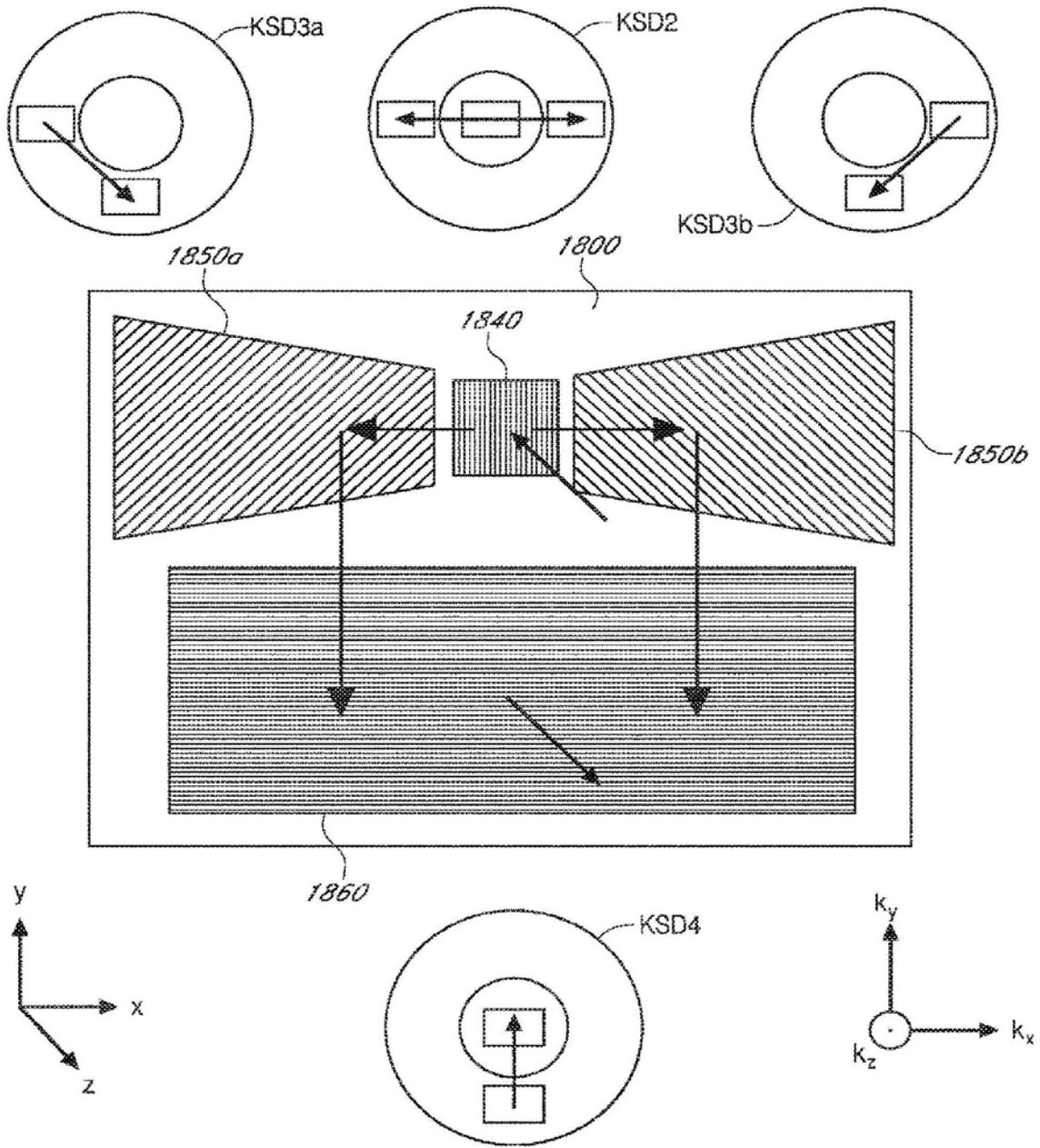


图18A

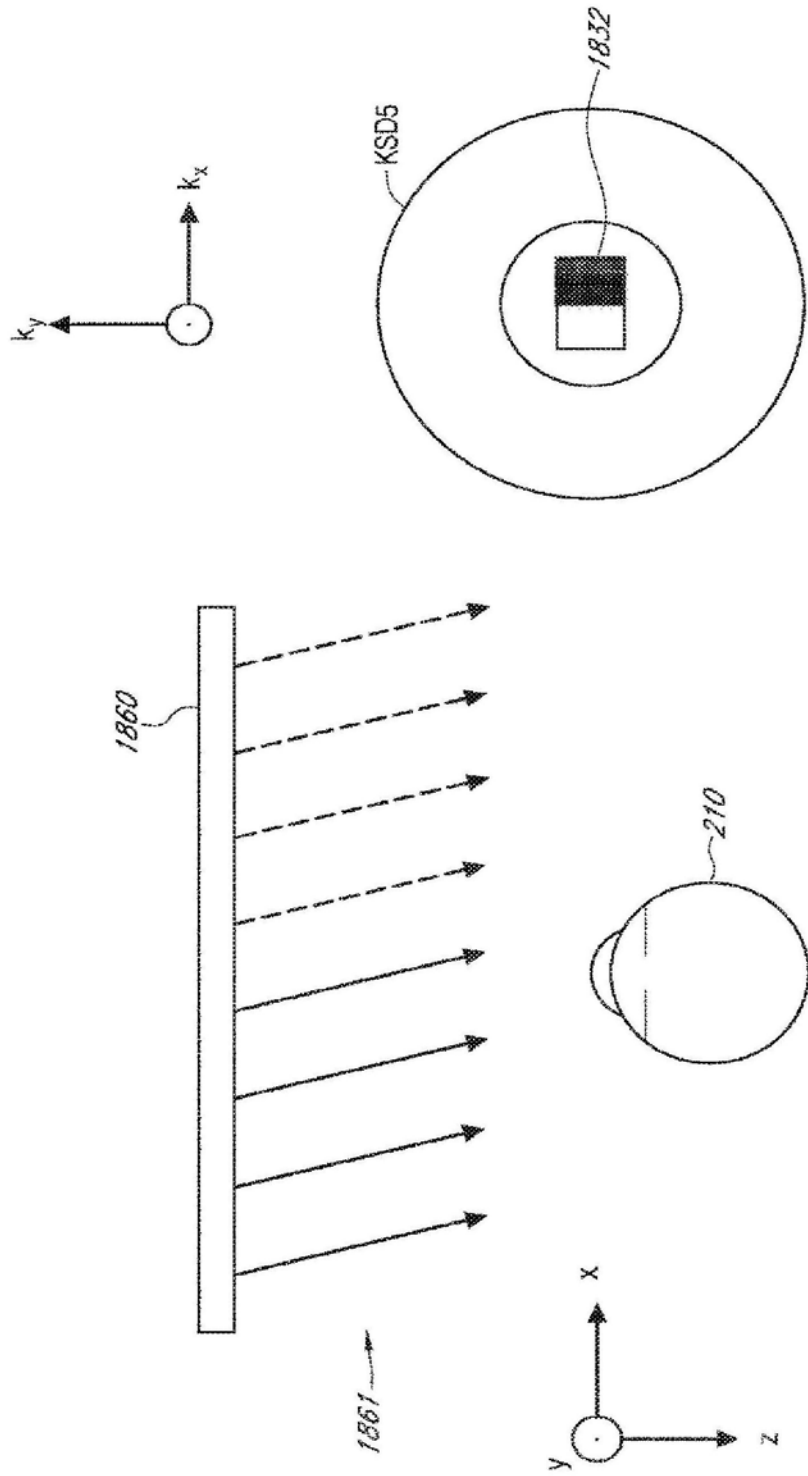


图18B

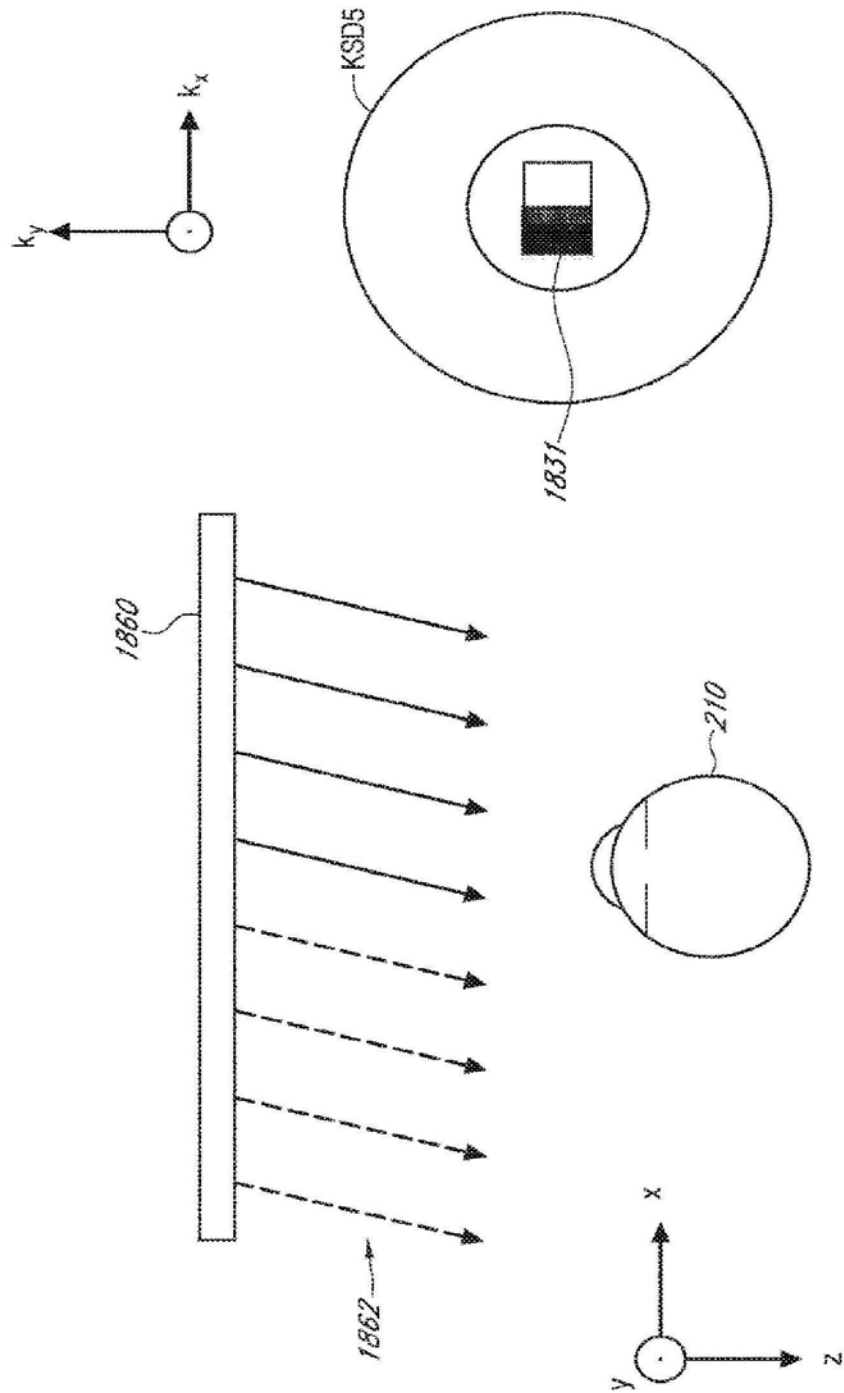


图18C

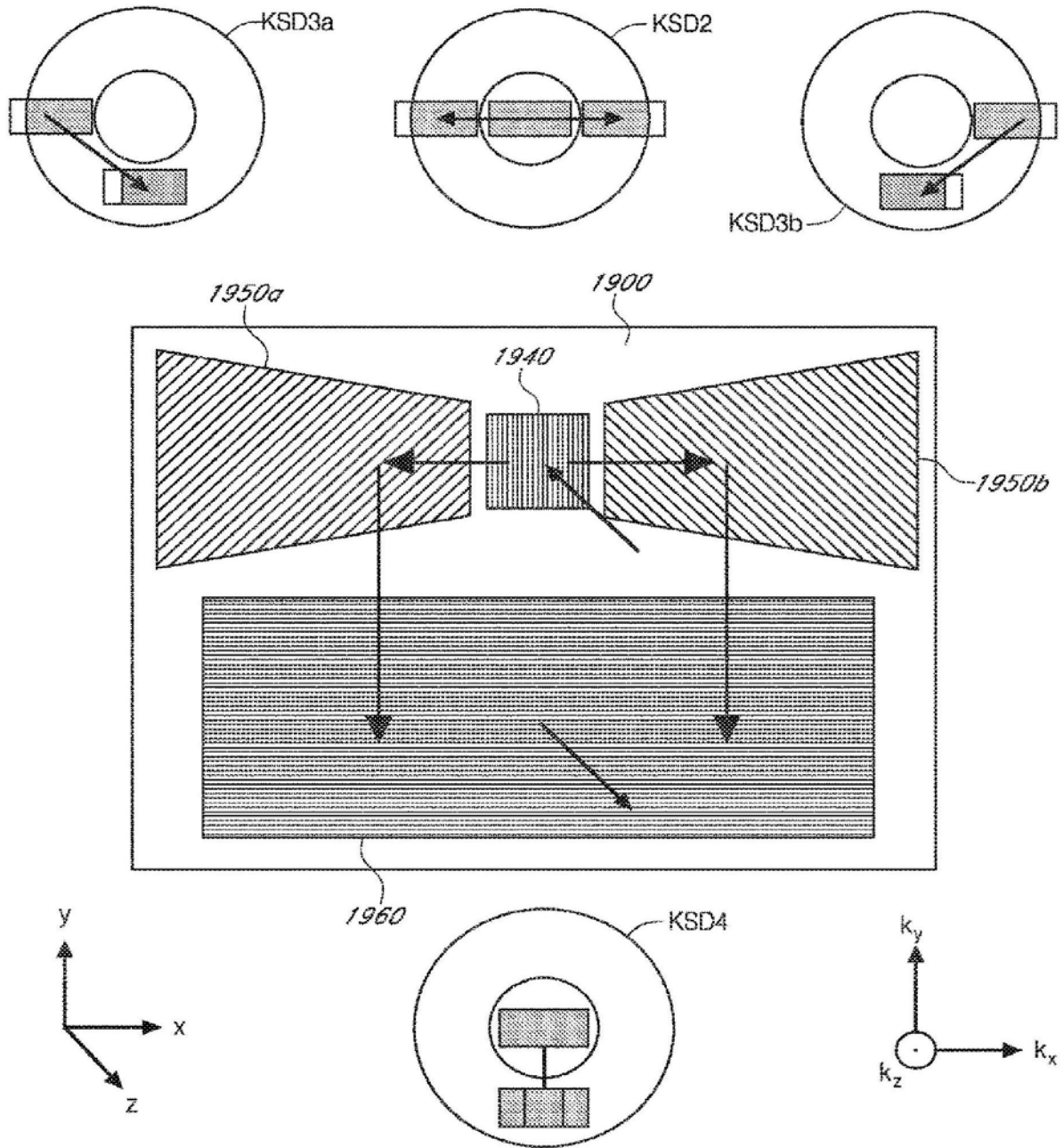


图19

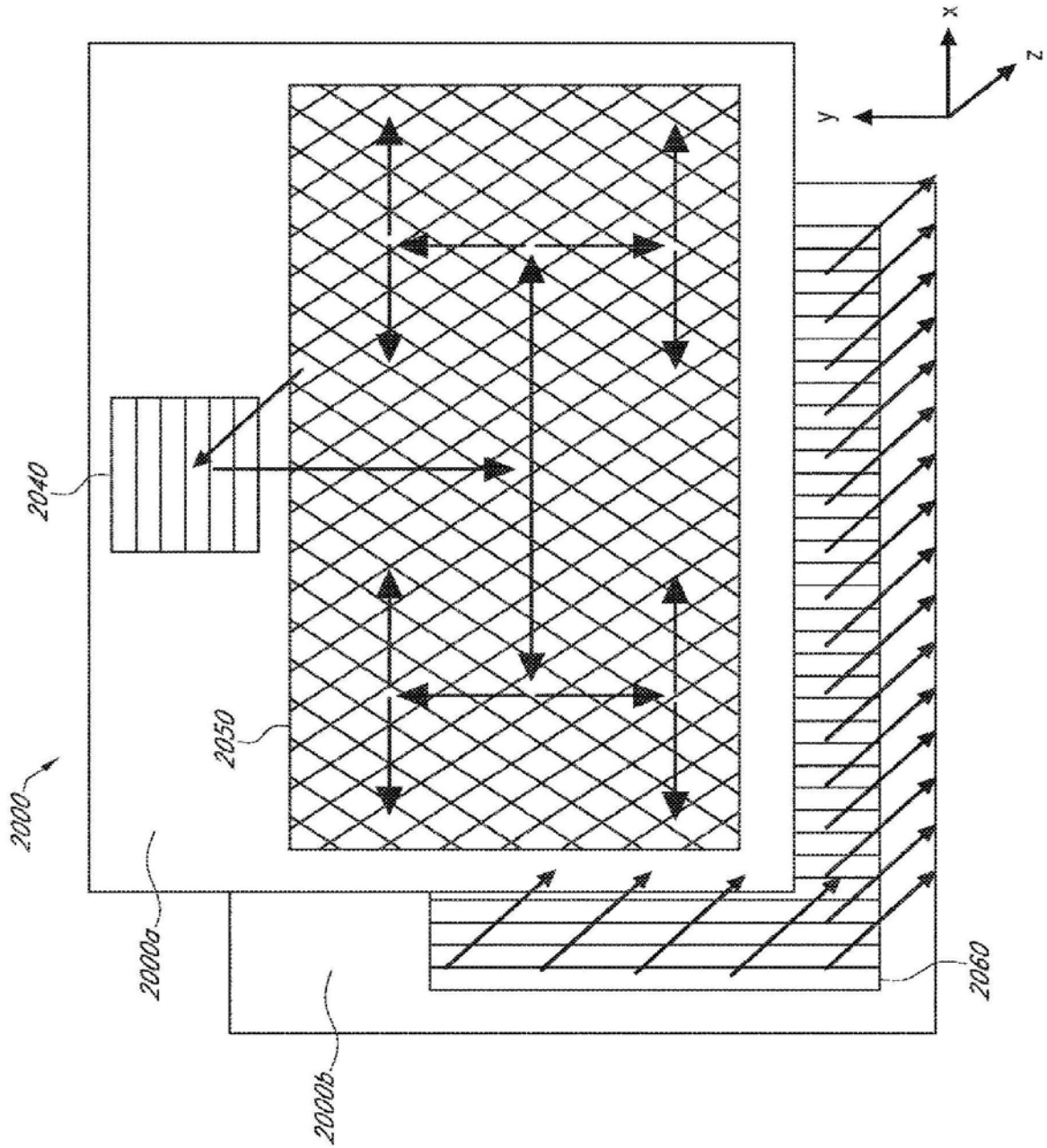


图20A

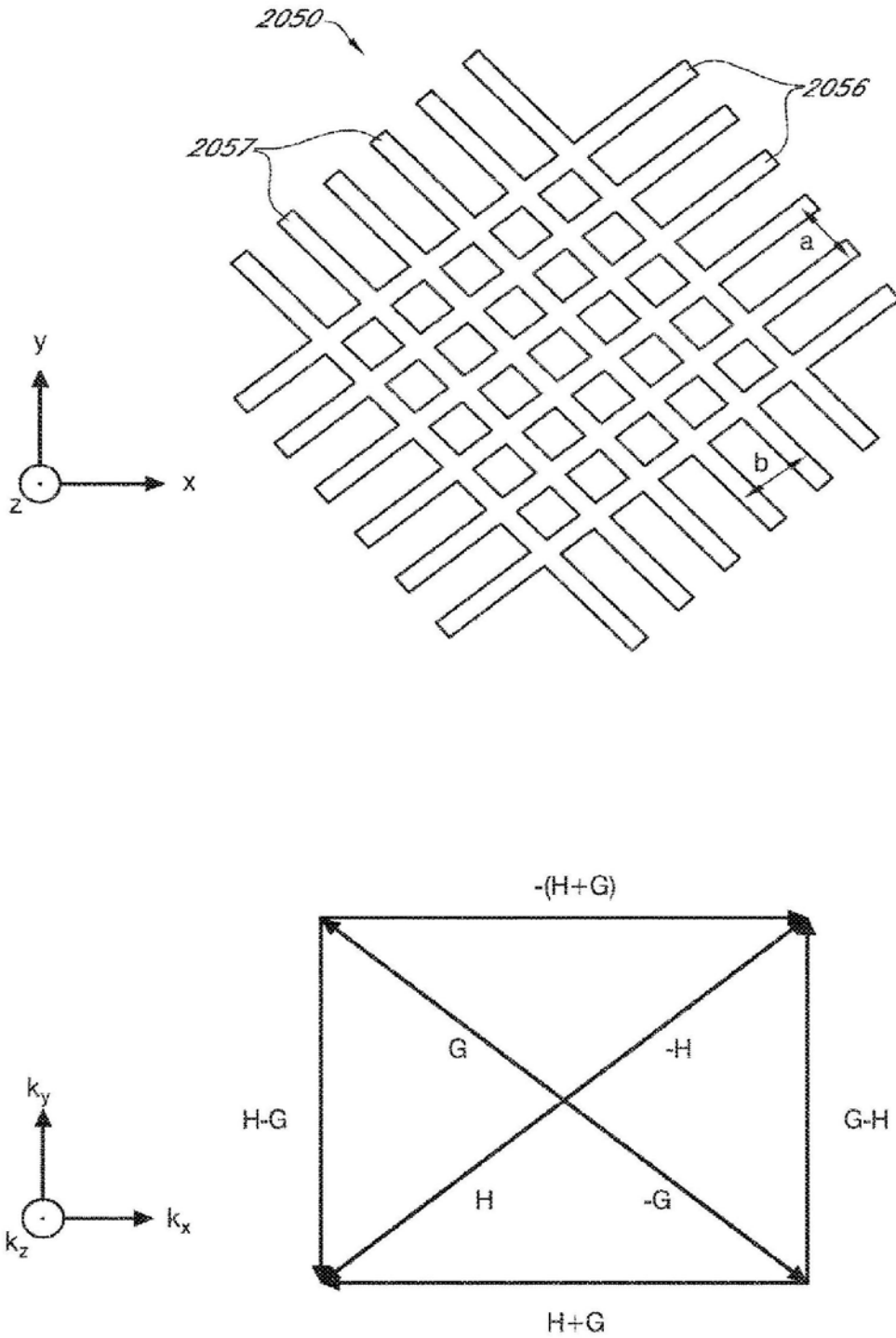


图20B

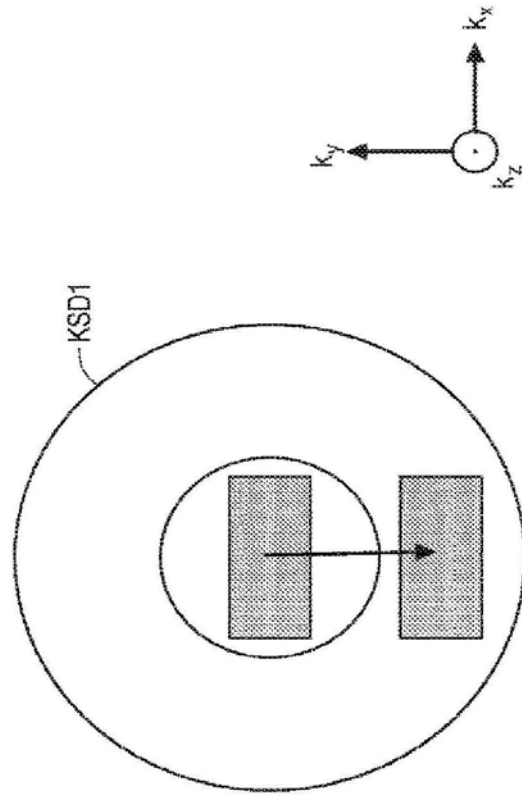


图20C

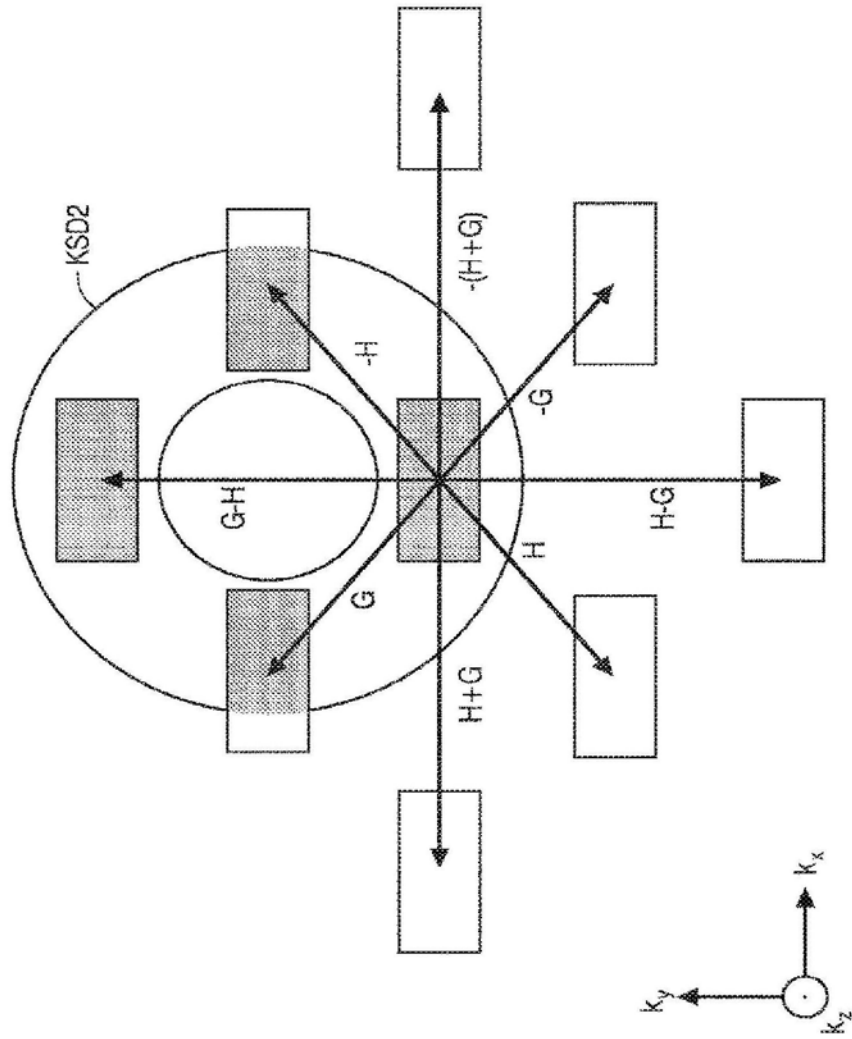


图20D

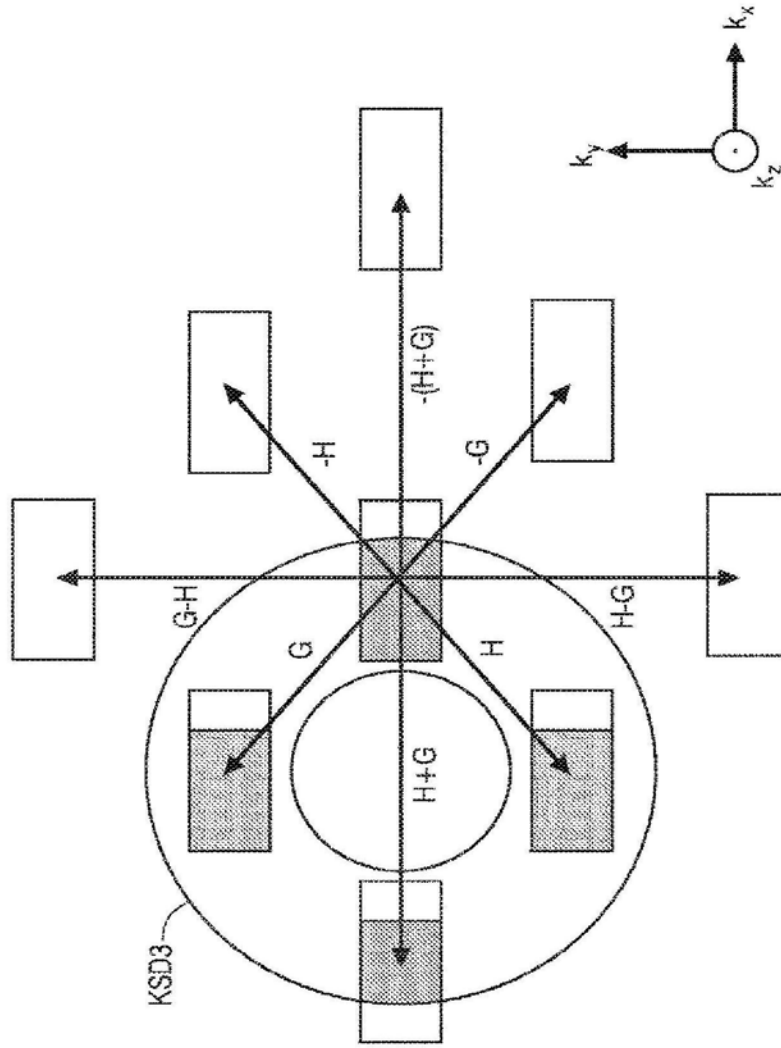


图20E

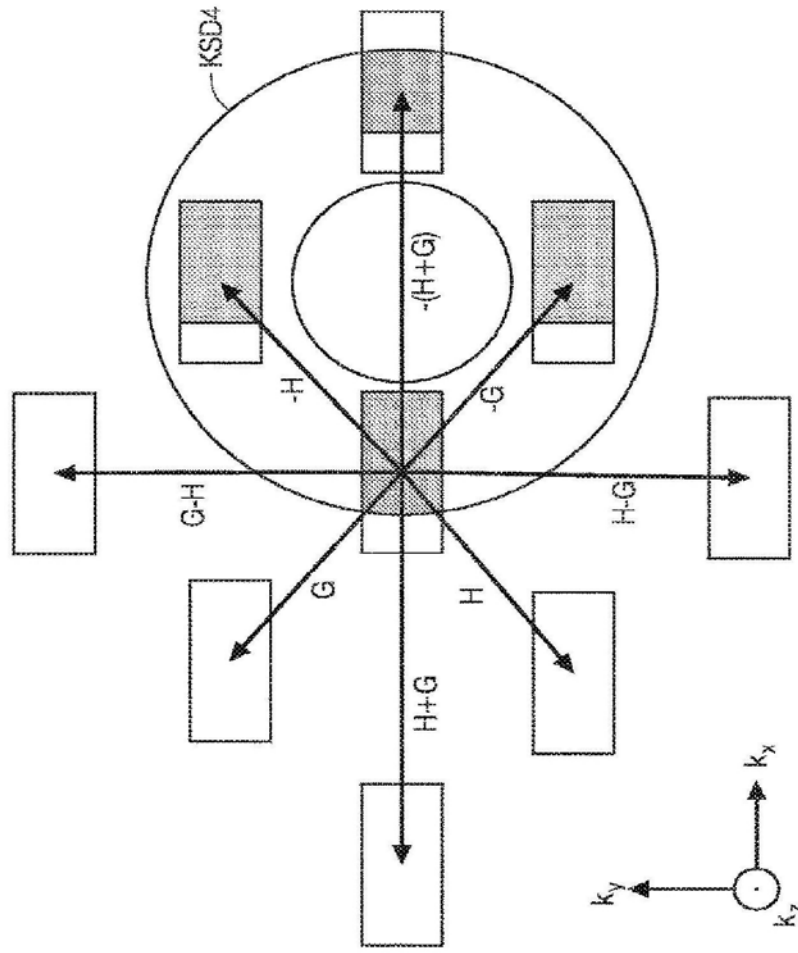


图20F

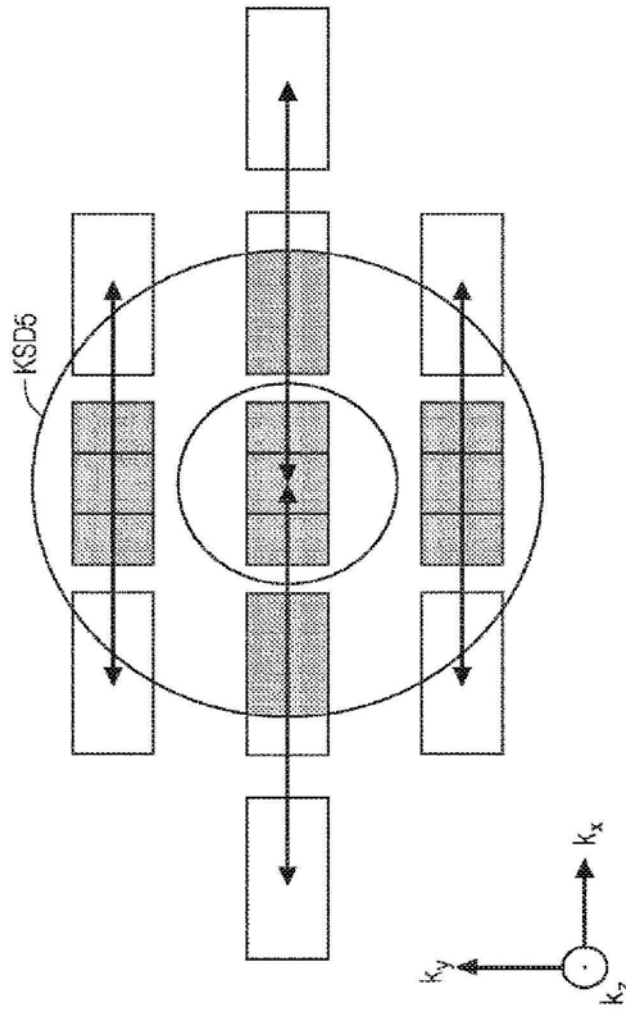


图20G

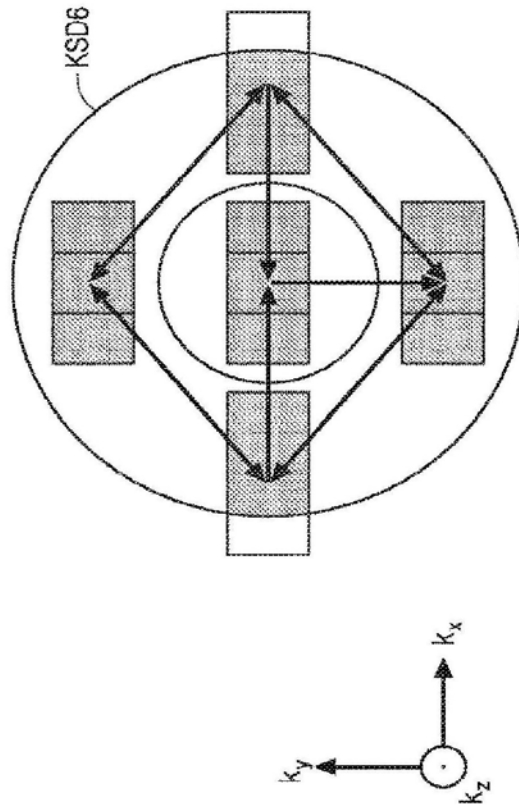


图20H

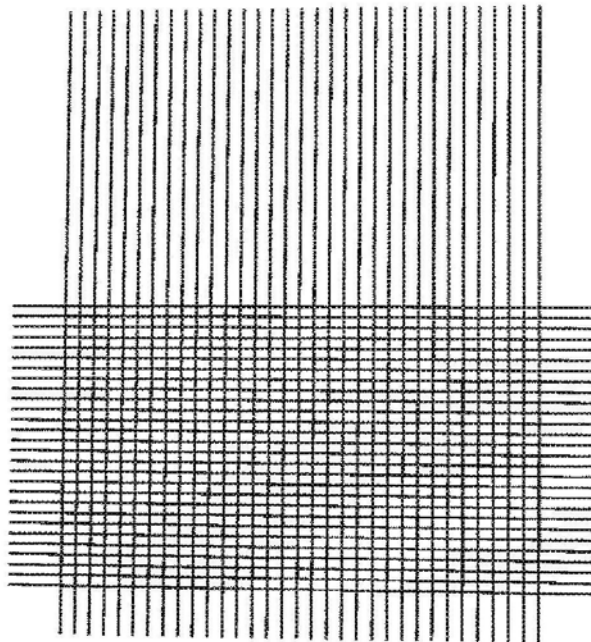


图20I

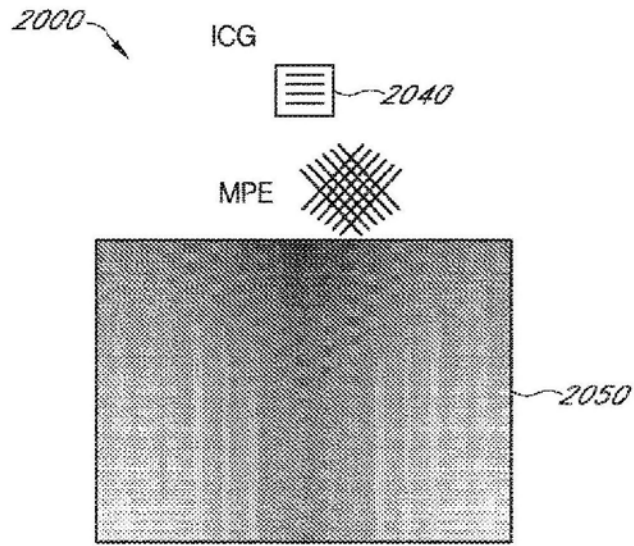


图20J

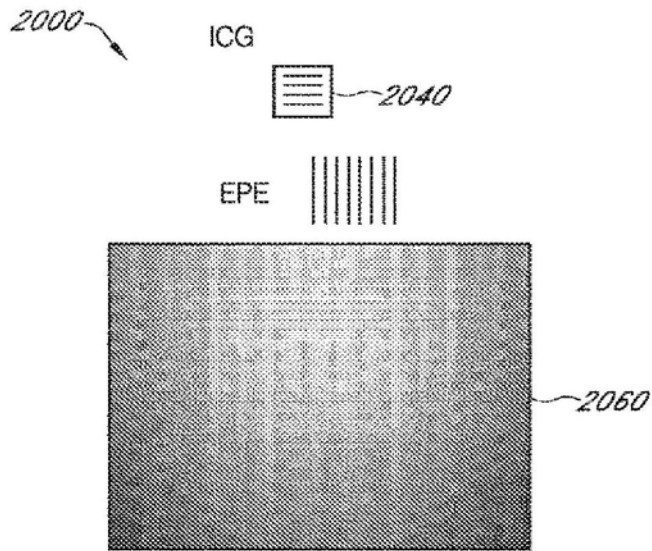
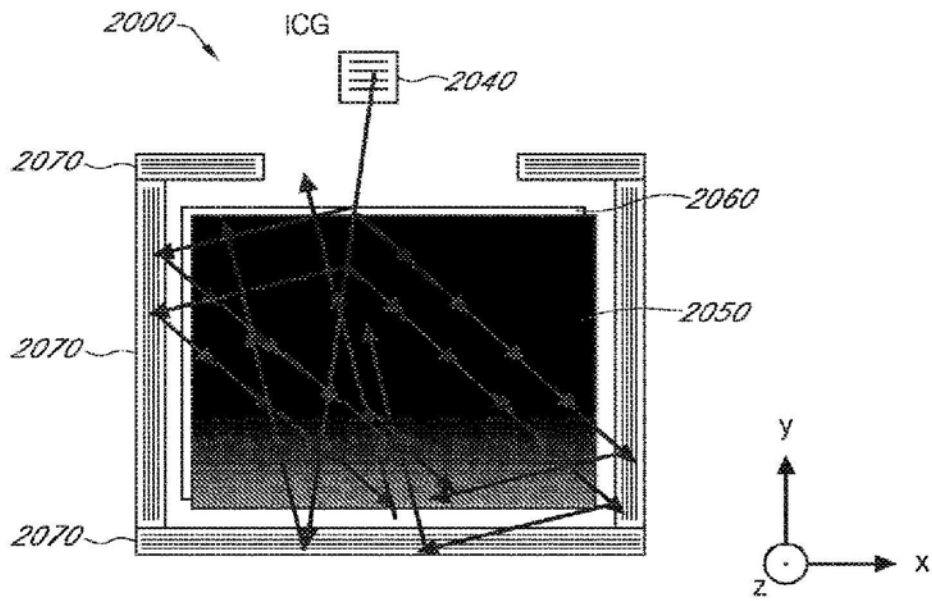


图20K



底衍射镜的k空间描述
周期性 = ICG周期性的1/2

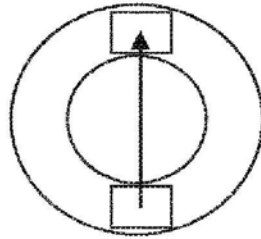


图20L

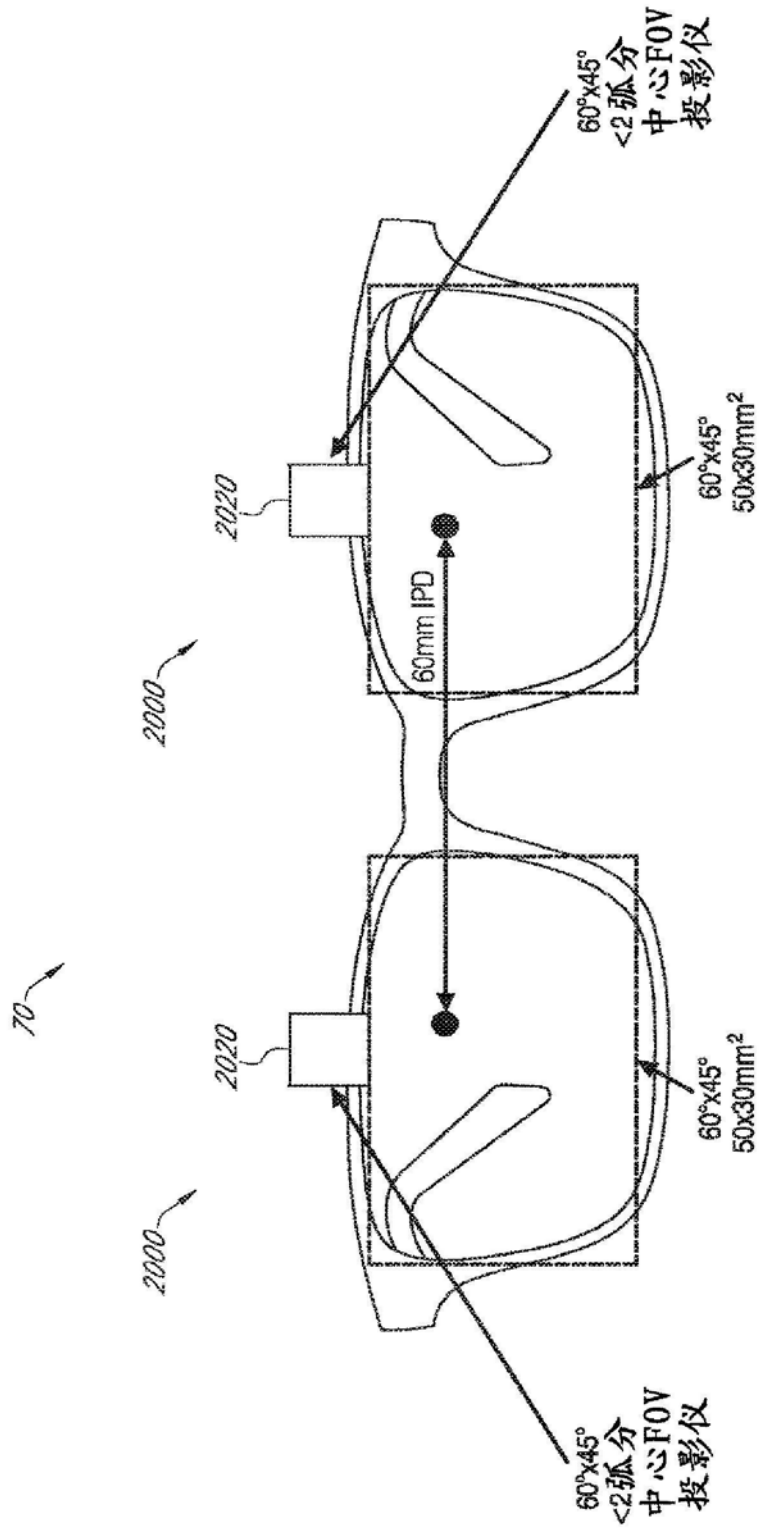


图20M

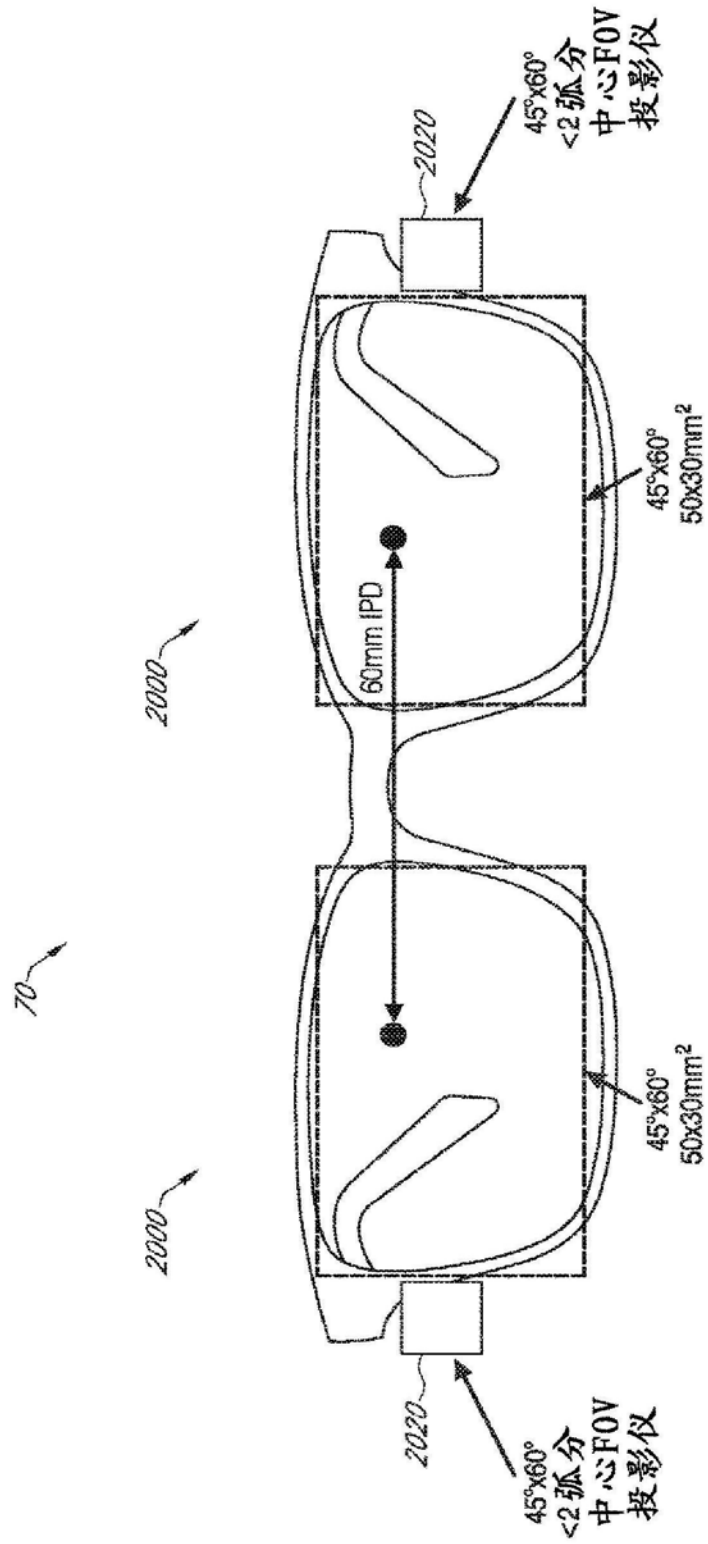


图20N

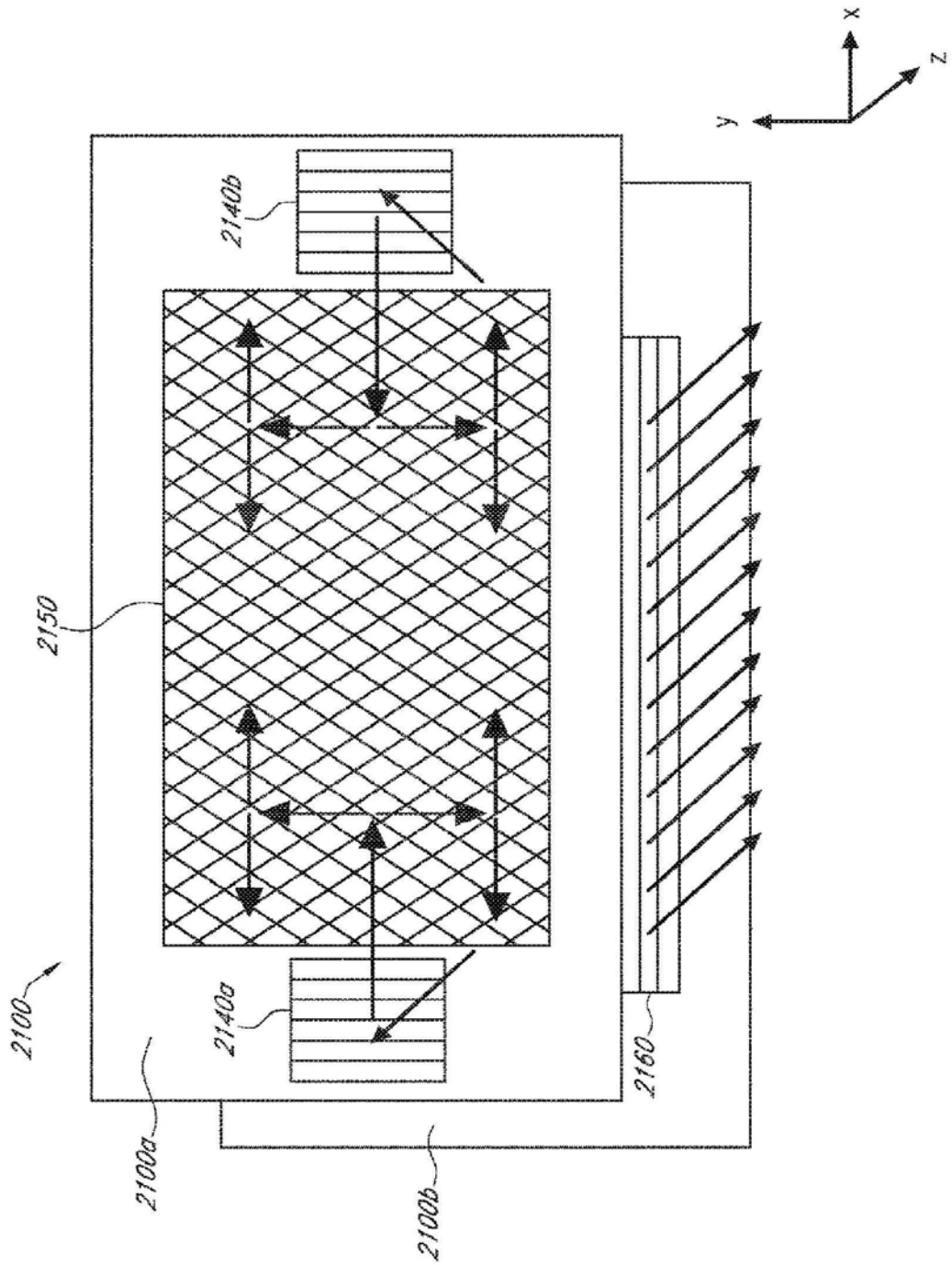


图21A

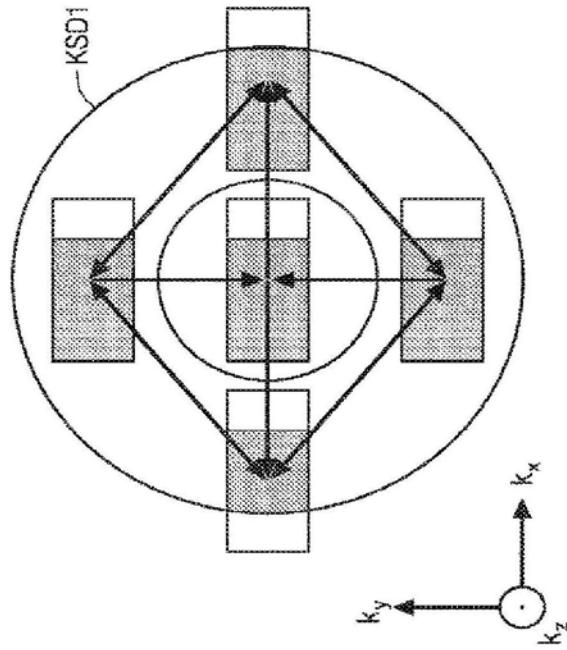


图21B

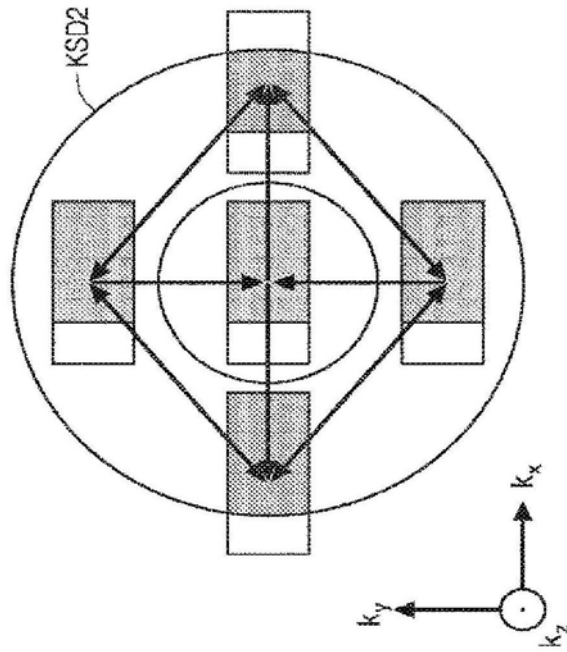


图21C

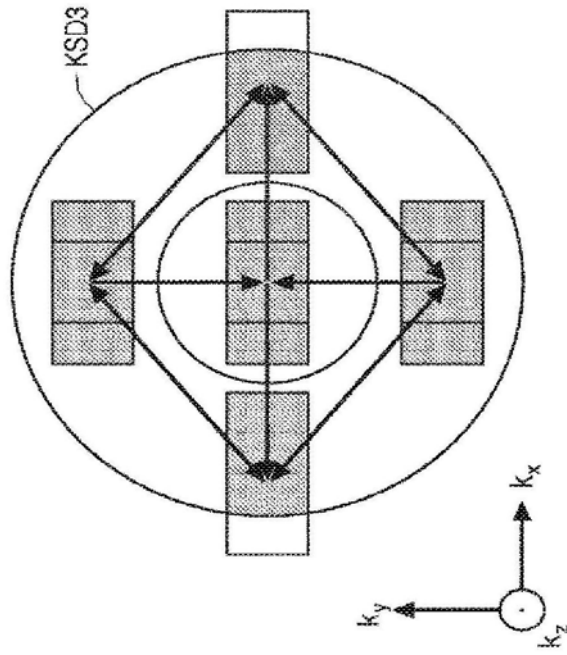


图21D

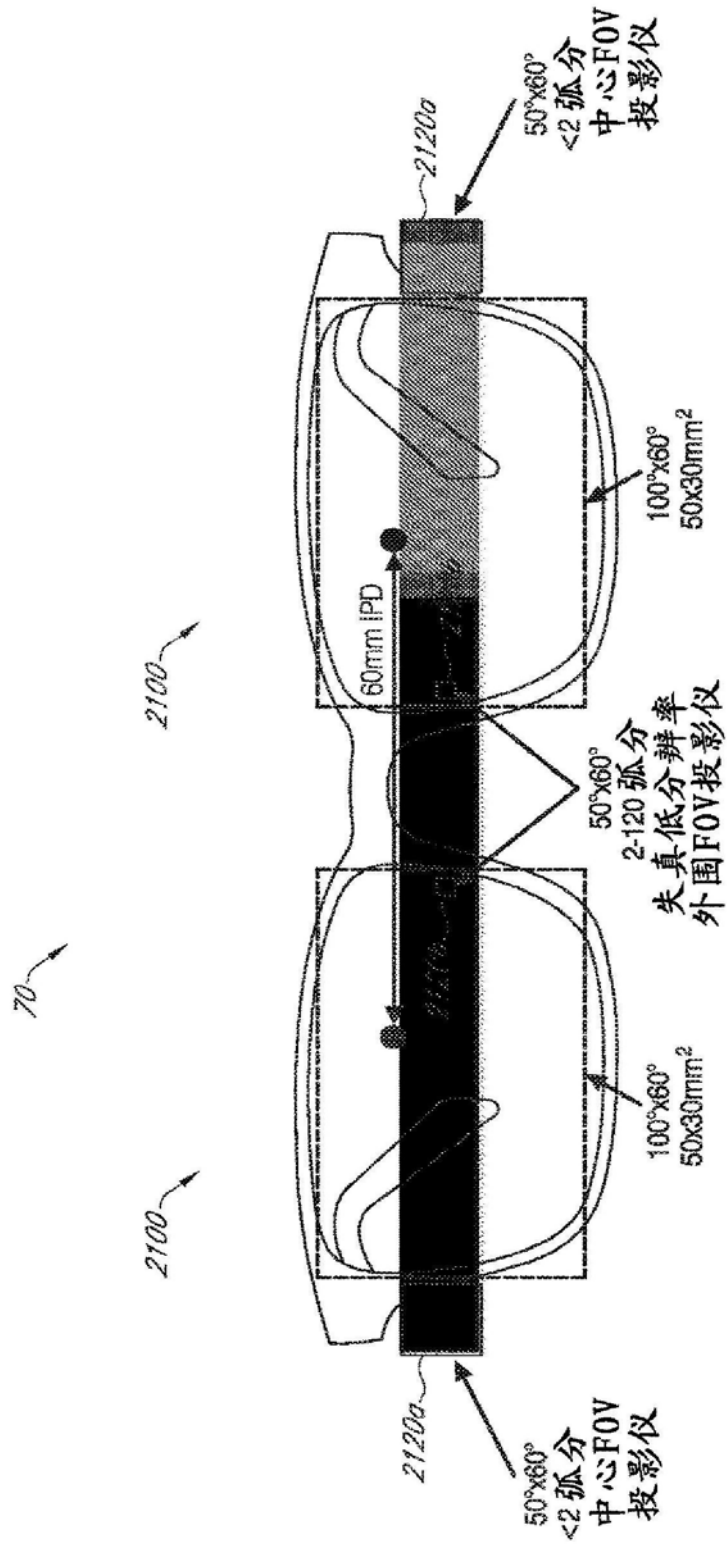


图21E

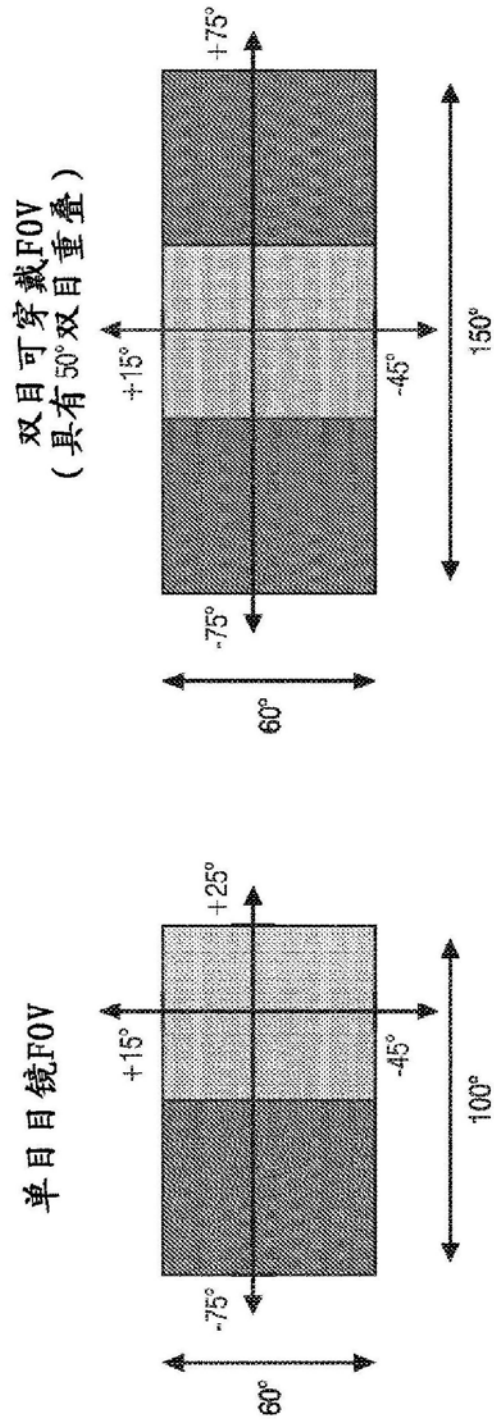


图21F

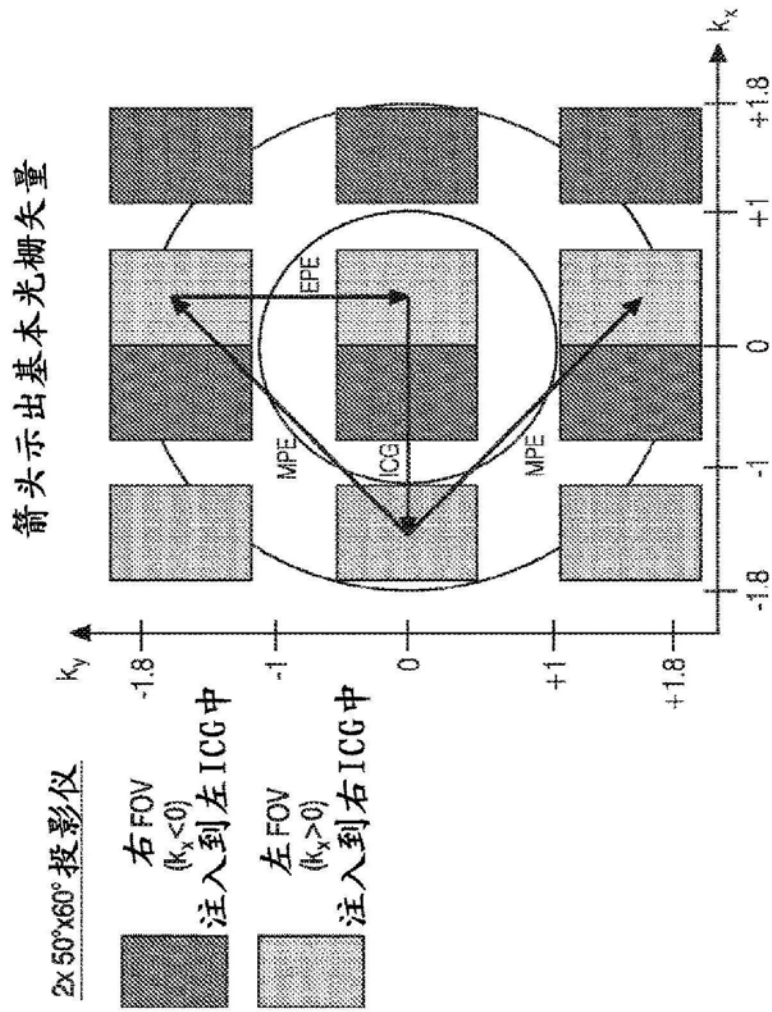


图21G

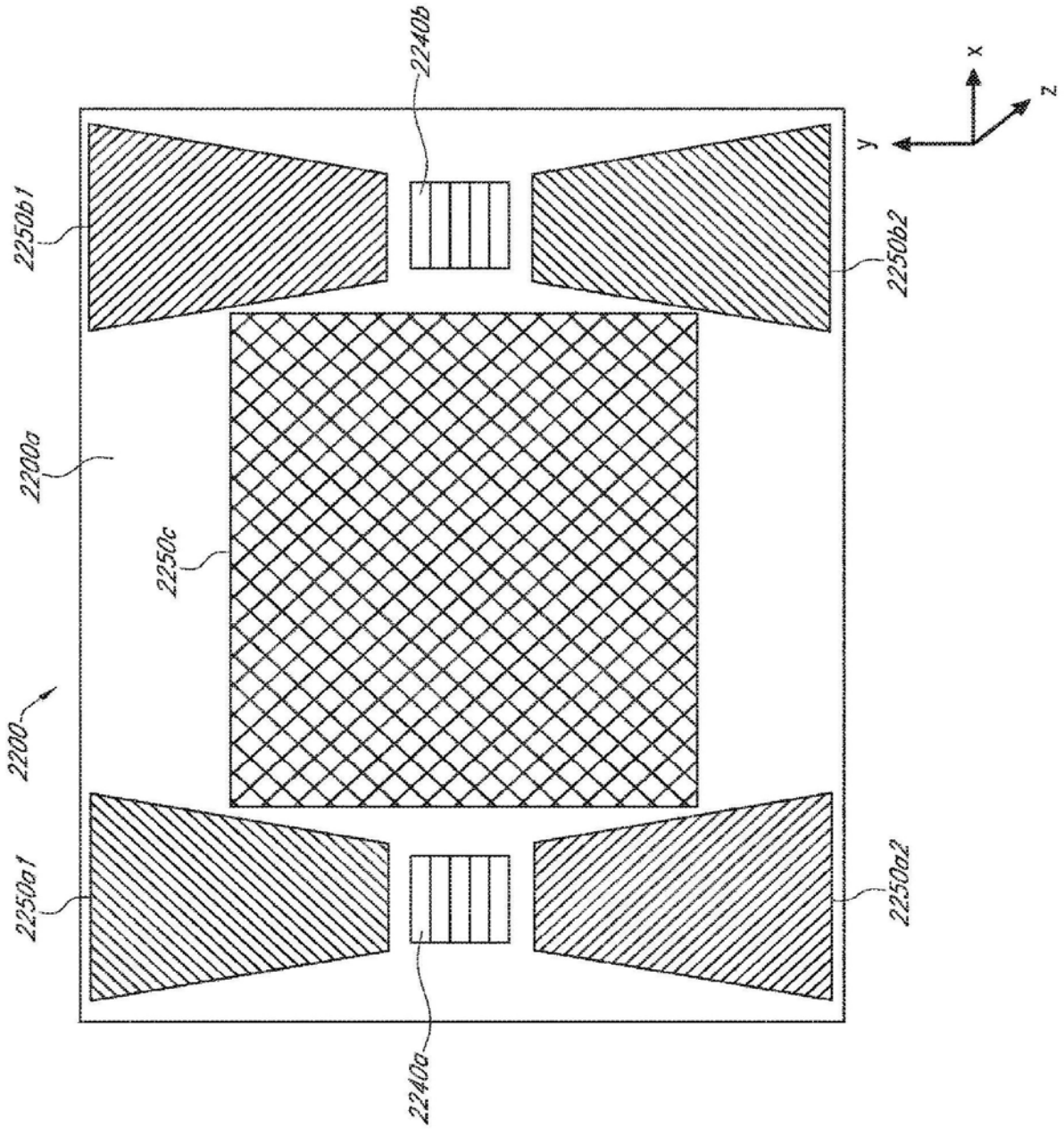


图22A

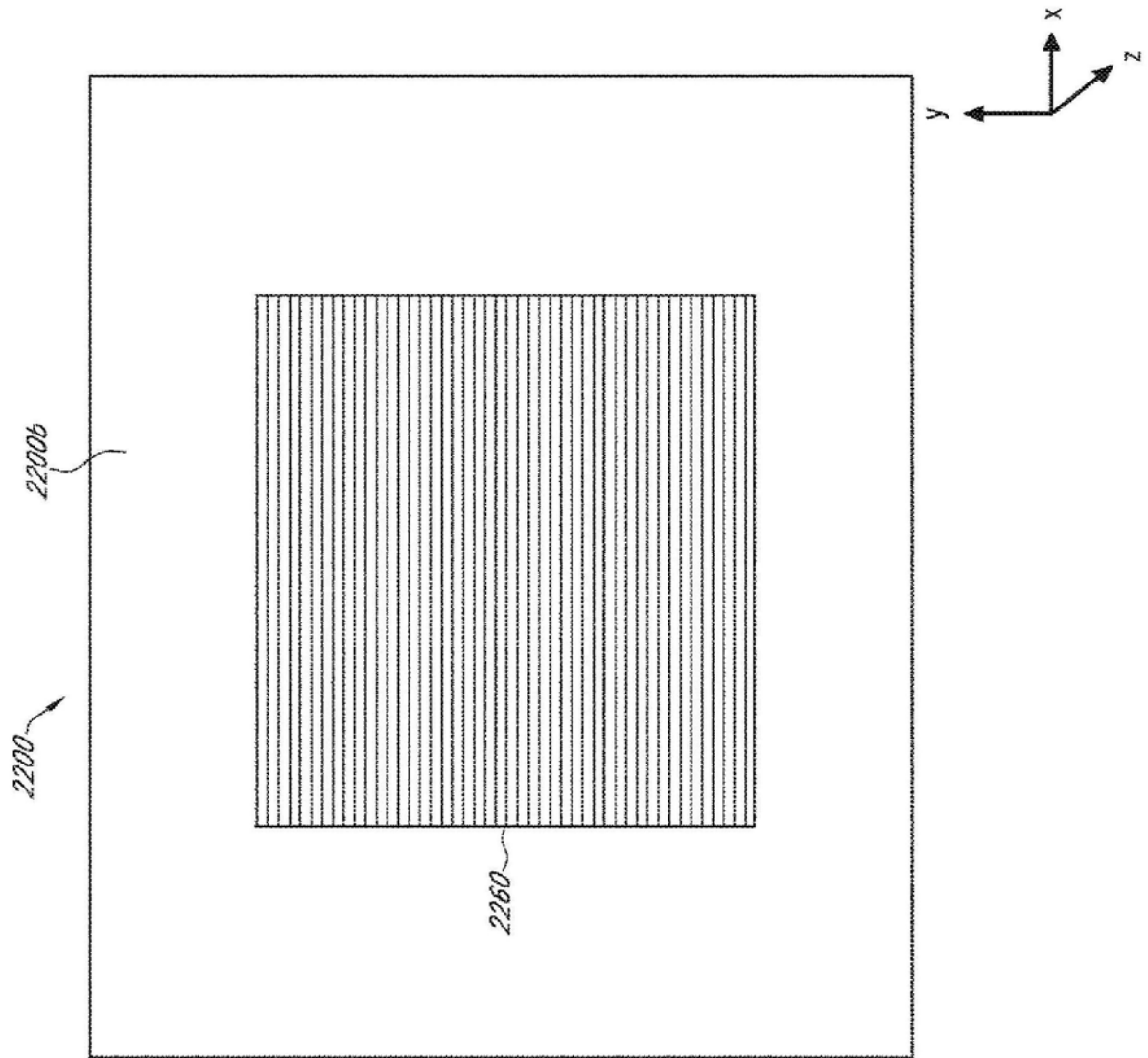


图22B

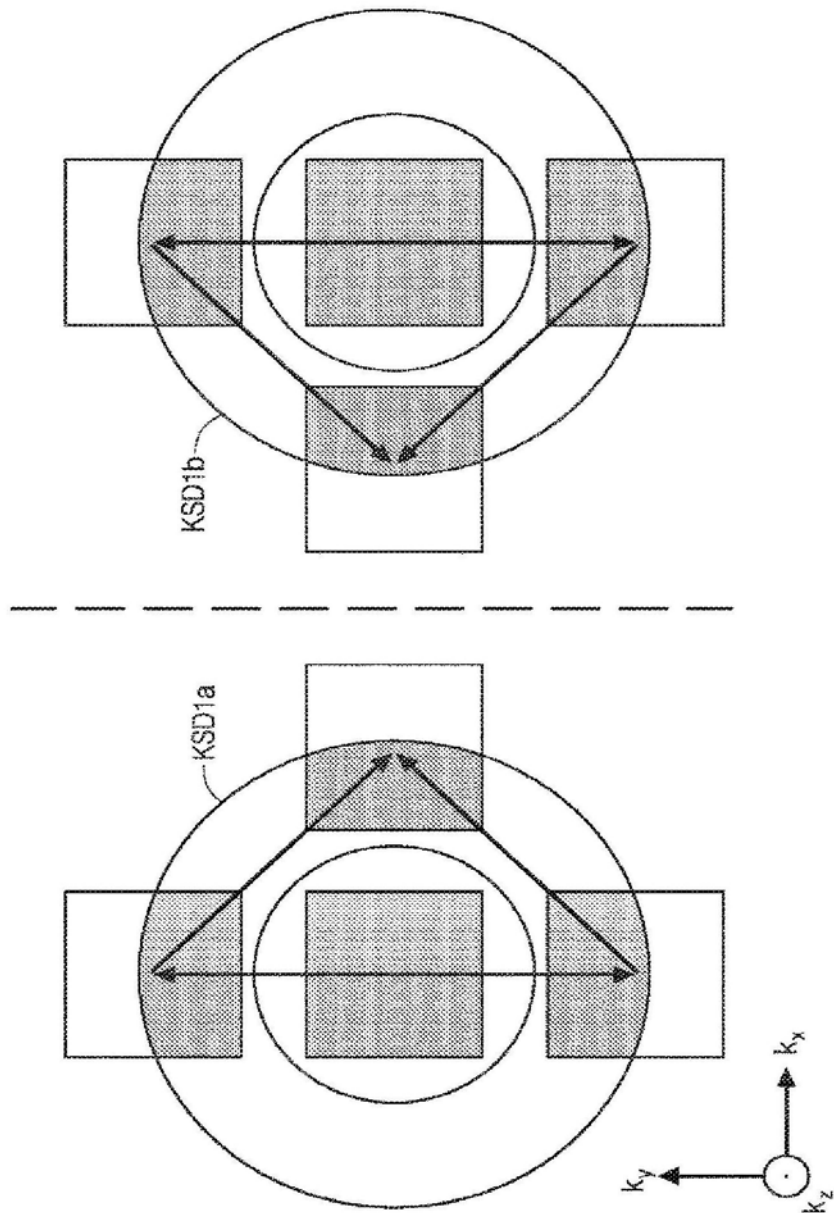


图22C

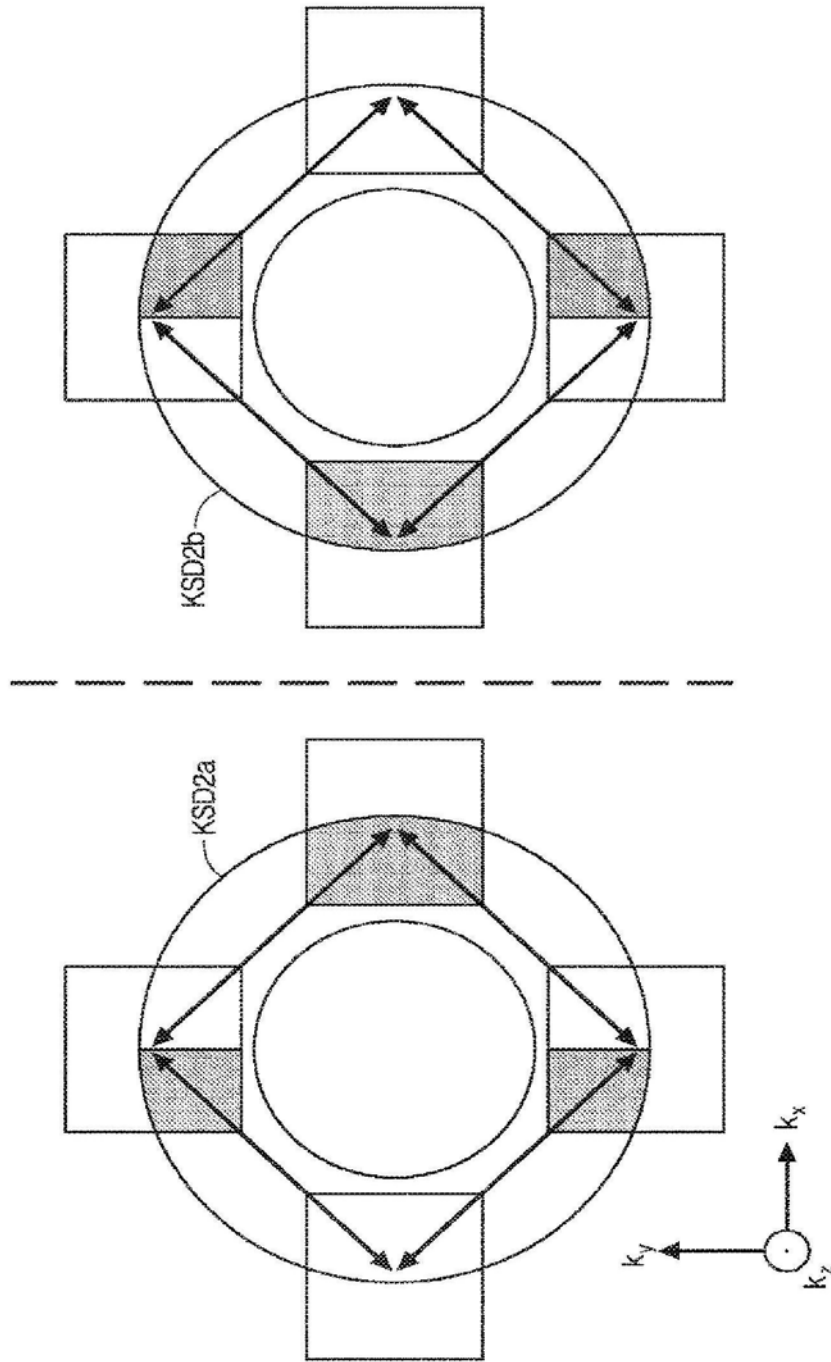


图22D

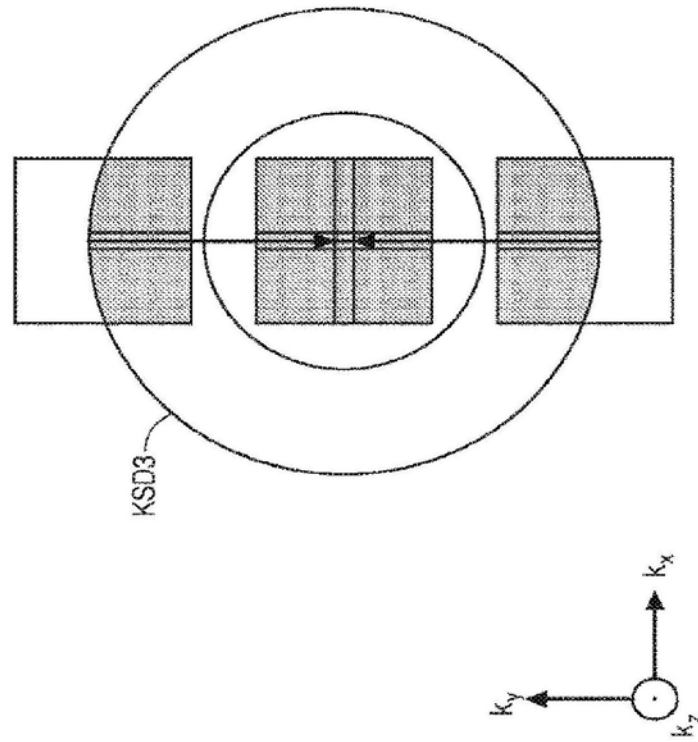


图22E

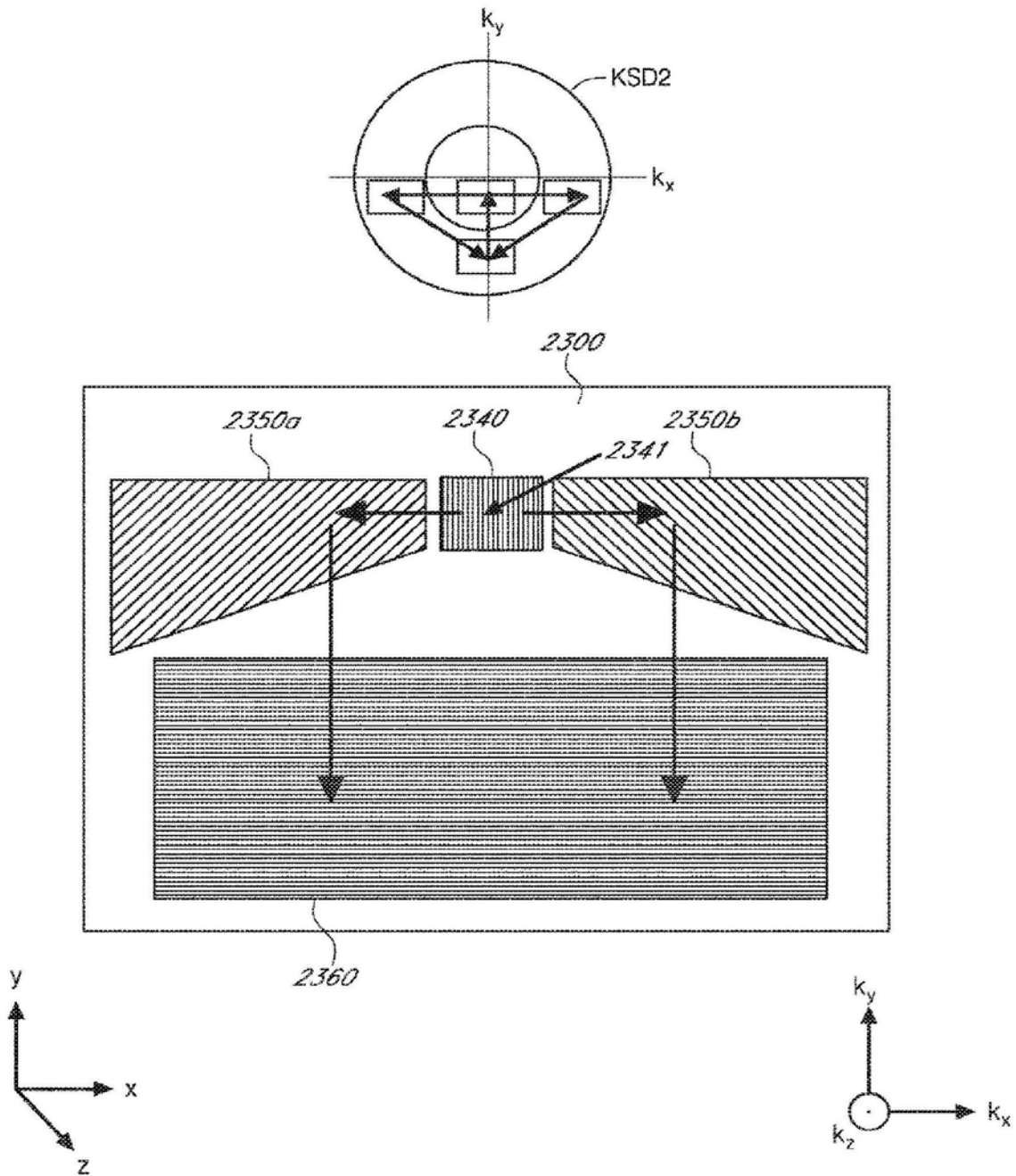


图23

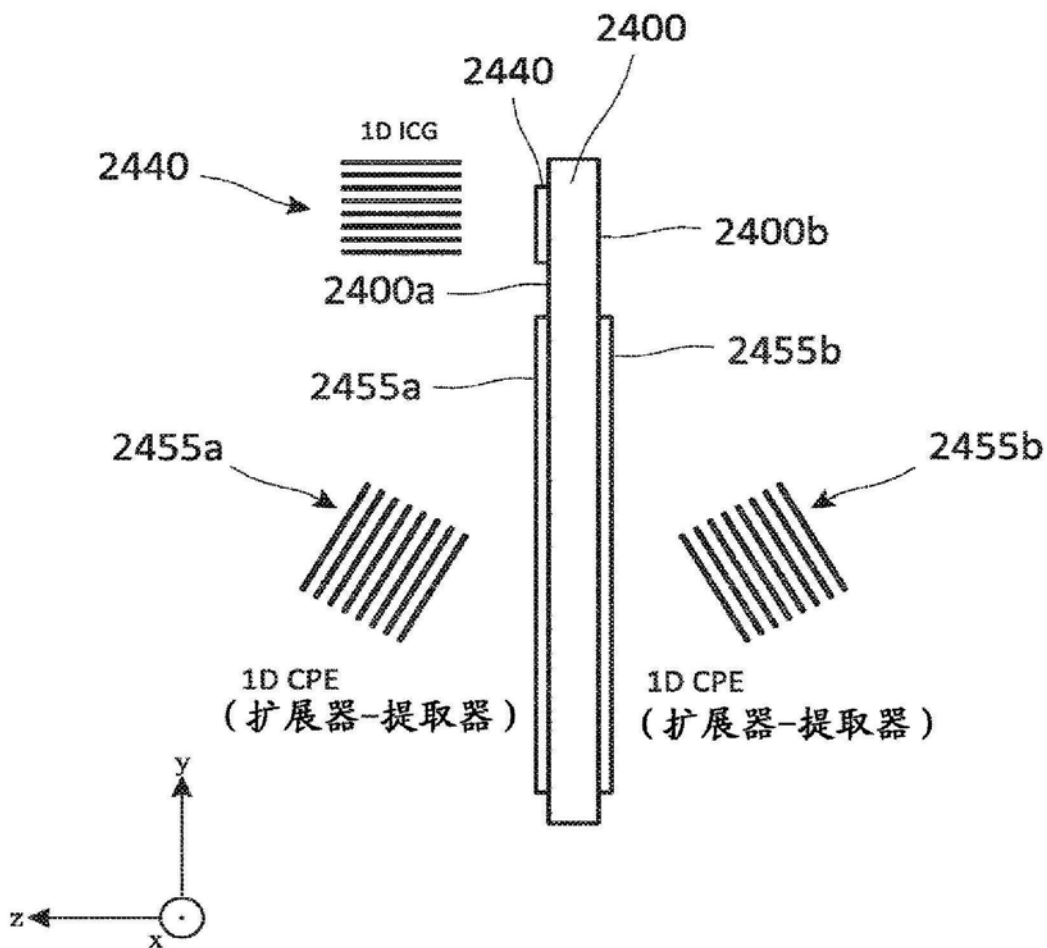


图24A

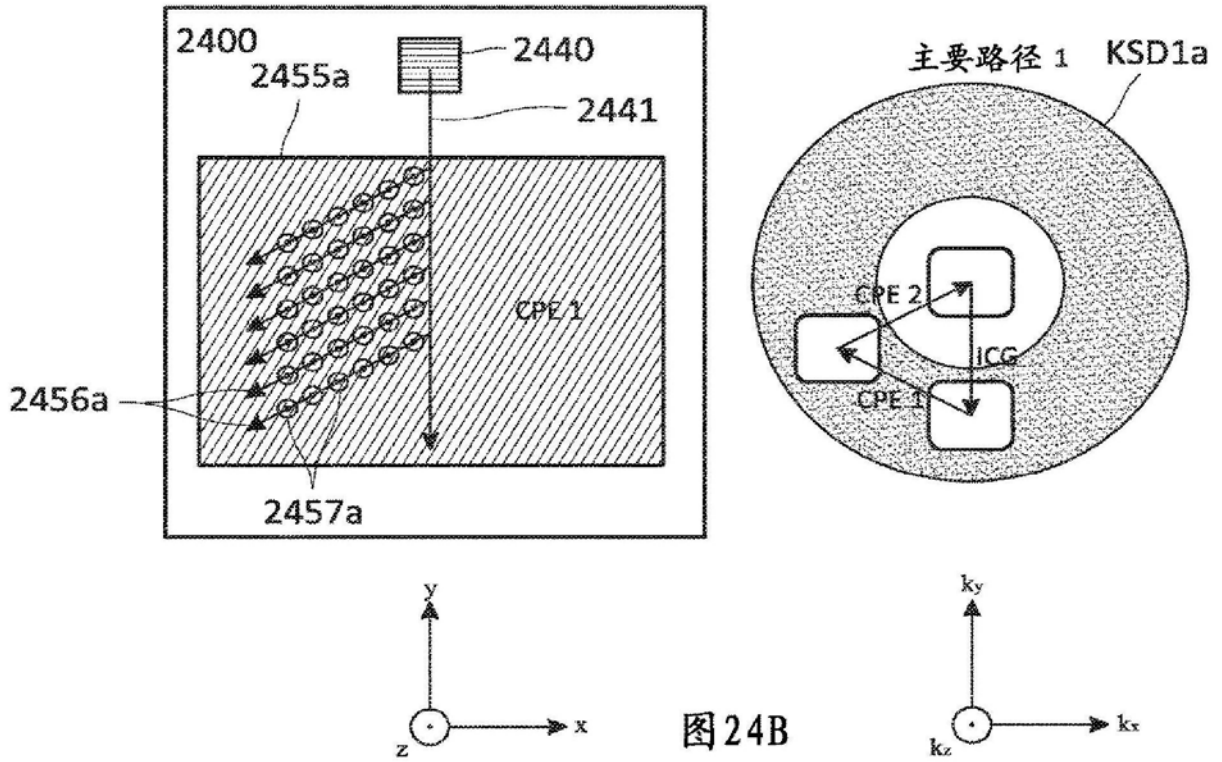


图24B

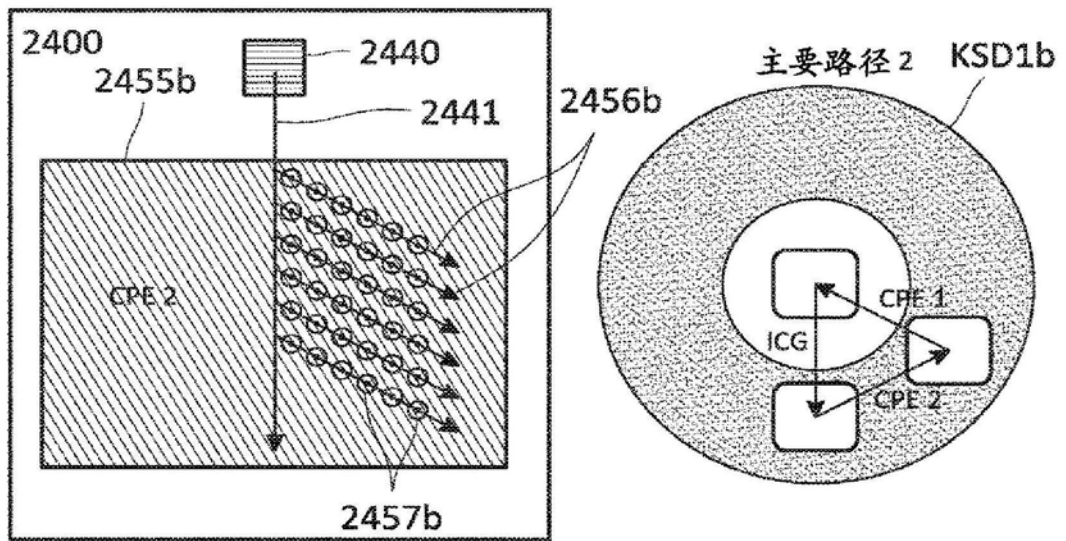


图24C

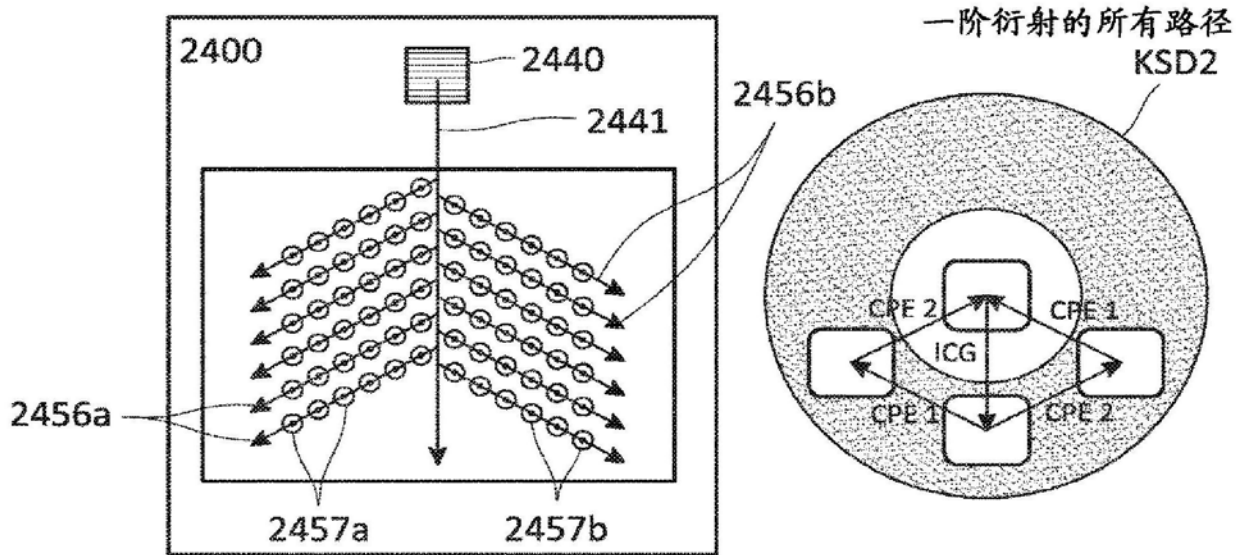


图24D

来自CPE₁的1相互作用
来自CPE₂的0相互作用

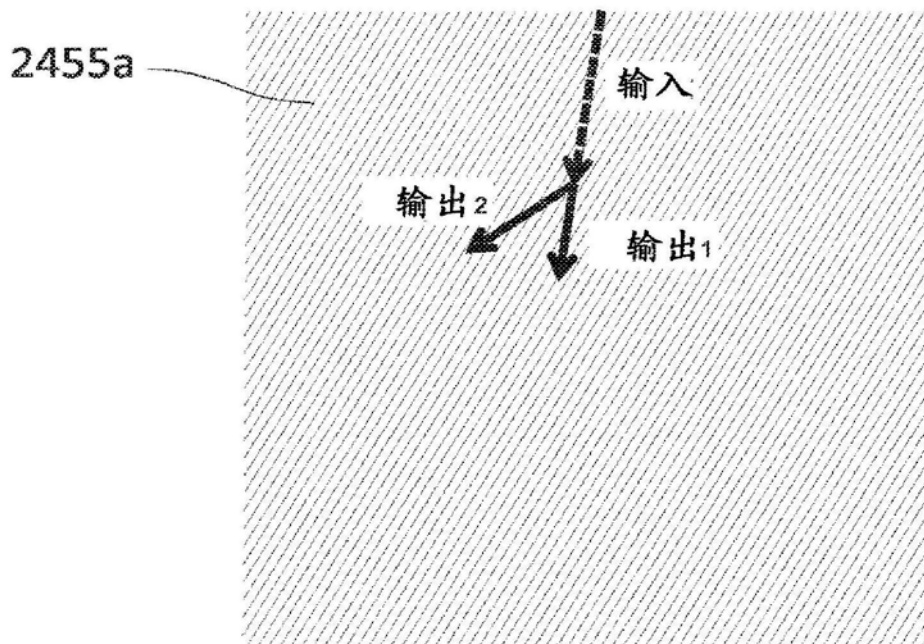


图24E

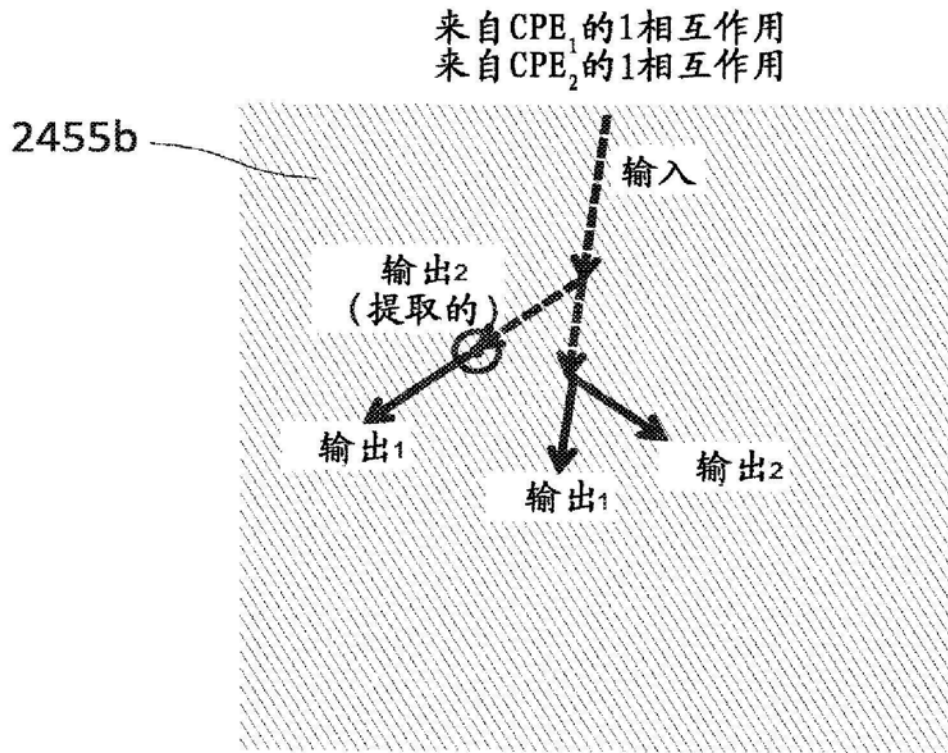


图24F

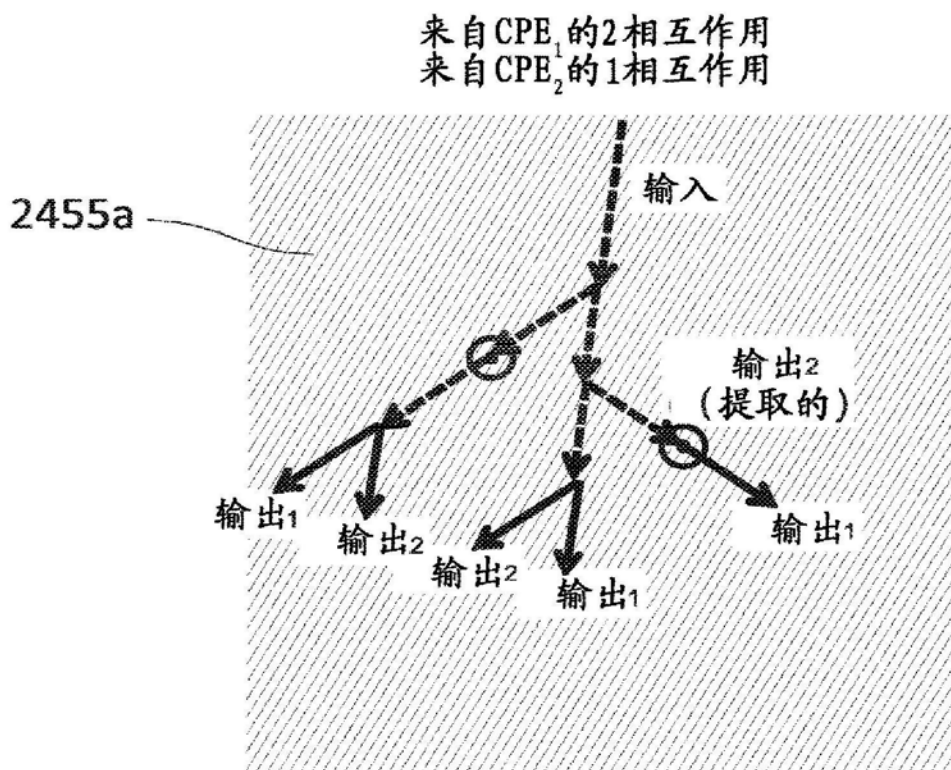


图24G

来自CPE₁的2相互作用
来自CPE₂的2相互作用

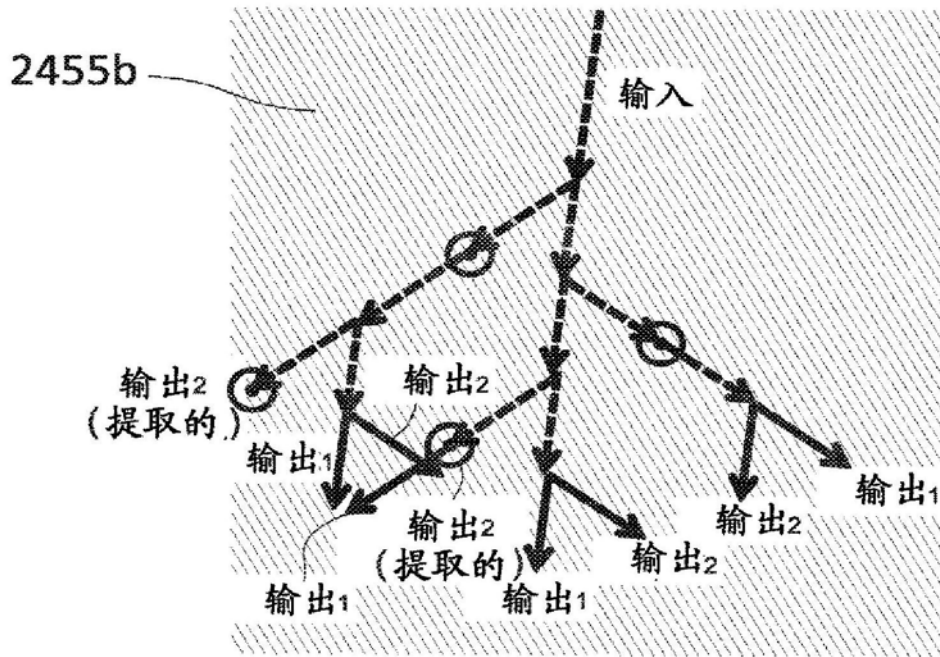


图24H

来自CPE₁的3相互作用
来自CPE₂的2相互作用

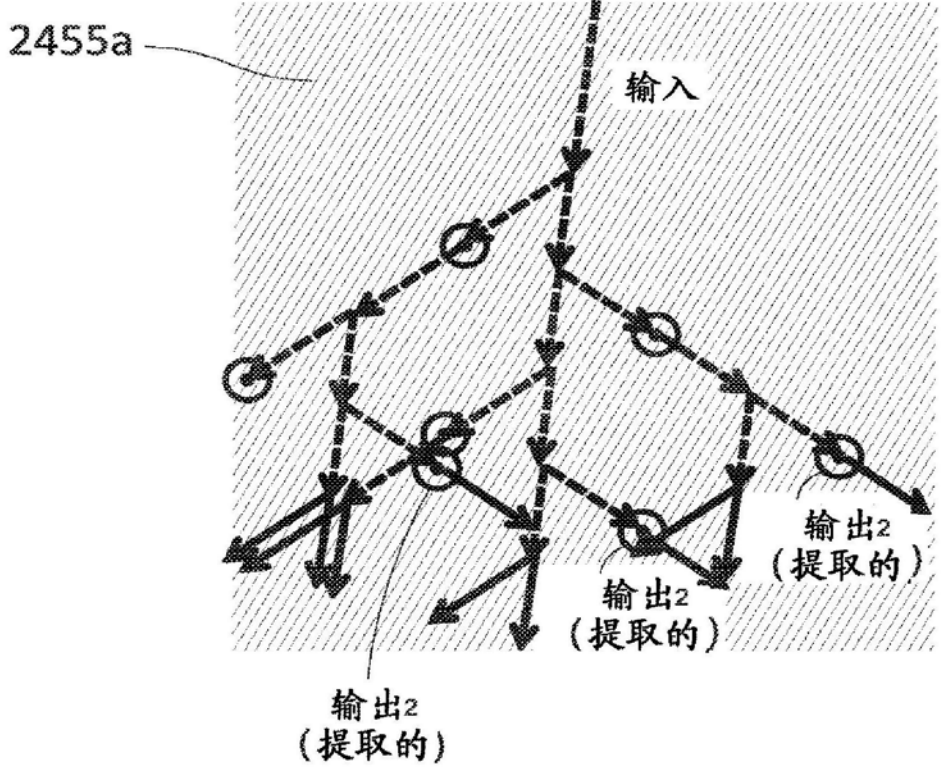


图24I

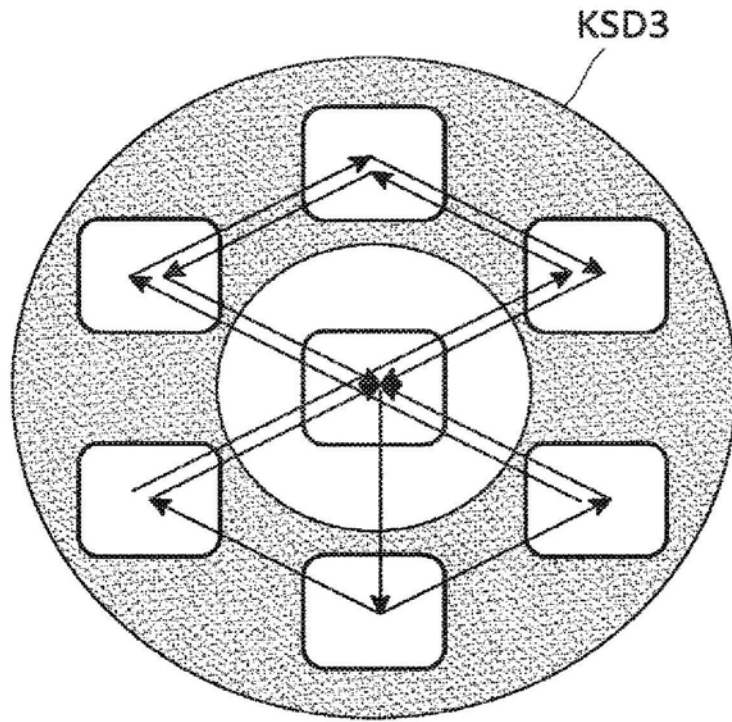


图24J

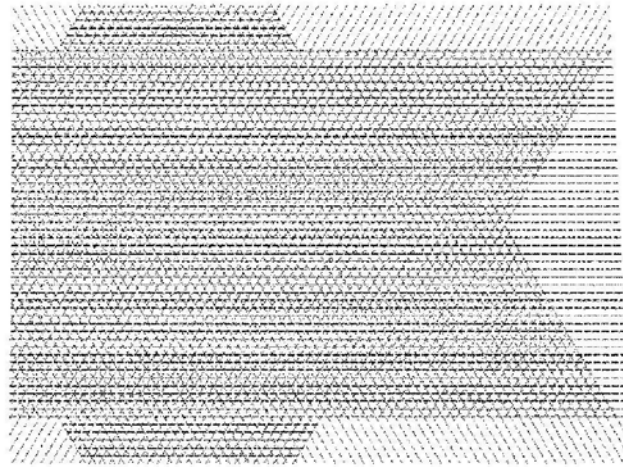


图24K

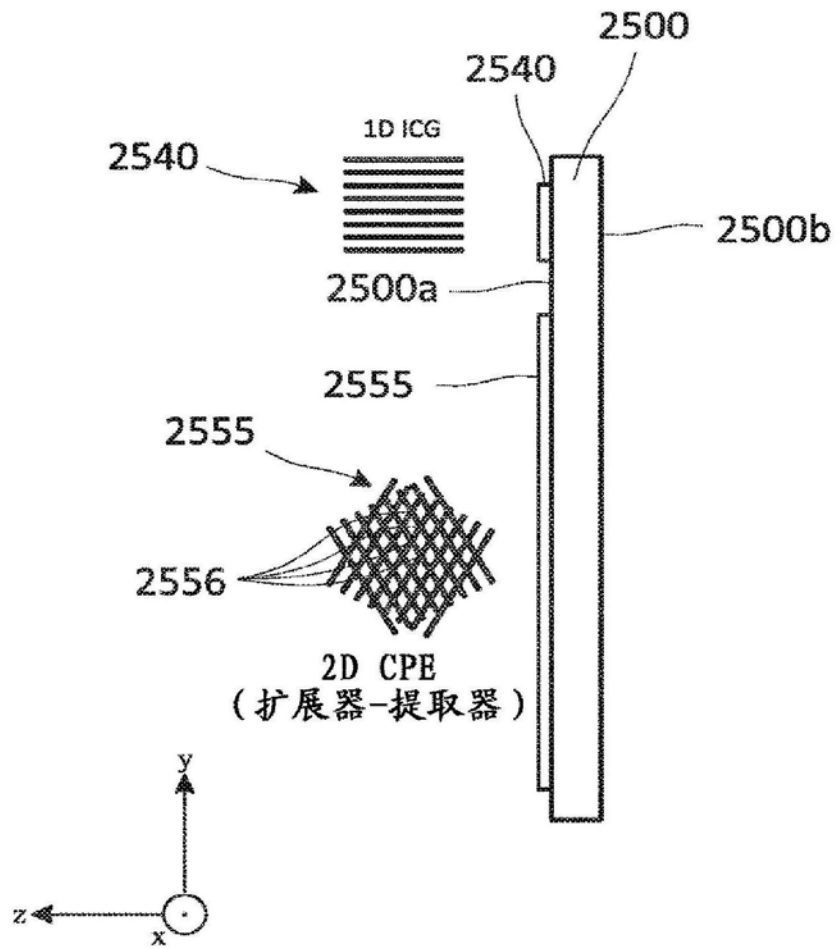
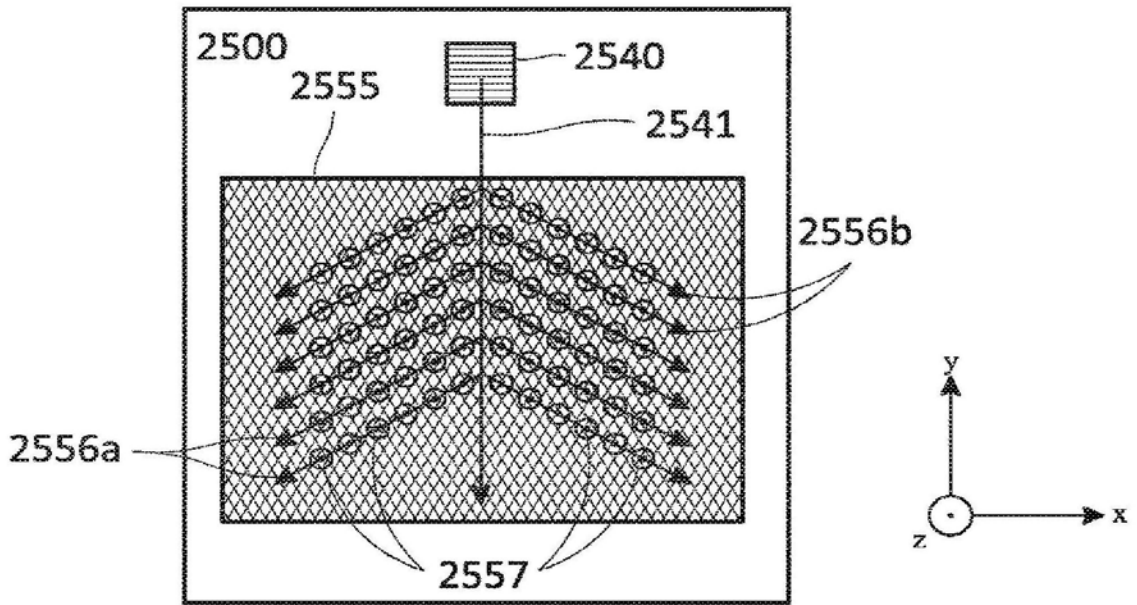


图25A



一阶衍射的所有路径
KSD1

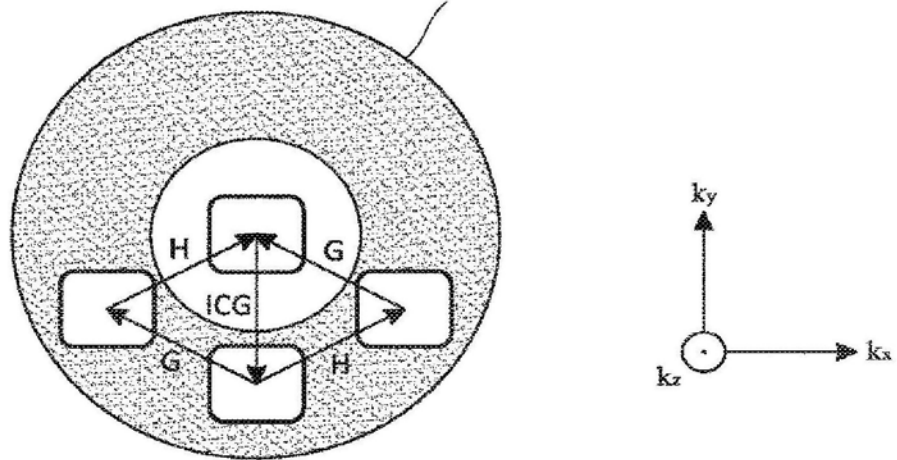


图25B

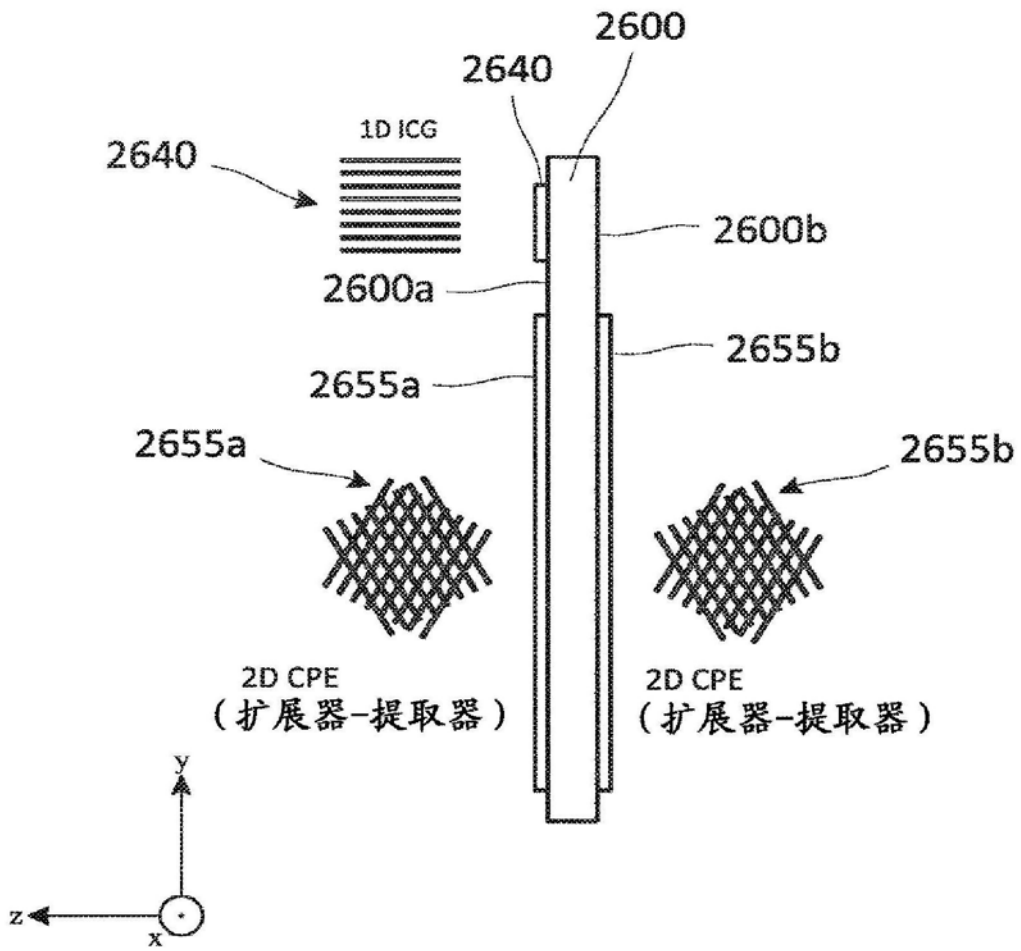


图26A

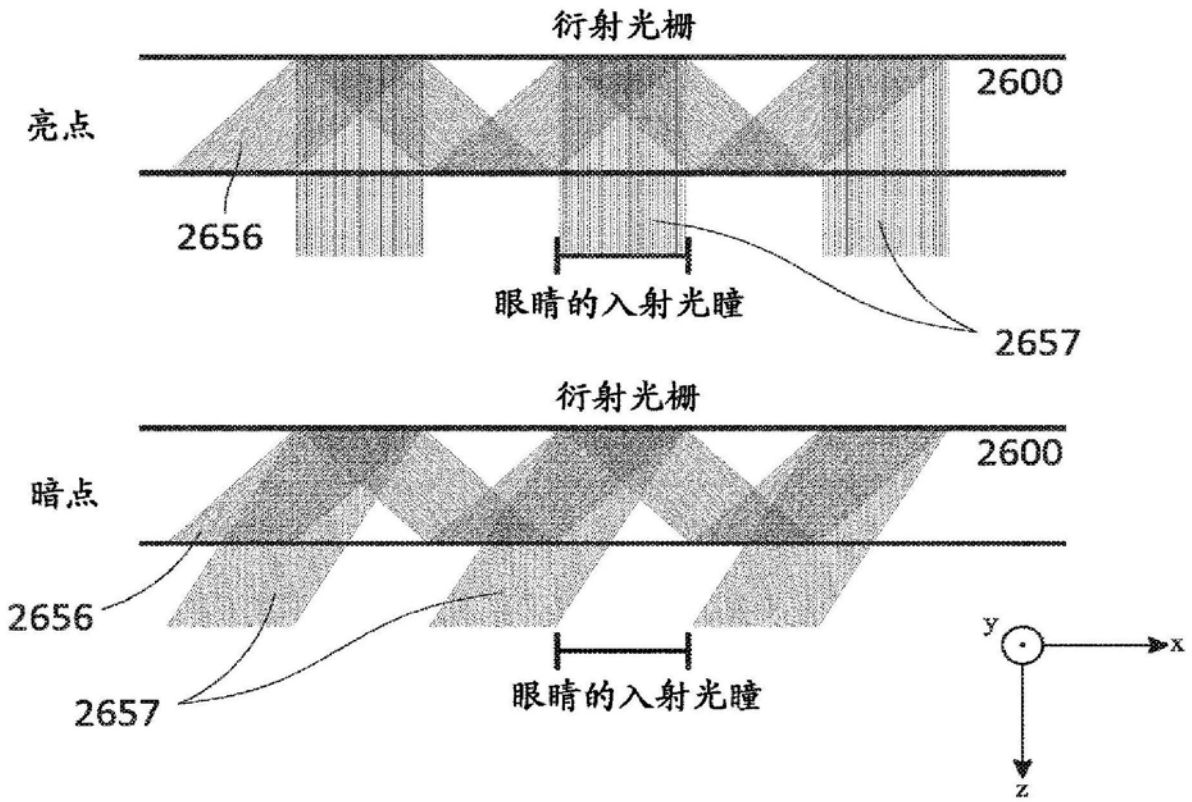


图26B

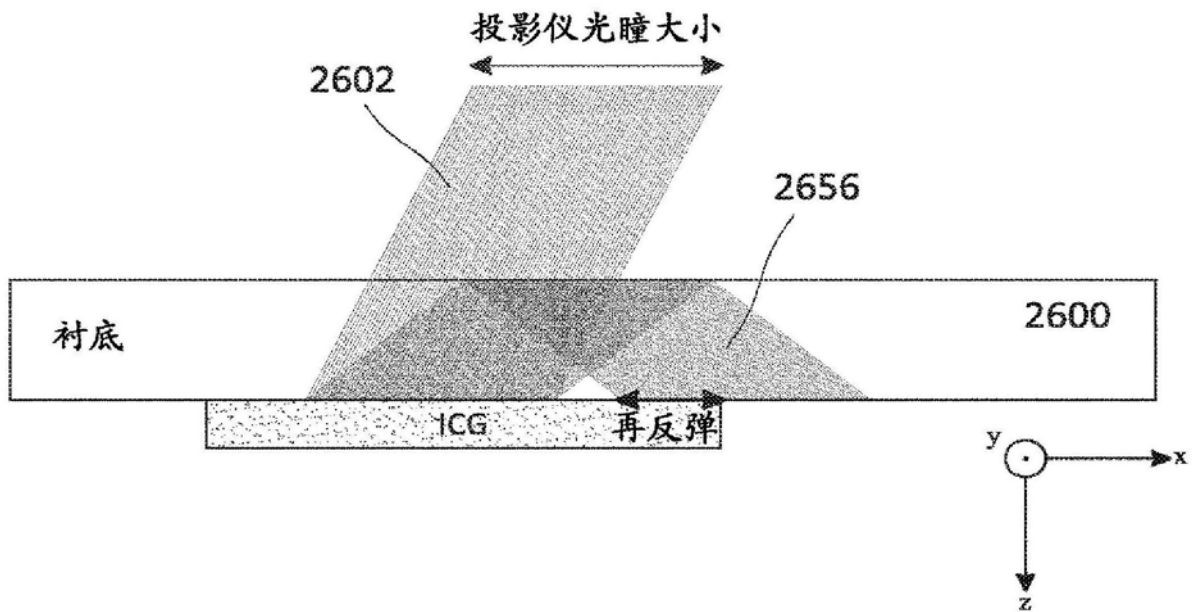


图26C

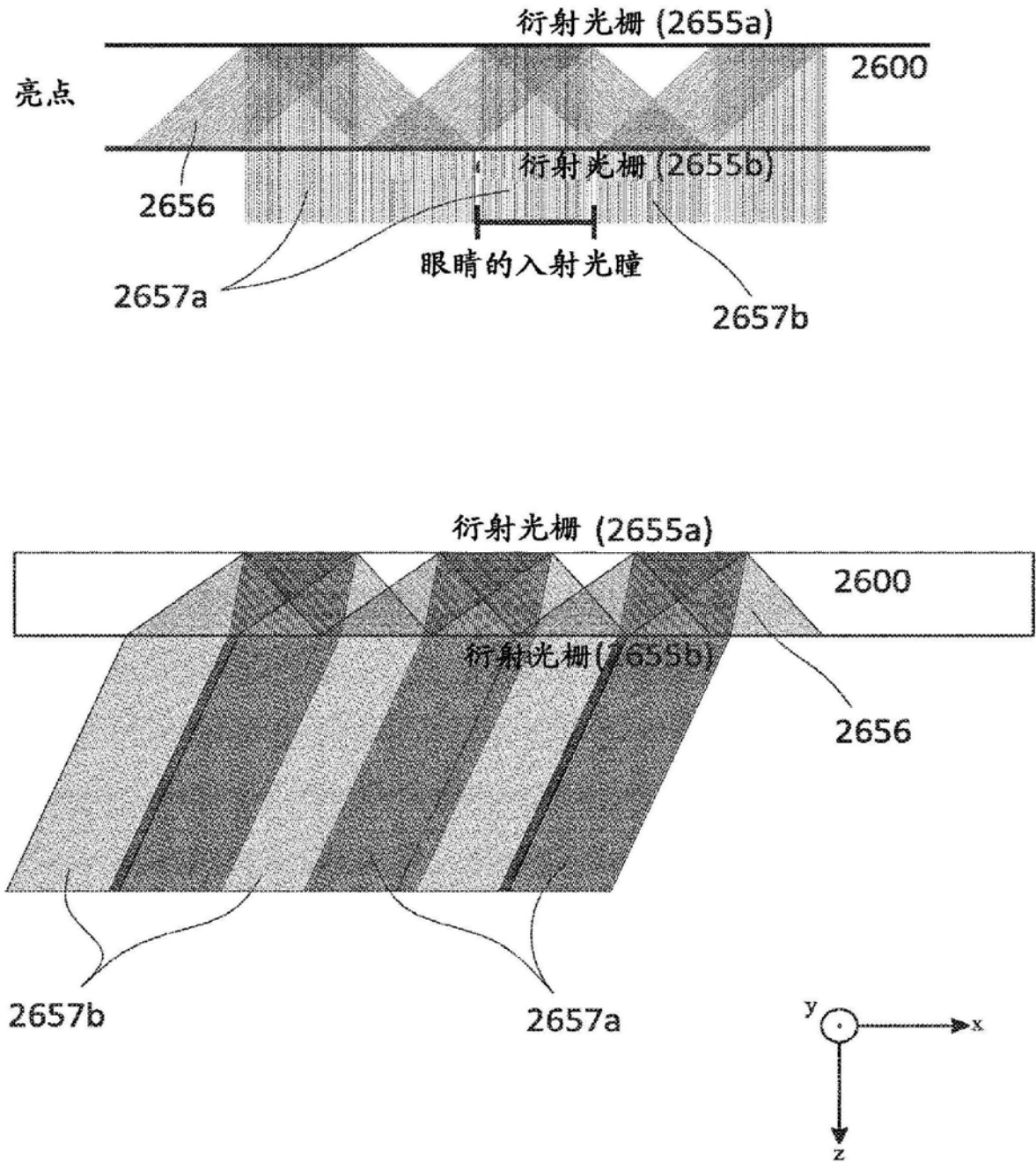


图26D

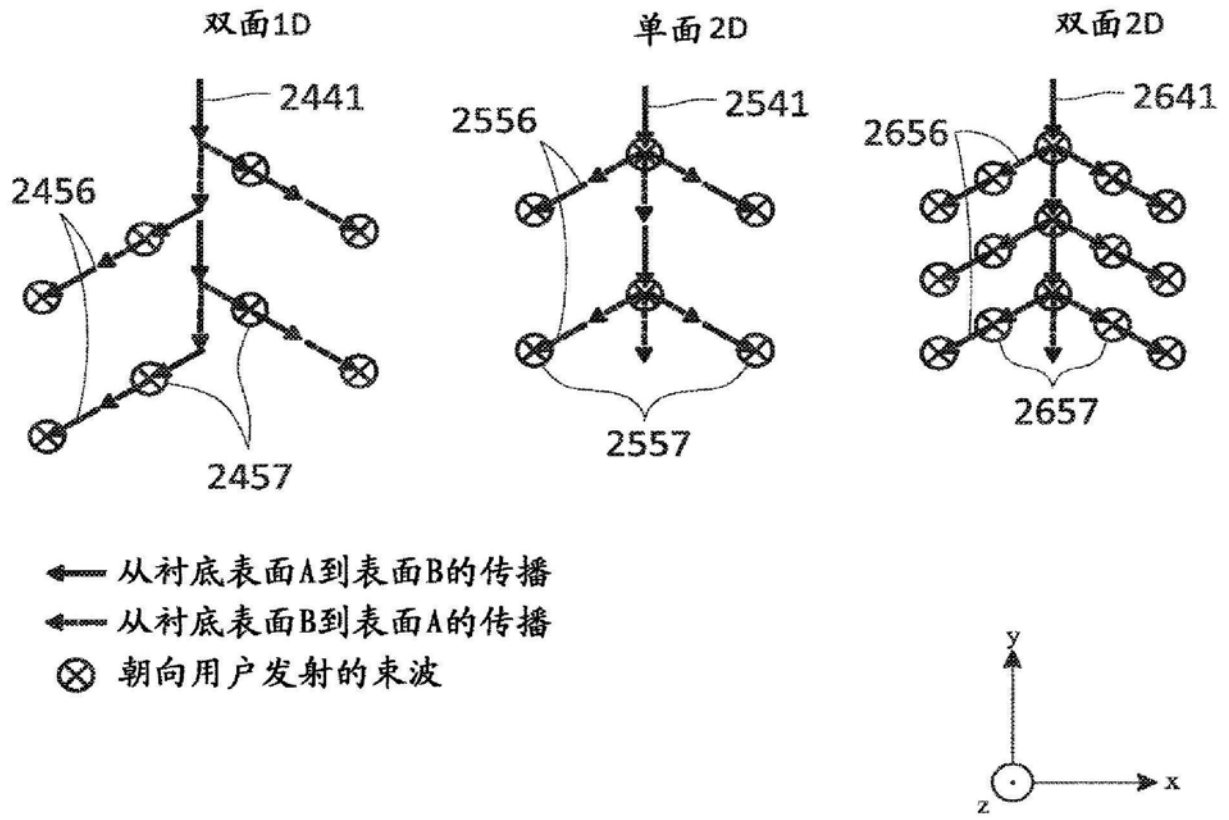


图26E

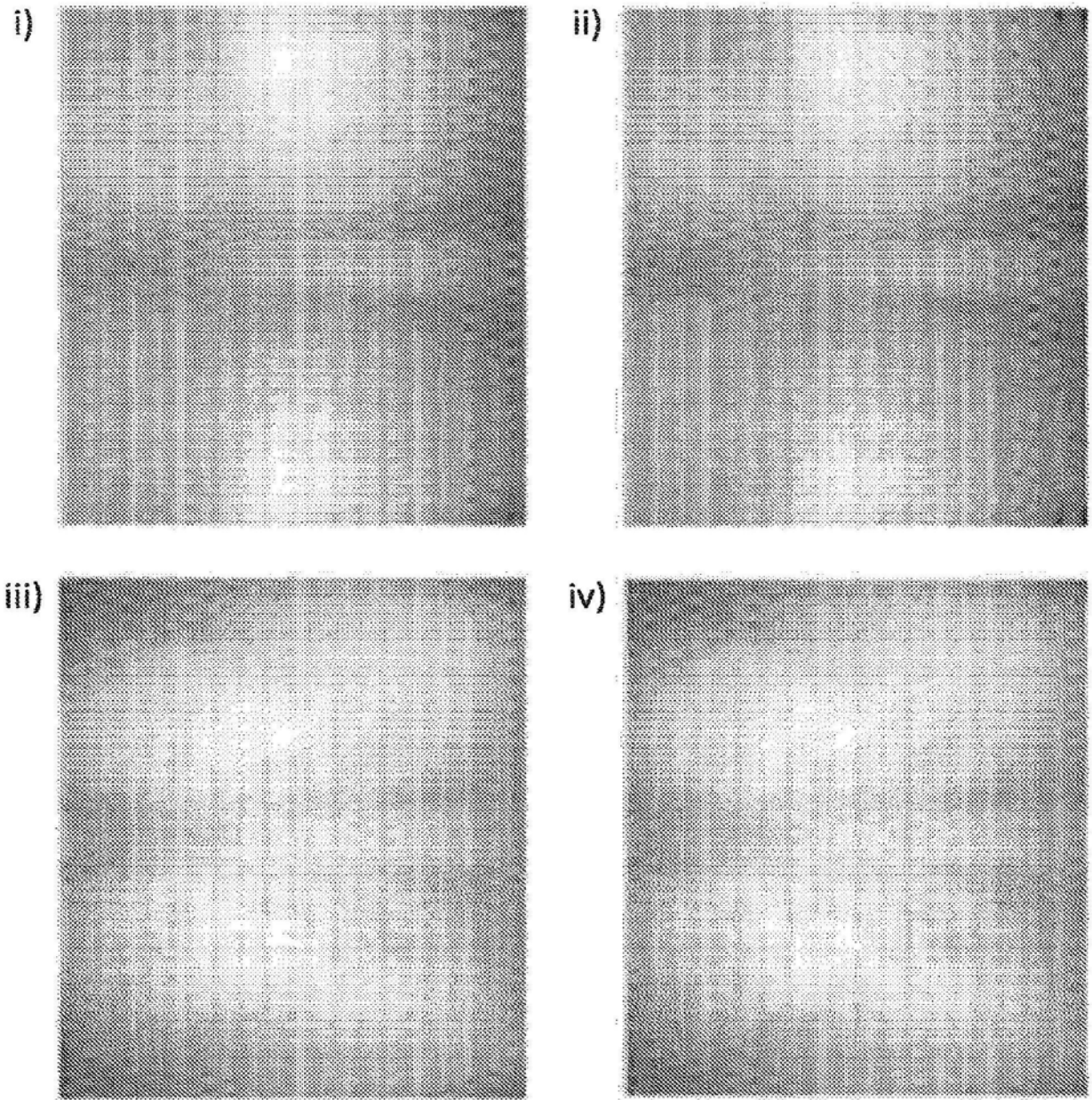


图26F

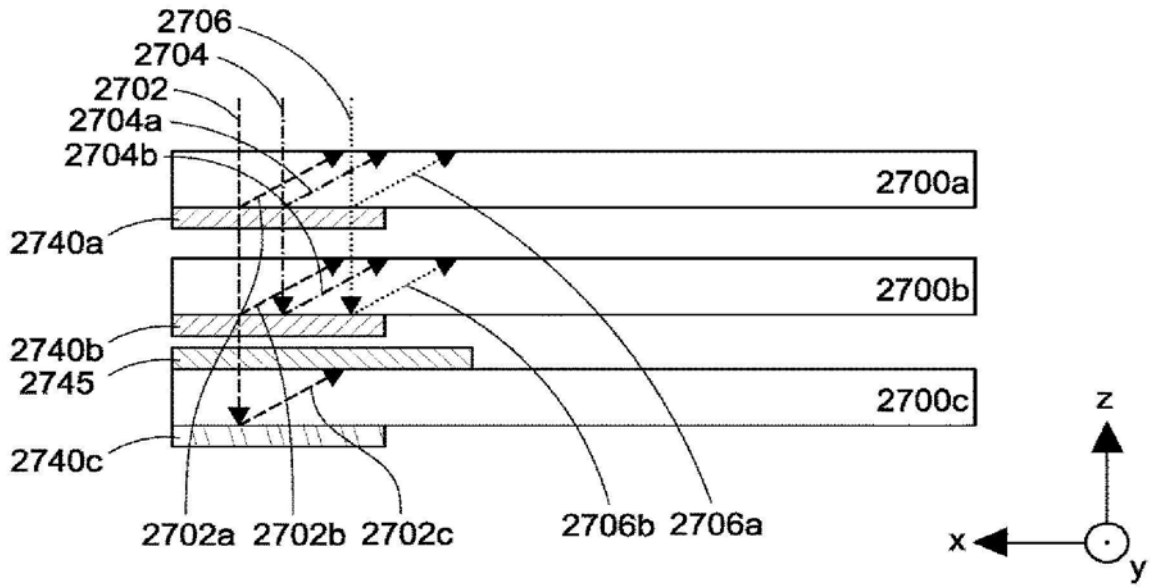


图27A

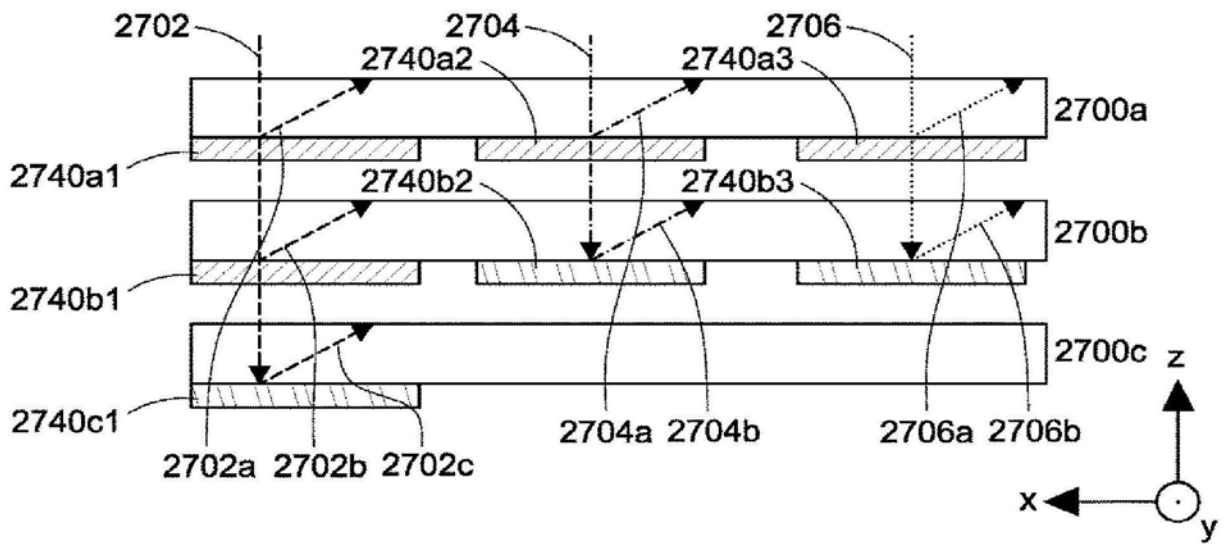


图27B

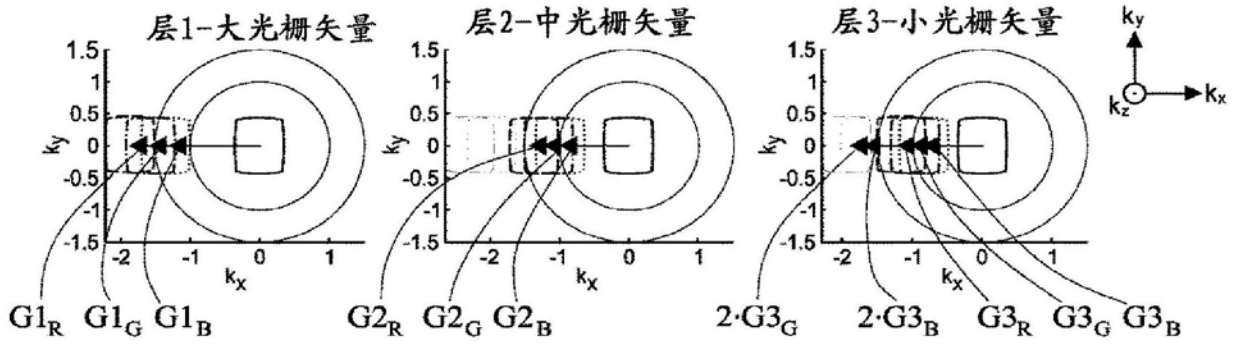


图27C

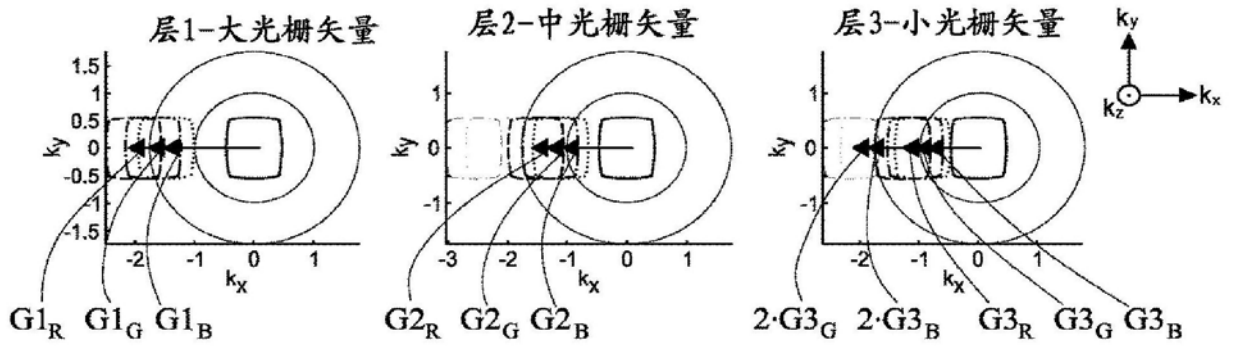


图27D

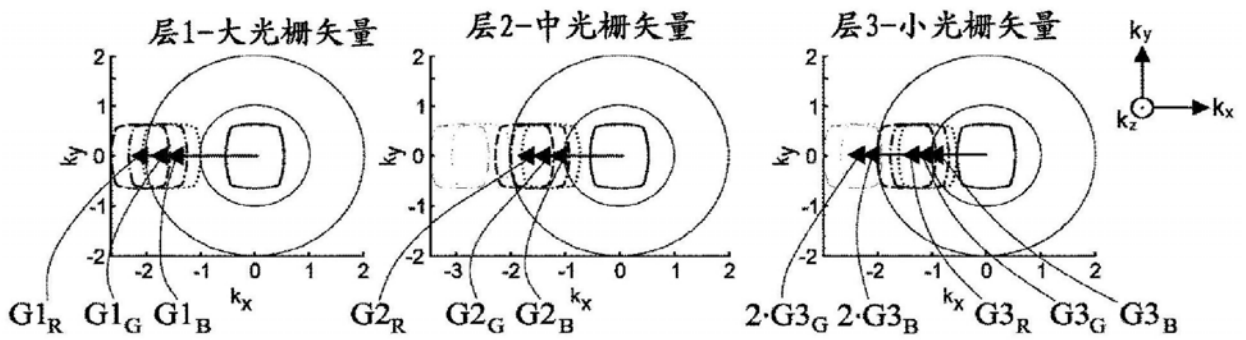


图27E

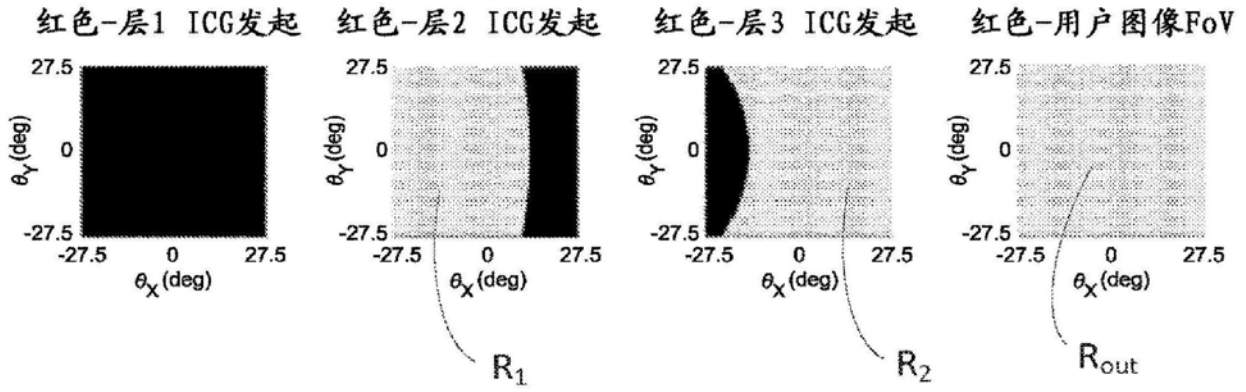


图27F

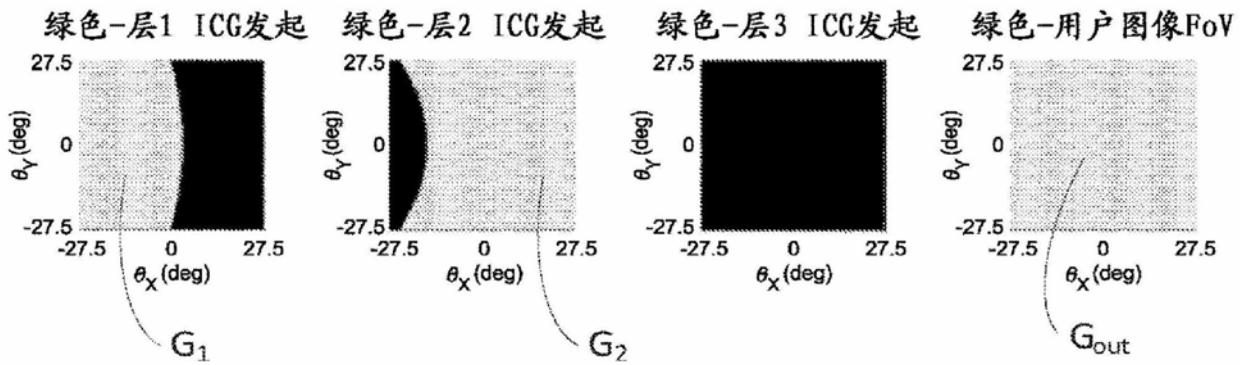


图27G

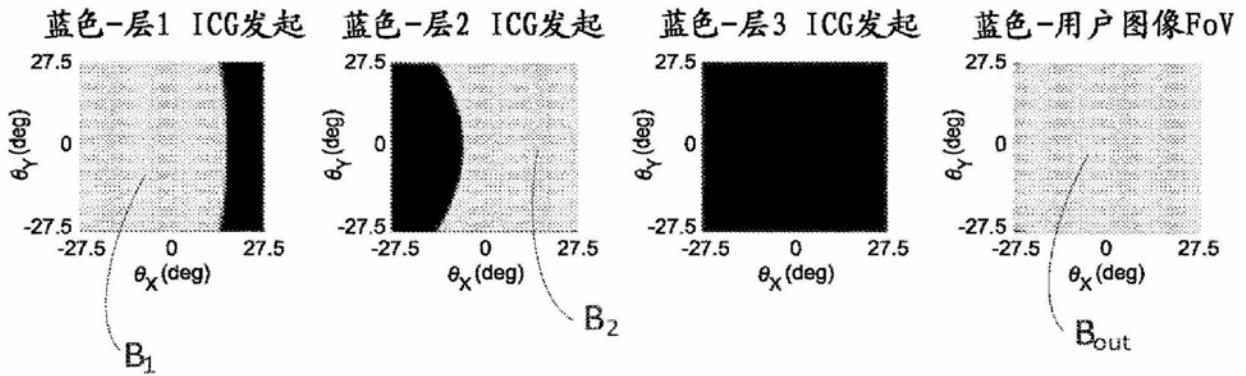


图27H

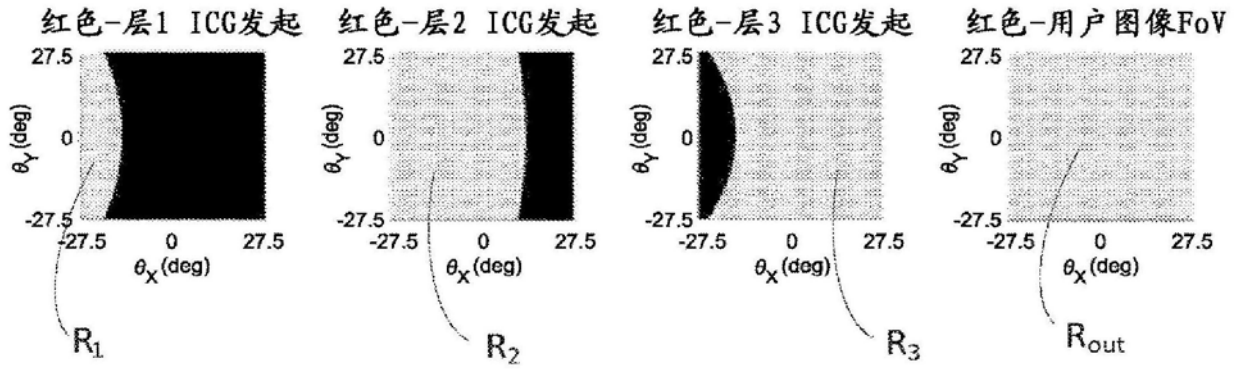


图27I

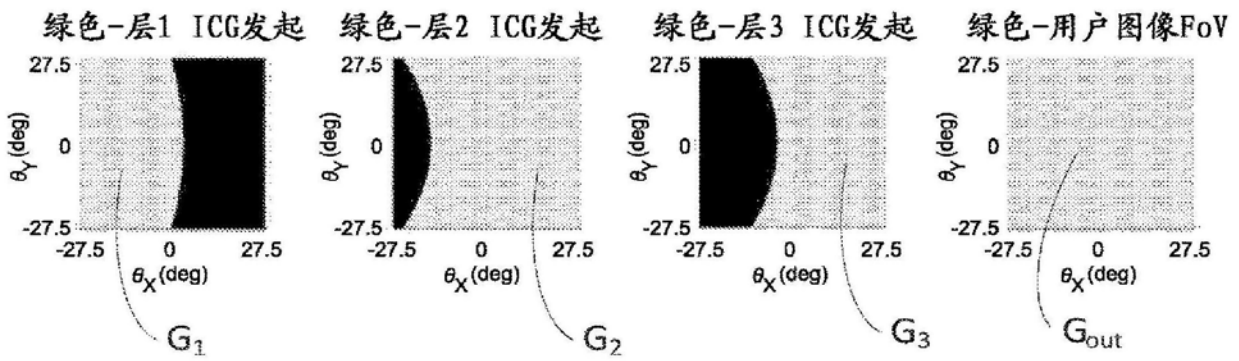


图27J

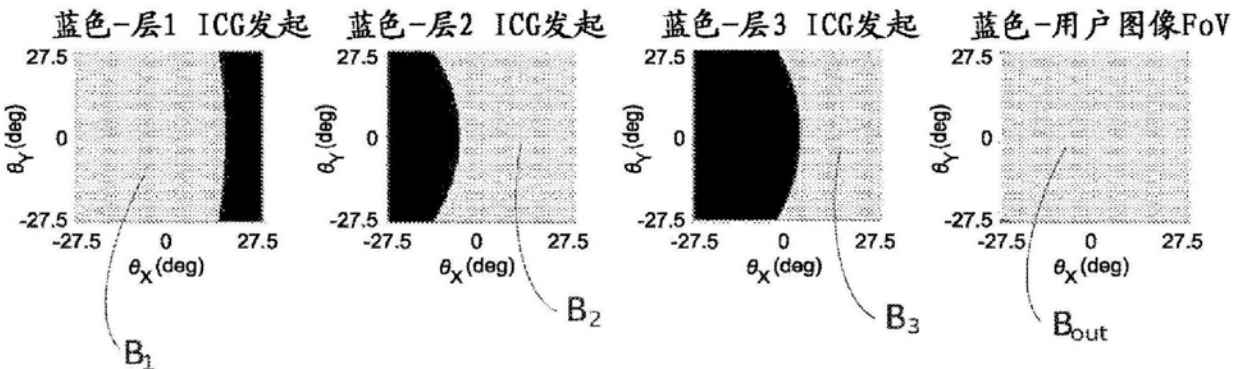


图27K

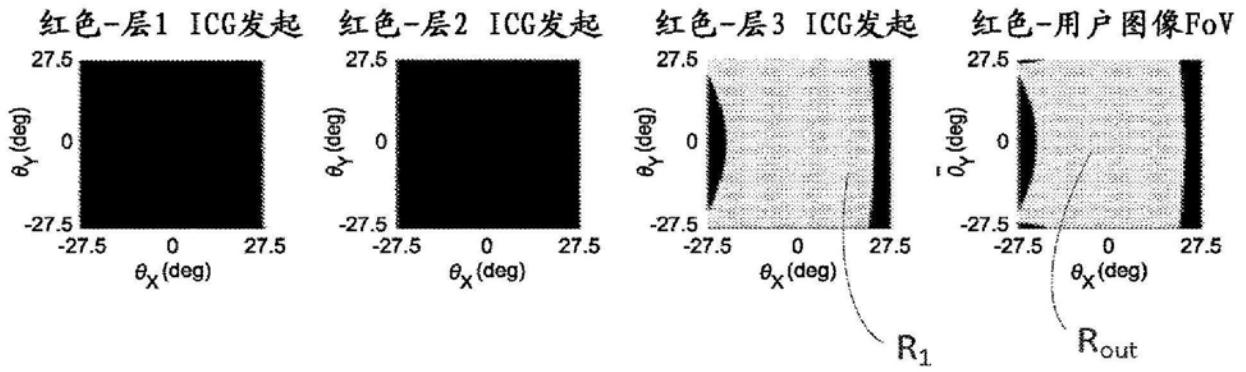


图27L

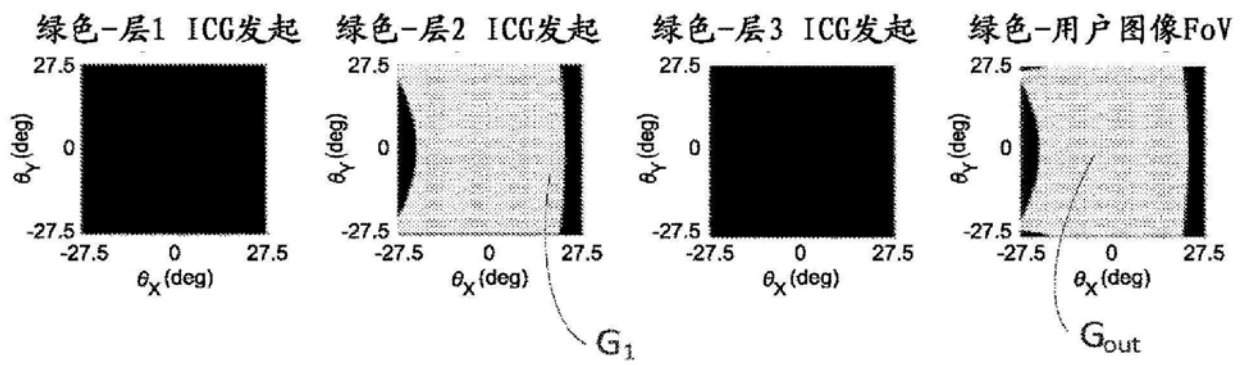


图27M

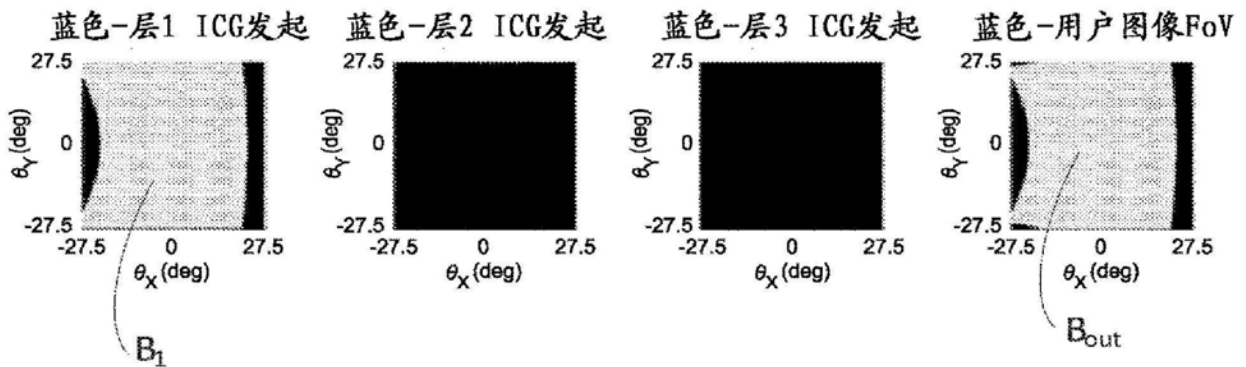


图27N

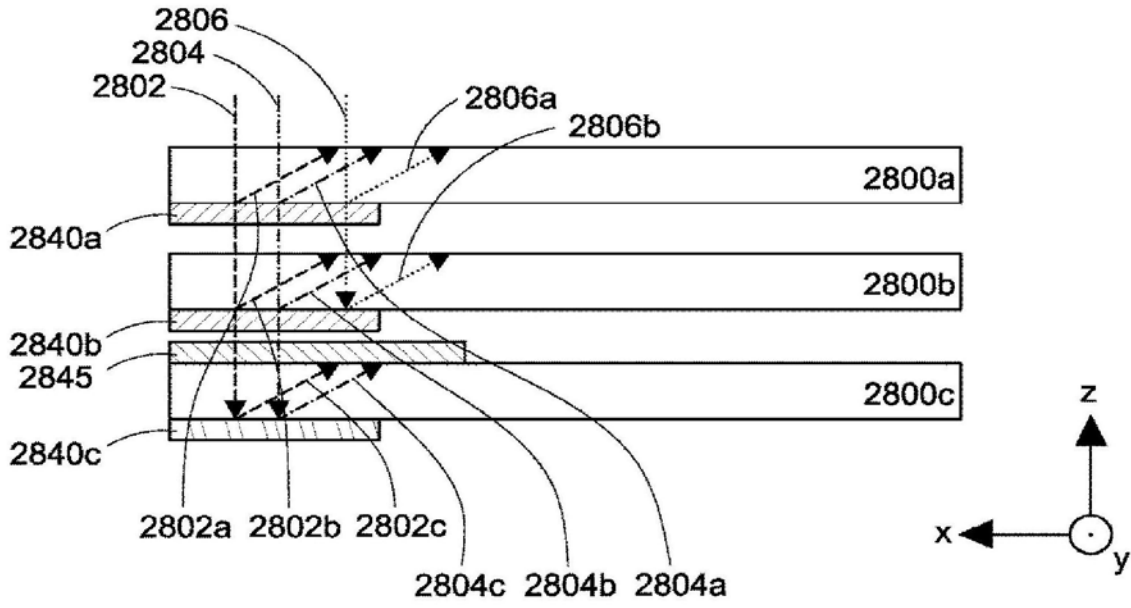


图28A

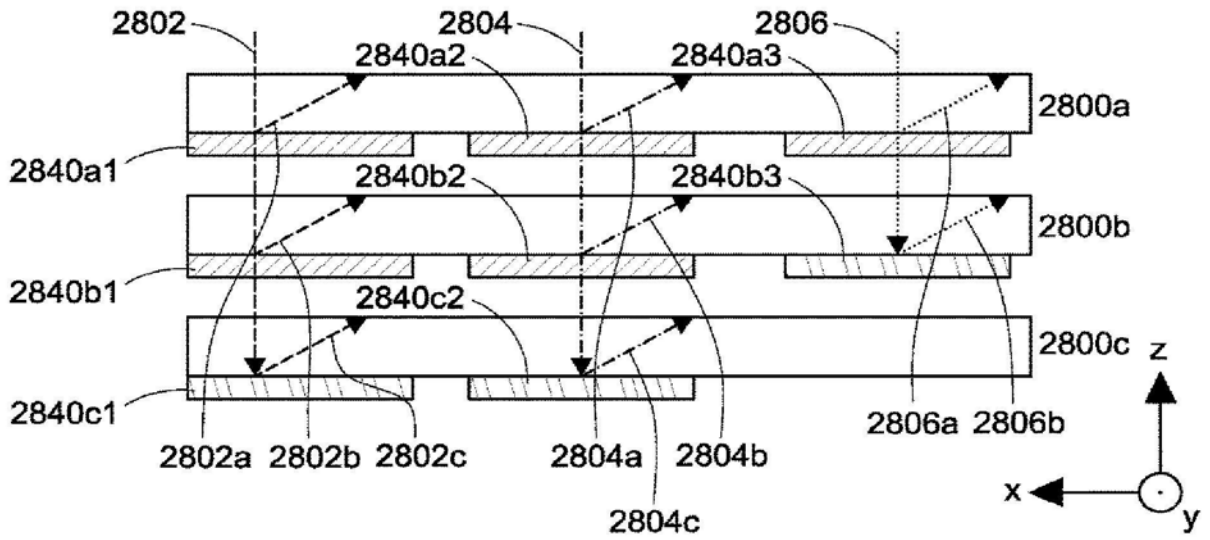


图28B

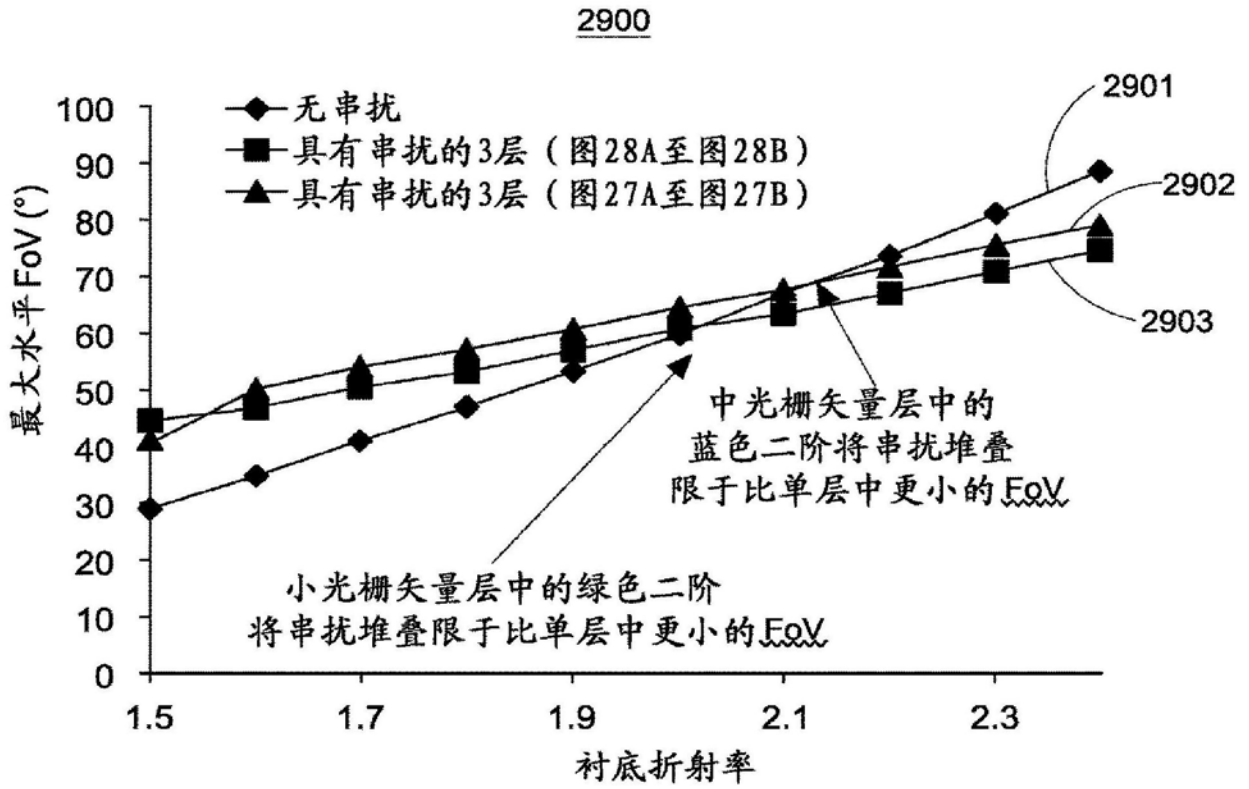


图29

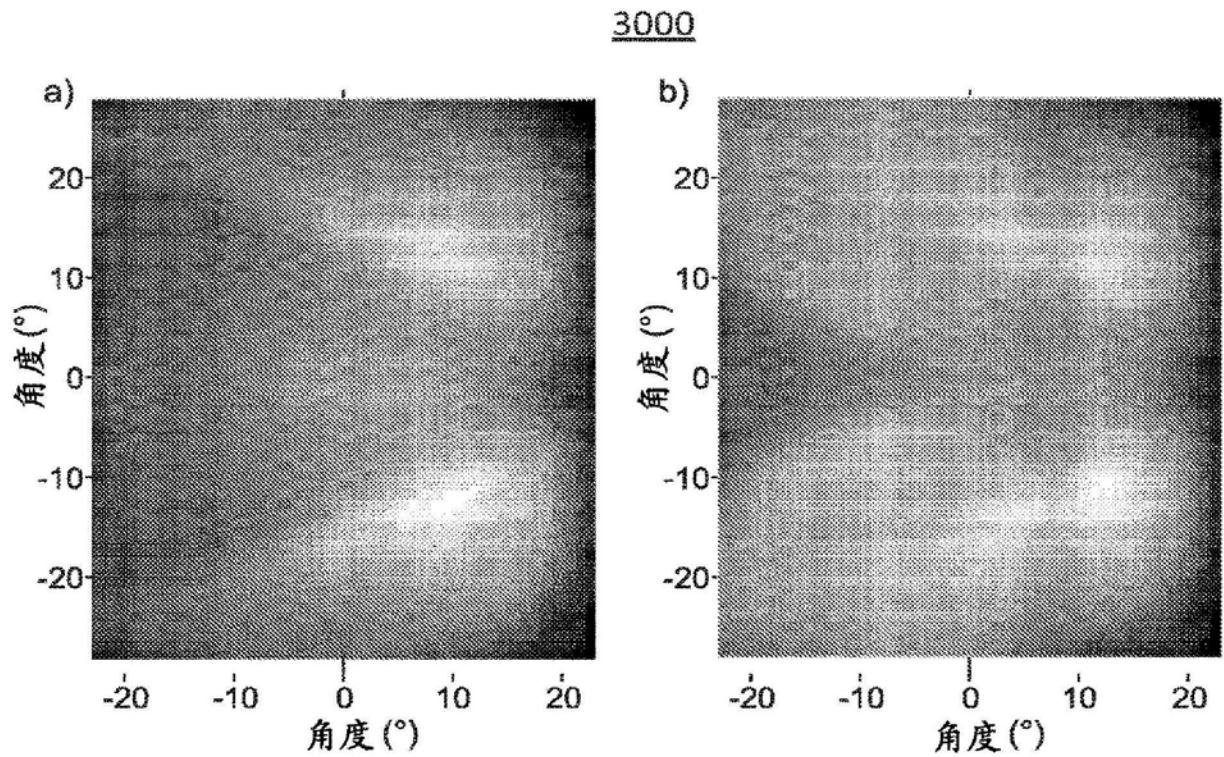


图30