



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105829952 B

(45)授权公告日 2018.09.28

(21)申请号 201480069135.1

(22)申请日 2014.11.25

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105829952 A

(43)申请公布日 2016.08.03

(30)优先权数据
14/135,284 2013.12.19 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.06.17

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/067458 2014.11.25

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/094613 EN 2015.06.25

(73)专利权人 谷歌有限责任公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 O.卡马奇 A.格普塔
O.A.马丁内斯

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105

代理人 王新华

(51)Int.Cl.
G02B 27/02(2006.01)
G02B 27/22(2006.01)

审查员 张梅

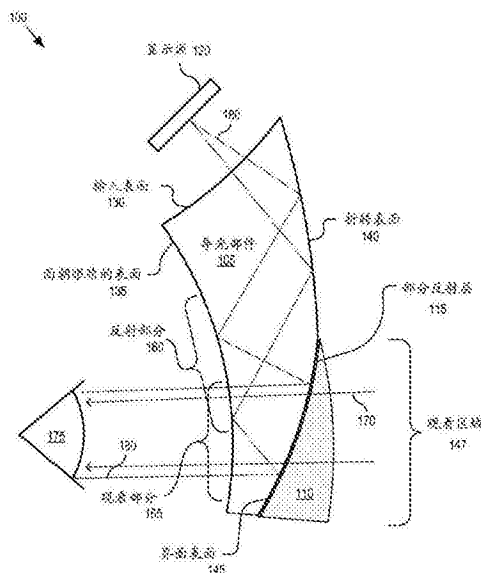
权利要求书2页 说明书5页 附图7页

(54)发明名称

用于头部可穿戴显示器的透明目镜

(57)摘要

一种用于头部可穿戴显示器的目镜包括导光部件,该导光部件用于引导在从观看区域偏移的外围位置接收的显示光并在观看区域中沿着朝向眼睛的方向发射显示光。导光部件包括:输入表面,被取向为将显示光接收到导光部件中;面朝眼睛的表面,具有反射部分和观看部分;折转表面,被取向为将通过输入表面接收的显示光反射到面朝眼睛的表面的反射部分;以及第一界面表面,被取向为接收从面朝眼睛的表面的反射部分反射的显示光。部分反射层在观看区域中设置在第一界面表面上,以沿着朝向眼睛的方向反射显示光而穿过面朝眼睛的表面的观看部分。



1. 一种用于头部可穿戴显示器的目镜,所述目镜包括:
导光部件,用于引导在从观看区域偏移的外围位置接收的显示光并在所述观看区域中沿着朝向眼睛的方向发射所述显示光,所述导光部件包括:
输入表面,被取向为在所述外围位置将所述显示光接收到所述导光部件中;
面朝眼睛的表面,具有反射部分和观看部分;
折转表面,邻近所述输入表面设置并与所述面朝眼睛的表面相对,所述折转表面被取向为将通过所述输入表面接收的所述显示光反射到所述面朝眼睛的表面的所述反射部分;
以及
第一界面表面,在所述观看区域中与所述面朝眼睛的表面相对地设置,并被取向为接收从所述面朝眼睛的表面的所述反射部分反射的所述显示光;
部分反射层,在所述观看区域中设置在所述第一界面表面上,所述部分反射层沿着所述朝向眼睛的方向反射所述显示光而穿过所述面朝眼睛的表面的观看部分;以及
透明附加部件,所述透明附加部件在所述观看区域中沿着所述第一界面表面安装到所述导光部件,其中,所述透明附加部件包括面对外部场景的表面,该面对外部场景的表面具有与所述面朝眼睛的表面的在所述观看区域中的第二曲率互补的第一曲率以基本上抵消所述面朝眼睛的表面的在所述观看区域中的屈光力。
2. 如权利要求1所述的目镜,其中所述部分反射层包括沿着所述朝向眼睛的方向部分地反射所述显示光的分束器。
3. 如权利要求2所述的目镜,其中,所述分束器是偏振分束器。
4. 如权利要求1所述的目镜,其中所述部分反射层设置在所述观看区域中且在所述导光部件的所述第一界面表面和所述透明附加部件之间的界面处,
其中所述透明附加部件和所述导光部件的所述观看区域对沿着所述朝向眼睛的方向行进的外部场景光是至少部分透明的。
5. 如权利要求4所述的目镜,其中所述透明附加部件由具有与所述导光部件的折射系数基本上相等的折射系数的材料形成。
6. 如权利要求4所述的目镜,其中所述透明附加部件还包括:
第二界面表面,具有与所述导光部件的所述第一界面表面匹配的尺寸和曲率。
7. 如权利要求6所述的目镜,其中所述透明附加部件的所述面对外部场景的表面的所述第一曲率形成与所述导光部件的所述折转表面连续的表面。
8. 如权利要求1所述的目镜,其中所述面朝眼睛的表面的所述反射部分和所述折转表面是透明表面,所述透明表面被取向为借助全内反射来反射所述显示光。
9. 如权利要求1所述的目镜,其中所述输入表面被弯曲以向被接收到所述导光部件中的所述显示光赋予屈光力从而减小畸变。
10. 如权利要求1所述的目镜,其中所述折转表面、所述面朝眼睛的表面和所述第一界面表面都是弯曲表面,所述弯曲表面被成形为对所述显示光给予反射中的屈光力,并且其中所述导光部件具有矩形横截面形状。
11. 如权利要求10所述的目镜,其中所述导光部件相对于在所述输入表面接收的所述显示光放大沿着所述朝向眼睛的方向发射的所述显示光。
12. 如权利要求1所述的目镜,其中所述折转表面和所述面朝眼睛的表面的至少所述反

射部分被涂覆有抗指纹涂层。

13. 如权利要求1所述的目镜,其中所述导光部件显示比0.1屈光度更平的像平面。

14. 如权利要求1所述的目镜,其中,所述反射部分和所述观看部分具有相同的表面曲率。

15. 一种用于向用户显示图像的头部可穿戴显示器,所述头部可穿戴显示器包括:

产生显示光的显示源;

透明目镜,包括:

导光部件,用于引导在从观看区域偏移的外围位置接收的所述显示光并在所述观看区域中沿着朝向眼睛的方向发射所述显示光,所述导光部件包括:接收所述显示光的输入表面;面朝眼睛的表面,具有反射部分和观看部分;折转表面,被取向为将所述显示光反射到所述面朝眼睛的表面的所述反射部分;以及第一界面表面,设置在所述观看区域中;

透明附加部件,在所述观看区域中沿着所述第一界面表面安装到所述导光部件,所述透明附加部件包括面对外部场景的表面,该面对外部场景的表面具有与所述面朝眼睛的表面的在所述观看区域中的第二曲率互补的第一曲率以基本上抵消所述面朝眼睛的表面的在所述观看区域中的屈光力;以及

部分反射层,在所述观看区域中设置在所述第一界面表面处,所述部分反射层沿着所述朝向眼睛的方向反射所述显示光而穿过所述面朝眼睛的表面的所述观看部分;以及

框架总成,支撑所述透明目镜和所述显示源,用于佩带在所述用户的头上,使所述观看区域位于用户的所述眼睛前面。

16. 如权利要求15所述的头部可穿戴显示器,其中所述部分反射层包括沿着所述朝向眼睛的方向部分地反射所述显示光的分束器。

17. 如权利要求16所述的头部可穿戴显示器,其中,所述分束器是偏振分束器。

18. 如权利要求15所述的头部可穿戴显示器,其中所述透明附加部件由具有与所述导光部件的折射系数基本上相等的折射系数的材料形成。

19. 如权利要求15所述的头部可穿戴显示器,其中所述透明附加部件包括:第二界面表面,具有与所述导光部件的所述第一界面表面匹配的尺寸和曲率。

20. 如权利要求15所述的头部可穿戴显示器,其中所述面朝眼睛的表面的所述反射部分和所述折转表面是透明表面,所述透明表面被取向为借助全内反射来反射所述显示光。

21. 如权利要求15所述的头部可穿戴显示器,其中所述折转表面、所述面朝眼睛的表面和所述第一界面表面都是弯曲表面,所述弯曲表面被成形为对所述显示光给予反射中的屈光力。

22. 如权利要求15所述的头部可穿戴显示器,其中所述导光部件和所述透明附加部件两者都具有矩形横截面形状。

23. 如权利要求15所述的头部可穿戴显示器,其中所述折转表面和所述面朝眼睛的表面的至少所述反射部分被涂覆有抗指纹涂层。

24. 如权利要求15所述的头部可穿戴显示器,其中,所述反射部分和所述观看部分具有相同的表面曲率。

用于头部可穿戴显示器的透明目镜

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及光学领域,特别地而不是排他地涉及用于头部可穿戴显示器(head wearable display)的目镜(eyepiece)。

背景技术

[0002] 头戴式显示器(“HMD”)或者头部可穿戴显示器是佩带在头上或者在头附近的显示装置。HMD通常并入某种近眼光学系统以产生位于用户前面几米的放大的虚拟图像。单眼显示器被称为单目HMD,而双眼显示器被称为双目HMD。一些HMD仅显示计算机生成的图像(“CGI”),而另一些类型的HMD能够在真实世界图景上叠加CGI。后面这种类型的HMD通常包括某种形式的透明目镜(see-through eyepiece)并能够作用于实现增强现实的硬件平台。利用增强现实,观察者的真实世界的图像用重叠的CGI增强,这也称为平视显示器(“HUD”)。

[0003] HMD具有许多实用性的应用和休闲的应用。航空和航天应用允许飞行员看见重要的飞行控制信息而不必使他们的眼睛离开飞行路径。公共安全应用包括地图和热成像的战术显示。其它的应用领域包括视频游戏、交通运输和无线电通信。随着技术进步,一定有新发现的实用性应用和休闲应用;然而由于用来实施现有的HMD的传统光学系统的成本、尺寸、重量、视野和效率,这些应用中的许多应用受到限制。

附图说明

[0004] 本发明的非限制且非穷举的实施方式被参考以下的附图描述,其中在各个视图中相同的附图标记指代相同的部件,除非另外地指定。附图不必按比例,而是重点在于示出被描述的原理上。

[0005] 图1A是根据本公开的一实施方式的用于头部可穿戴显示器的透明目镜的平面图。

[0006] 图1B示出根据本公开的一实施方式的用于头部可穿戴显示器的透明目镜的弯曲楔形部分。

[0007] 图2是根据本公开的一实施方式的用于头部可穿戴显示器的透明目镜的透视图。

[0008] 图3是根据本公开的一实施方式的包括框架座的透明目镜的俯视图。

[0009] 图4A和图4B示出根据本公开的一实施方式的包括透明目镜的示范性头部可穿戴显示器。

[0010] 图5A和图5B是附录,其给出描述根据本公开的一实施方式的透明目镜的示范性实施方式的表面曲率的下陷方程(sag equation)。

具体实施方式

[0011] 用于头部可穿戴显示器的透明目镜的系统 and 装置的实施方式在这里被描述。在以下的描述中,大量细节被阐述以提供对实施方式的彻底的理解。然而,相关领域的技术人员将认识到,这里描述的技术能够被实施而没有所述细节中的一个或更多个,或者能够以其

它的方法、部件、材料等来实施。在其它的情况下,众所周知的结构、材料或操作没有被详细描述出或者描述以避免使某些方面模糊。

[0012] 遍及本说明书的对“一种实施方式”或“一实施方式”的提及意味着结合所述实施方式描述的具体的特征、结构或者特性被包括在本发明的至少一种实施方式中。因而,短语“在一种实施方式中”或者“在一实施方式中”在遍及本说明书的各个地方的出现未必全都指的是同一实施方式。此外,所述具体的特征、结构或者特性可以以任何适当的方式结合在一种或更多种实施方式中。

[0013] 图1A、图2和图3示出根据本公开的一实施方式的供头部可穿戴显示器使用的透明目镜100。图1A是目镜100的平面图,图2是目镜100的透视图,图3是包括框架座的另一平面图。目镜100的所示实施方式包括导光部件105、透明附加部件110、部分反射层115、显示源120和框架座125。图1B仅示出透明附加部件110和部分反射层115。导光部件105的示出的实施方式包括输入表面130、面朝眼睛的表面(eye-ward facing surface)135、折转表面(folding surface)140、界面表面145和观看区域147。附加部件110的示出的实施方式包括界面表面150和面对外部场景的表面(external scene facing surface)155。面朝眼睛的表面135包括反射部分160和观看部分165。观看区域147是目镜100的在眼睛175前面的体积区域(volumetric region),而观看部分165是面朝眼睛的表面135的让显示光180和外部场景光170从其穿过而到达眼睛175的部分。

[0014] 在一种实施方式中,导光部件105和附加部件110被制造成两个独立的零件,这两个独立的零件沿着界面表面145和150用透明的粘合剂粘合在一起。导光部件105和附加部件110可以由具有相同折射系数的两种不同的材料制造,或者都由相同的材料制造。例如,导光部件105和附加部件110可以由光学级塑料(例如Zeonex E-330-R)、玻璃或者另外的材料制造。在一种实施方式中,所述部件被注塑成形,被加工以添加以下讨论的各种光学涂层/光学层,然后沿着界面表面145和150被接合在一起。在一种实施方式中,导光部件105和附加部件110由具有比空气高的折射系数的材料制造,以在导光部件105内的一个或多个表面处引起全界面折射(“TIR”)。

[0015] 在所示的实施方式中,部分反射层115沿着界面表面145和150设置在导光部件105和附加部件110之间。部分反射层115可以在将这两个部件接合在一起之前被涂覆到界面表面145和150之一或者两者上。部分反射层115可以被实施为常规分束器(例如非偏振的分束器膜)或者偏振的分束器(“PBS”)。分束比(splitting ratio)可以根据设计需要来选择,但是在一种实施方式中可以被实施为50/50分束器。在部分反射层115采用PBS实施的实施方式中,显示源120将输出偏振光,该偏振光具有被选择的偏振以基本上被部分反射层115反射。PBS设计能够用来提高光学系统的效率。例如,LCD或硅上液晶(“LCoS”)是输出偏振光的示例显示技术。当然,外部偏振膜可以与其它非偏振显示技术结合使用。当以偏振光工作时,使用低应力材料以减少双折射对光学设计的影响会有益的。因此,在一些实施方式中,导光部件105可以由低应力的塑料、玻璃或者其它低应力的光学级材料制造。

[0016] 由于分束器仅是部分反射的并且导光部件105和附加部件110由光学上透射的材料(例如透明的塑料)制造,所以观看区域147允许外部场景光170的至少一部分穿过而到达眼睛175。目镜100用作光合路器(optical combiner),该光合路器将外部场景光170与沿着朝向眼睛的方向穿过观看部分165发射到眼睛175里的显示光180合并。这样,目镜100能够

向眼睛175显示增强的现实。

[0017] 在操作期间,显示源120从观看区域147偏移的外围位置发射显示光180到导光部件105中。显示源120可以使用各种不同的显示技术(包括液晶显示器(“LCD”)、有机发光二极管(“OLED”)显示器或者另外的显示技术)实施。显示光180可以包括计算机生成的图像。

[0018] 显示光180穿过输入表面130入射到导光部件105中。输入表面130是具有屈光力的弯曲表面。在一种实施方式中,对于近眼配置,输入表面130用来放大显示光180。在一种实施方式中,输入表面130包括曲率细化(refinement)以控制光学畸变。图5A中的表面S1给出一种实施方式中的下陷方程(sag equation),该方程具有描述用于输入表面130的示例曲率的系数值。

[0019] 在显示光180穿过输入表面130进入导光部件105之后,它入射到邻近输入表面130设置的折转表面140上。折转表面140用于将显示光180向面朝眼睛的表面135的反射部分160反射。在一种实施方式中,面朝眼睛的表面135和折转表面140两者都是借助于TIR和对显示光140遵循的光路的入射角的仔细的设计控制而反射显示光180的透明表面。通过对折转表面140和面朝眼睛的表面135的反射使用TIR,因为目镜100对外部观察者将表现为透明目镜,所以目镜100实现所希望的工业设计特性。在另一实施方式中,折转表面140可以用反射膜涂覆以反射显示光180,而不需要TIR。图5A中的表面S2给出一种实施方式中的下陷方程,该方程具有描述用于折转表面140的示例曲率的系数值。

[0020] 当在折转表面140处折转(例如反射)显示光180之后,显示光180被朝向面朝眼睛的表面135的反射部分160指引。面朝眼睛的表面135以相对配置的方式与折转表面140相对地设置。如上所述,在设计期间显示路径角度被仔细地控制,使得显示光180在面朝眼睛的表面135的反射部分160上的入射角导致归因于TIR的反射。图5A中的表面S3给出一种实施方式中的下陷方程,该方程具有描述用于面朝眼睛的表面135的示例曲率的系数值。因此,在一种实施方式中,借助于TIR,显示光180在导光部件105内仅经历两次反射。

[0021] 反射部分160将显示光180重定向至观看区域147中的界面表面145。界面表面145以相对配置方式设置在面朝眼睛的表面135对面,但是与折转表面140相邻,尽管它具有不同于折转表面140的曲率。界面表面145用部分反射层115覆盖,部分反射层115将显示光180再次反射至面朝眼睛的表面135的观看部分165。图5B中的表面S4给出一种实施方式中的下陷方程,该方程具有描述用于界面表面145的示例曲率的系数值。

[0022] 入射到面朝眼睛的表面135的观看部分165上的显示光180以不导致TIR的角度入射。因而,显示光180沿着朝向眼睛的方向穿过观看部分165中的面朝眼睛的表面135。如图1A中所示出的,面朝眼睛的表面135的反射部分160和观看部分165可以彼此交叠。面朝眼睛的表面135的这些部分意味着面朝眼睛的表面135的其中显示光180由于其入射角和TIR特性或者被反射或者被透射的不互相排斥的部分。

[0023] 归因于折转表面140、面朝眼睛的表面135和部分反射层115的组合反射的反射透镜效应(reflective lensing)连同来自输入表面130和观看部分165处的面朝眼睛的表面135的折射透镜效应(refractive lensing)一起,组合来放大显示光180用于在近眼配置中容易观看。这种放大用来使虚拟图像向后远离眼睛位移(例如10m),以允许眼睛易于使其对焦。在一种实施方式中,由输入表面130提供的透镜效应还用来减小光学畸变,而由折转表面140、面朝眼睛的表面135和部分反射层115提供的透镜效应还用来降低像散。由这些光学

表面提供的透镜效应有利于显示源120处的比0.1屈光度 (diopter) 更平的像平面,而且在计入设计公差后,该设计支持55个周期/mm下的20%调制传递函数 (“MTF”),这对于9.5 μ m节距显示源的高清晰度分辨率是足够的。

[0024] 在一种实施方式中,附加部件110在观看区域147中被接合到导光部件105上。附加部件110的界面表面150被设计有与导光部件105的界面表面145的曲率平滑地匹配的曲率。此外,附加部件110被设计为具有弯曲棱镜或者弯曲楔形形状,所述弯曲棱镜或者弯曲楔形形状形成包括折转表面140和面对外部场景的表面155的平滑且连续的外表面。在一种实施方式中,折转表面140和面对外部场景的表面155两者的曲率的一阶、二阶和三阶导数被控制,以实现折转表面140和面对外部场景的表面155之间的交界处的平滑且连续的过渡。

[0025] 在一种实施方式中,附加部件110和导光部件105由具有相同的或者类似的折射系数的材料制造。这用来消除界面表面145和150之间的交界处的对于穿过观看区域147到达眼睛175的外部场景光170的屈光力。另外,面对外部场景的表面155的曲率与面朝眼睛的表面135是互补的,以抵消面朝眼睛的表面135的观看部分165的折射透镜效应。简而言之,进入面对外部场景的表面155的外部场景光170的入射角基本上等于离开面朝眼睛的表面135的外部场景光170的出射角。因而,目镜100基本上没有透镜效应地使外部光170的至少一部分穿过观看区域147,从而允许用户基本上无畸变地观看目镜100前面的周围环境。

[0026] 在一种实施方式中,目镜100的表面(在所述表面处,显示光180的光路借助于TIR被重定向)涂覆有抗指纹涂层。例如,在一种实施方式中,折转表面140和面朝眼睛的表面135两者被涂覆有抗指纹涂层以减少指纹油对这些表面处的全内反射的影响。抗指纹涂层在本领域是已知的。

[0027] 图2是透明目镜100的透视图,示出显示源120可以如何安装到输入表面130。在一种实施方式中,导光部件105可以包括凹陷205以便于用于将显示源120连接到导光部件105的夹式安装 (clip on mount)。如所示的,在一种实施方式中,导光部件105和附加部件110具有基本上矩形的横截面形状。

[0028] 目镜100适合于用作用于头部可穿戴显示器的紧凑目镜。例如,目镜100可以被适当地设计为具有18mm的眼睛和目镜之间的距离 (eye relief)、16度的对角线视野、20mm至30mm长度的面朝眼睛的表面135、以及8mm至11mm圆直径的人眼窗口 (eye box)。当然,其它的尺寸可以被实施。

[0029] 图4A和图4B示出根据本公开的一实施方式的使用透明目镜401的单目头部可穿戴显示器400。图4A是头部可穿戴显示器400的透视图,而图4B是其俯视图。透明目镜401可以用如这里论述的目镜100的实施方式实施。透明目镜401被安装到框架总成 (frame assembly),该框架总成包括鼻梁架 (nose bridge) 405、左耳臂410和右耳臂415。外壳420和425可以容纳各种电子器件 (包括微处理器、接口、一个或更多个无线收发器、电池、摄像头、扬声器等)。虽然图4A和图4B示出单目的实施方式,但是头部可穿戴显示器400也可以被实施为双目显示器,该双目显示器具有两个目镜401,当显示器400被佩带时每个目镜401与用户的相应的眼睛对准。

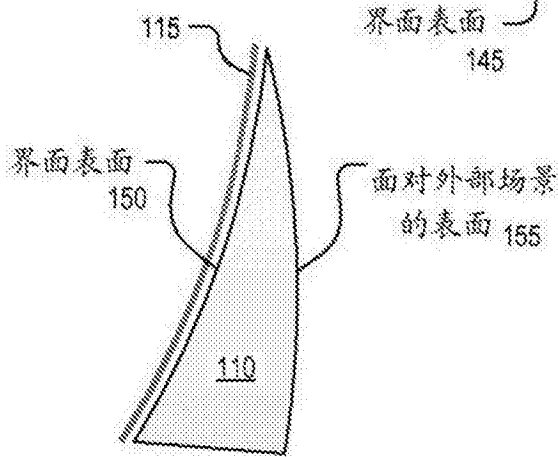
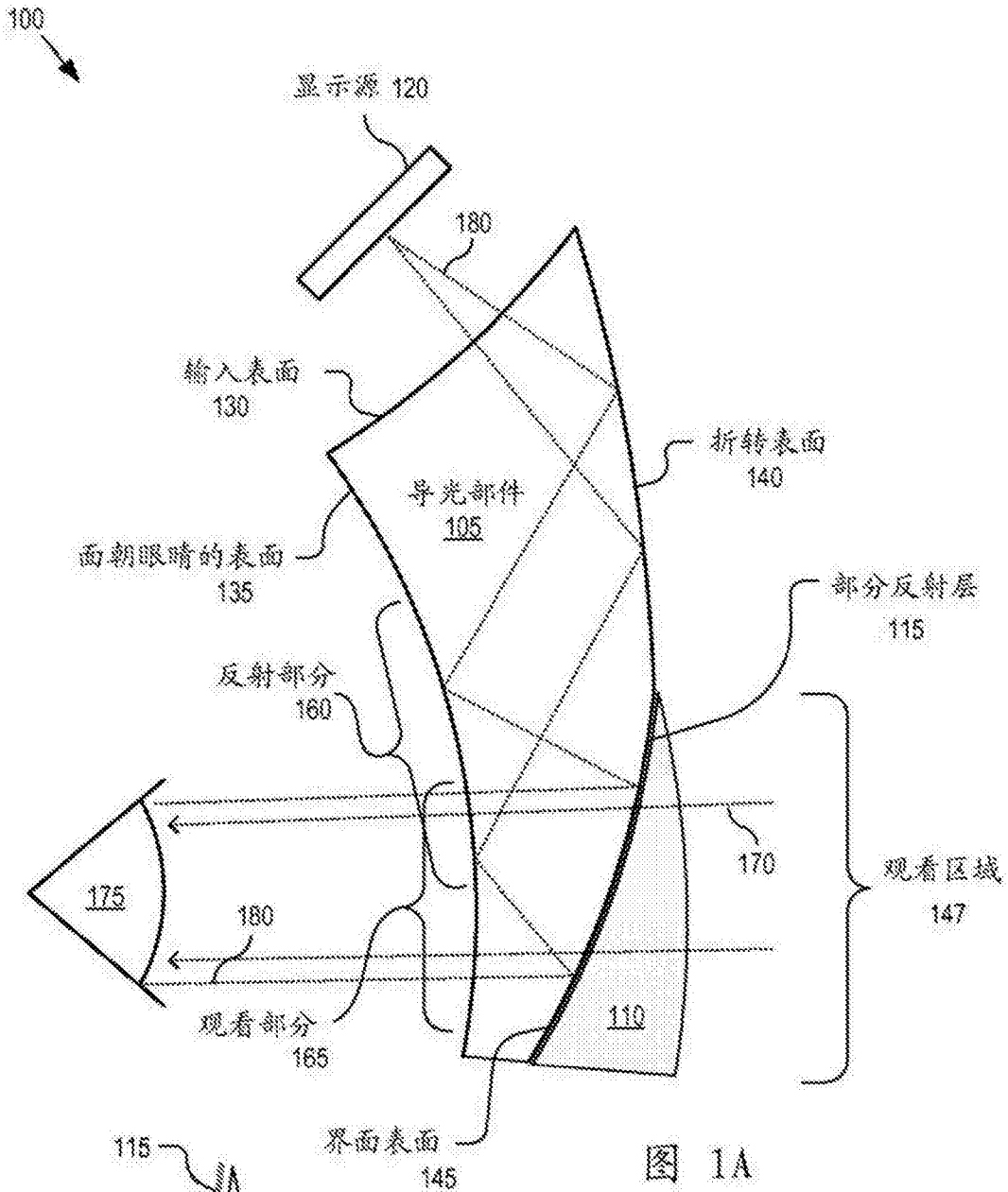
[0030] 透明目镜401被固定到能够被佩带在用户的头上的眼镜结构或者头部可穿戴显示器中。左耳臂410和右耳臂415放置在使用者的耳朵上,同时鼻梁架405放置在使用者的鼻子上。框架总成被成形和设定尺寸以将观看区域147定位在用户的眼睛前面。具有另外的形状

的其它框架总成可以被使用(例如传统的眼镜框架、单个连续的头戴式耳机部件、头带、眼罩型护目镜等)。

[0031] 头部可穿戴显示器400的示出的实施方式能够向用户显示增强的现实。透明目镜401允许用户借助于外部场景光170看见现实世界图像。左和右(双目实施方式)显示光180可以由安装在使用者的中央视野外部的的外围拐角中的显示源120产生。显示光180作为叠加在外部场景光170上成为增强现实的虚拟图像被用户看见。在一些实施方式中,借助于给附加部件110着色,外部场景光170可以被完全地、部分地或者选择性地阻挡,以提供遮阳性能并提高图像光180的对比度。

[0032] 以上对本发明的示出的实施方式的描述(包括摘要中描述的内容)不意欲是穷举的,也不意欲将本发明限制为所公开的精确形式。虽然本发明的具体实施方式和示例在这里为了说明的目的而被描述,但是如本领域技术人员将认识到的,在本发明的范围内各种修改是可能的。

[0033] 根据以上详细说明,可以对本发明进行这些修改。所附权利要求书中使用的术语不应被解释为限制本发明至说明书中公开的具体实施方式。更确切地,本发明的范围将完全由所附权利要求书确定,所附权利要求书将根据所建立的权利要求解释原则来解释。



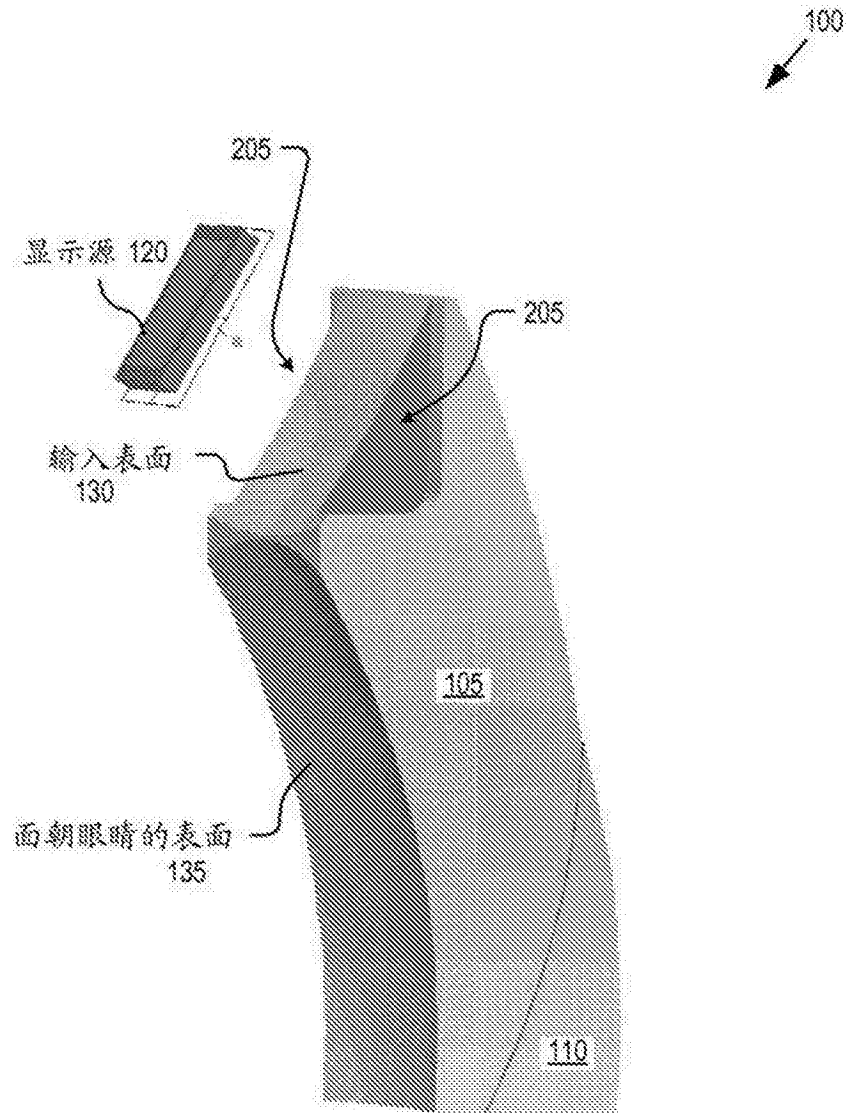


图2

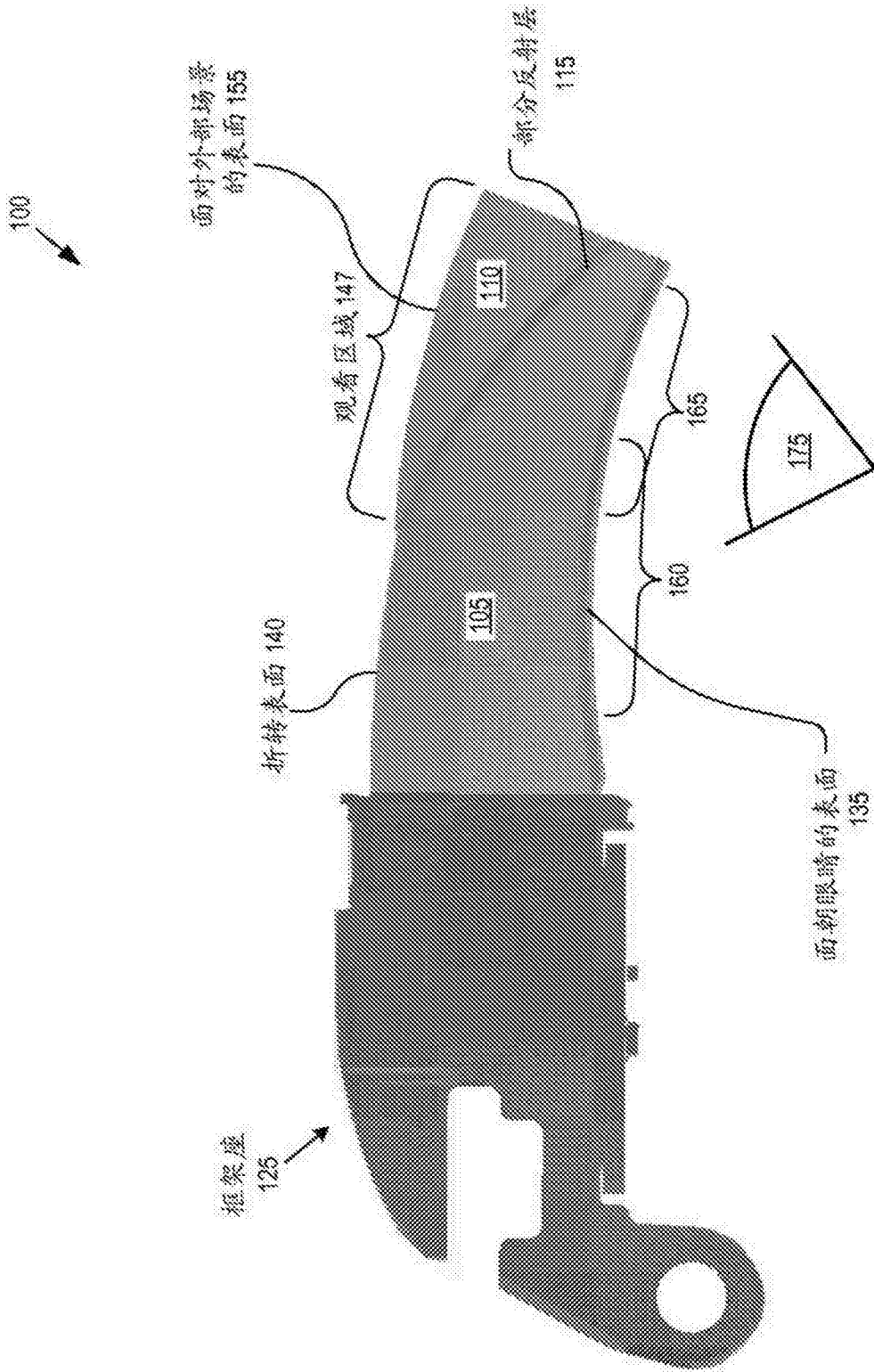


图3

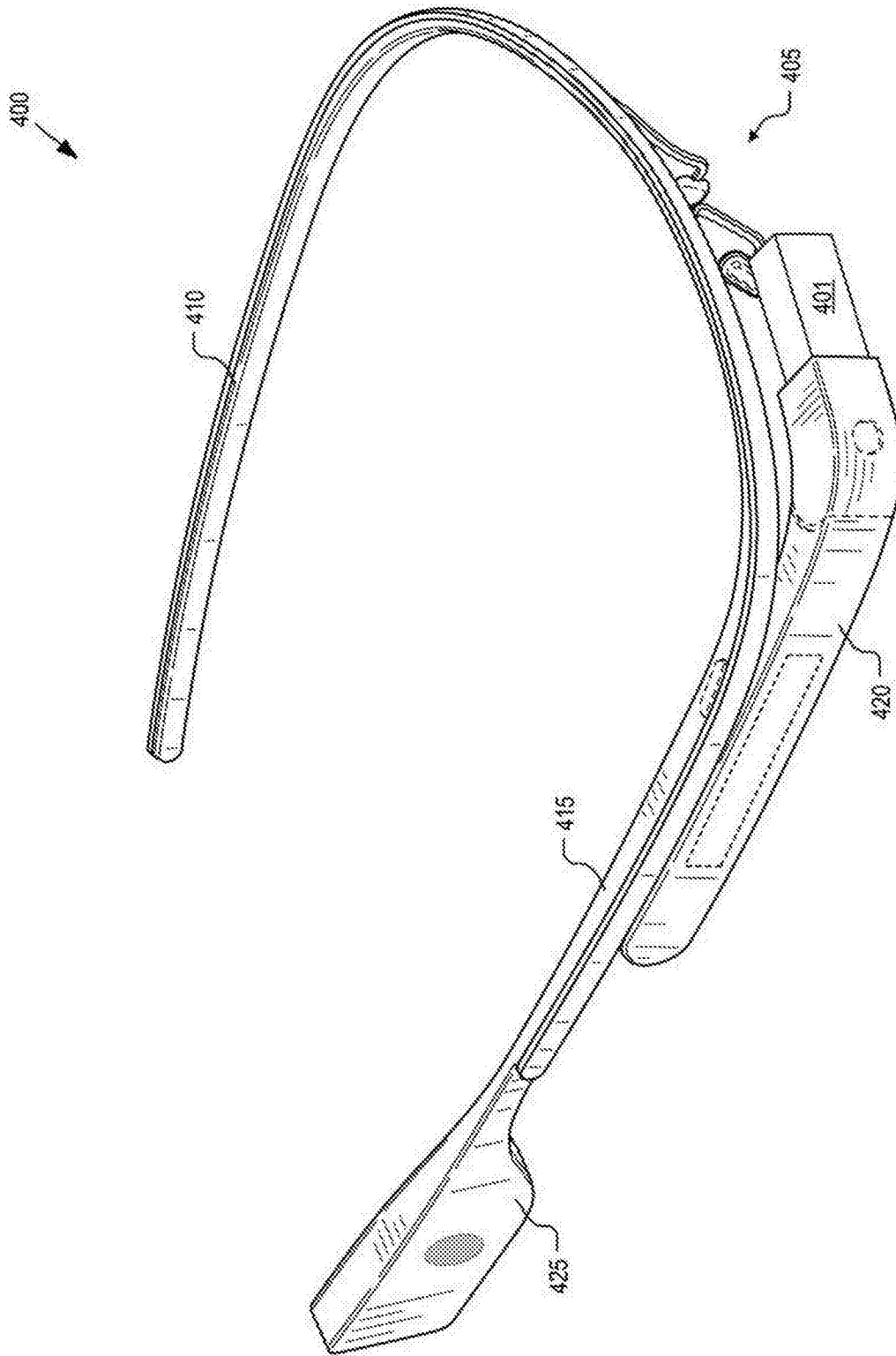


图4A

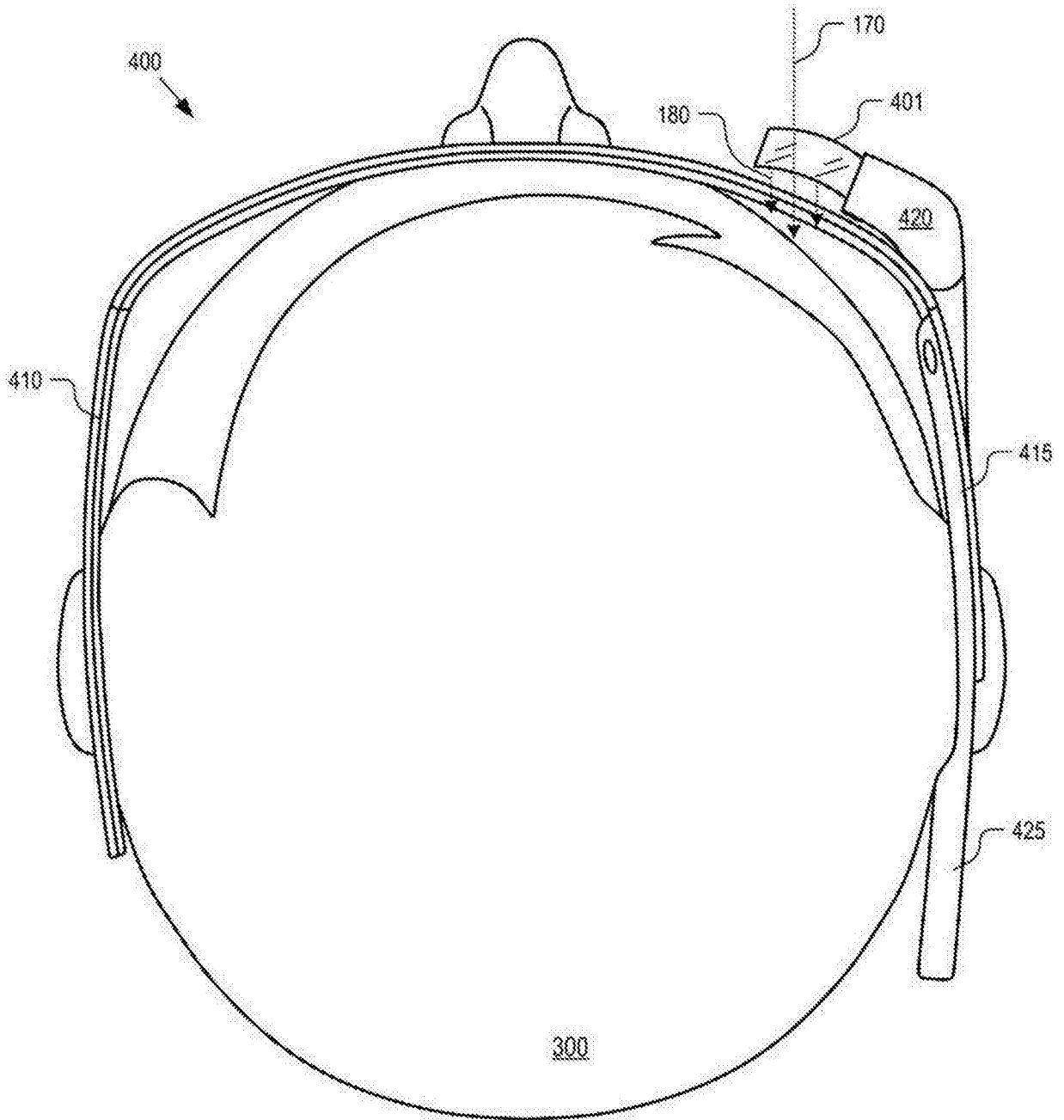


图4B

表面 S1

$$sag(x,y) = \frac{c(x^2 + y^2)}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2(x^2 + y^2)}} + X2c * x^2 + X3c * x^3 + XY2 * xy^2 + X4 * x^4$$

C = 1/RDY	X2c: 4.84E-02
RDY = -32.24	X3c: -3.50E-03
K=0	XY2: 1.70E-03
	X4: 1.0560E-04

表面 S2

$$sag(x,y) = \frac{c(x^2 + y^2)}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2(x^2 + y^2)}} + X2c * x^2 + X3c * x^3 + XY2 * xy^2 + X4c * x^4 + X2Y2 * x^2y^2 + Y4 * y^4 + X5 * x^5 + X3Y2 * x^3y^2 + XY4 * xy^4 + Y6 * y^6$$

C = 1/RDY	X2c: 3.7460E-03	X5: -2.4200E-08
RDY = -32.24	X3c: 4.4388E-05	X3Y2: 2.2270E-08
K=0	XY2: 1.2400E-04	XY4: -1.1780E-07
	X4: 2.3444E-06	Y6: 6.2040E-08
	X2Y2: 4.6420E-06	
	Y4: -5.2800E-06	

表面 S3

$$sag(x,y) = \frac{c(x^2 + y^2)}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2(x^2 + y^2)}} + X2c * x^2 + X3c * x^3 + XY2c * x * y^2 + X4c * x^4$$

C = 1/RDY	X2c: +5-03
RDY = -25.24 mm	X3c: -3.52E-05
k=0	XY2c: -2.548E-05
	X4c: +1.42E-05

图5A

表面 S4

$$sag(x, y) = \frac{c(x^2 + y^2)}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2(x^2 + y^2)}} + X2c * x^2 + X3c * x^3 + X4c * x^4$$

C = 1/RDY	X2c: -1.478E-03
RDY = -33.2	X3c: +1.09E-04
k=0	X4c: +4.506E-07

图5B