

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02C 7/04 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200480027276.3

[43] 公开日 2006 年 11 月 1 日

[11] 公开号 CN 1856729A

[22] 申请日 2004.6.8

[21] 申请号 200480027276.3

[30] 优先权

[32] 2003.7.21 [33] US [31] 10/624,086

[86] 国际申请 PCT/US2004/018334 2004.6.8

[87] 国际公布 WO2005/015289 英 2005.2.17

[85] 进入国家阶段日期 2006.3.21

[71] 申请人 眼科科学公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 A·侯 A·贝克

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 程天正 梁永

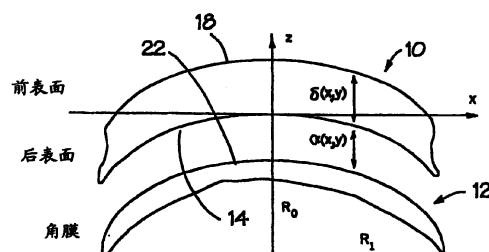
权利要求书 4 页 说明书 21 页 附图 7 页

[54] 发明名称

无缝眼科透镜及其制作方法

[57] 摘要

提供用于生产无缝眼科透镜的方法。另外，还提供具有无缝、三维表面(例如非对称前表面和或后表面)的眼科透镜以及在生产这样的透镜时使用的模压工具。该方法总体上包括提供用来规定表面轮廓的样本数据点，以及通过使用一个算法在这些数据点之间进行内插，以产生模仿的三维表面。模仿的三维表面用来生产眼科透镜，例如浇注模压制造接触透镜。



1. 一种接触透镜, 包括:

透镜体, 包括硅水凝胶, 并且被构建和适配于设置在眼睛上, 并具有前表面和通常相对的后表面, 其中前表面和后表面中的至少一个表面是基本上平滑的、无接缝的三维非对称表面, 该接触透镜具有变化的表面构形, 其具有至少一个轮廓, 该轮廓规定了接触镜片的基本上无接缝的变化的径向厚度, 当接触透镜放置在眼睛的角膜的表面时, 变化的表面构形实现透镜舒适性、透镜取向、垂直透镜平移和透镜稳定性中的至少一项。

2. 权利要求 1 的接触透镜, 其中后表面是基本上平滑的、无接缝的三维非对称表面。

3. 权利要求 1 的接触透镜, 其中前表面是基本上平滑的、无接缝的三维非对称表面。

4. 权利要求 1 的接触透镜, 其中前表面和后表面两者都是基本上平滑的、无接缝的三维非对称表面。

5. 权利要求 1 的接触透镜, 其中接触透镜具有规定镇重物的变化的前表面。

6. 权利要求 1 的接触透镜, 其中透镜体具有变化的前表面和规定镇重物的变化的后表面。

7. 权利要求 1 的接触透镜, 其中透镜体包括复曲面表面。

8. 权利要求 1 的接触透镜, 其中当透镜体放置在眼睛的角膜的表面时, 透镜体的前表面被构建成近似角膜表面的曲率。

9. 权利要求 1 的接触透镜, 其中透镜体包括多焦点光学区域。

10. 权利要求 1 的接触透镜, 其中透镜体被配置成校正或减小病人眼睛的波前像差。

11. 一种接触透镜, 包括:

透镜体, 包括亲水性硅聚合物成份, 透镜体具有复曲面表面, 和变化的表面构形, 其具有至少一个轮廓, 它规定了接触透镜的基本上无接缝的变化的径向厚度, 当接触透镜放置在眼睛的角膜的表面时, 变化的表面构形实现透镜舒适性、透镜取向、垂直透镜平移和透镜稳定性中的至少一项。

12. 权利要求 11 的接触透镜, 其中透镜体包括硅水凝胶。

13. 权利要求 11 的接触透镜, 其中亲水性硅聚合物成份包括来自一个组中选出的至少一个单体的单元, 该组由从用于聚合成亲水性硅聚合物的含硅的单体和它们的混合物所组成。

14. 权利要求 13 的接触透镜, 其中至少一个单体是从硅氧烷, 含硅的丙烯酸盐, 含硅的甲基丙烯酸酯, 和它们的混合物组成的组中选出的。

15. 权利要求 11 的接触透镜, 其中透镜体被构建成校正眼睛的散光。

16. 权利要求 11 的接触透镜, 其中透镜体包括镇重物。

17. 权利要求 11 的接触透镜, 其中变化的表面构形是在接触透镜的前表面上提供的。

18. 权利要求 11 的接触透镜, 其中透镜体包括基本上平滑的、无缝的三维非对称后表面。

19. 权利要求 11 的接触透镜, 其中透镜体包括基本上平滑的、无缝的三维非对称前表面。

20. 权利要求 11 的接触透镜, 其中透镜体包括后表面, 该后表面被构建成近似于当透镜体放置在眼睛的角膜的表面时的角膜表面的曲面。

21. 权利要求 20 的接触透镜, 其中后表面被构建成当透镜体放置在眼睛的角膜的表面时透镜体的后表面与角膜表面之间保持基本上均匀的距离。

22. 权利要求 11 的接触透镜, 其中透镜体被配置成校正或减小病人眼睛的波前像差。

23. 一种接触透镜, 包括:

透镜体, 被构建成和适配于放置在眼睛上, 并具有前表面和通常相对的后表面, 其中前表面和后表面中的至少一个表面是基本上平滑的、无缝的三维非对称表面, 接触透镜具有变化的表面构形, 该构形规定了镇重物, 和具有至少一个轮廓, 该轮廓规定了基本上无缝的变化的径向厚度, 当接触透镜放置在眼睛的角膜的表面时, 变化的表面构形实现透镜舒适性、透镜取向、垂直透镜平移和透镜稳定性中的至少一项。

24. 权利要求 23 的接触透镜, 其中透镜体包括亲水性硅聚合物

成份。

25. 权利要求 24 的接触透镜，其中透镜体包括硅水凝胶。

26. 权利要求 23 的接触透镜，其中透镜体包括复曲面表面。

27. 权利要求 23 的接触透镜，其中后表面是基本上平滑的、无缝的三维非对称表面。

28. 权利要求 23 的接触透镜，其中前表面是基本上平滑的、无缝的三维非对称表面。

29. 权利要求 23 的接触透镜，其中前表面和后表面都是基本上平滑的、无缝的三维非对称表面。

30. 权利要求 23 的接触透镜，其中透镜体被配置成校正或减小病人眼睛的波前像差。

31. 一种接触透镜，包括：

透镜体，包括亲水性硅聚合物成份，透镜体具有多焦点光学区域，和变化的表面构形，其具有至少一个轮廓，它规定了接触透镜的基本上无缝的变化的径向厚度，当接触透镜放置在眼睛的角膜的表面时，变化的表面构形实现透镜舒适性、透镜取向、垂直透镜平移和透镜稳定性中的至少一项。

32. 权利要求 31 的接触透镜，其中透镜体包括硅水凝胶。

33. 权利要求 31 的接触透镜，其中亲水性硅聚合物成份包括来自用于聚合成亲水性硅聚合物的含硅的单体和它们的混合物所组成的一个组中选出的至少一个单体的单元。

34. 权利要求 33 的接触透镜，其中至少一个单体是从硅氧烷，含硅的丙烯酸盐，含硅的甲基丙烯酸酯，和它们的混合物所组成的组中选出的。

35. 权利要求 31 的接触透镜，其中透镜体包括镇重物。

36. 权利要求 31 的接触透镜，其中变化的表面构形是在接触透镜的前表面提供的。

37. 权利要求 31 的接触透镜，其中透镜体包括基本上平滑的、无缝的三维非对称后表面。

38. 权利要求 31 的接触透镜，其中透镜体包括基本上平滑的、无缝的三维非对称前表面。

39. 权利要求 31 的接触透镜，其中透镜体包括后表面，其中该

后表面被构建成近似于当透镜体放置在眼睛的角膜的表面时的角膜表面的曲面。

40. 权利要求 39 的接触透镜，其中后表面被构建成当透镜体放置在眼睛的角膜的表面时在透镜体的后表面与角膜表面之间保持基本上均匀的距离。

41. 权利要求 31 的接触透镜，其中透镜体包括双焦点光区域。

42. 权利要求 31 的接触透镜，其中透镜体包括变化的前表面和规定镇重物的变化的后表面。

43. 权利要求 31 的接触透镜，其中透镜体被配置成校正或减小病人眼睛的波前像差。

无缝眼科透镜及其制作方法

相关专利申请的相互参考

本专利申请是2000年11月10日提交的、专利申请No. 09/709,132的继续部分，该专利申请的公开内容整体地在此引用以供参考。

本发明总的涉及眼科透镜设计，更具体地，涉及无缝眼科透镜和用于制造具有无缝（junctionless）三维表面的眼科透镜的方法。

接触透镜设计典型地牵涉到多个步骤。通常，首先根据角膜的形状和想要的角膜-透镜适配关系设计透镜的背面，即后表面。透镜的前面，即前表面的构建是要得到对眼睛的必需的折射校正和想要的透镜性能。这样的性能取决于多个因素，包括（但不限于）透镜质量分布，以便提供有效的眼睑互动以达到想要的透镜运动和透镜位置，其它结构性考虑，提供透镜佩戴者的舒适性等等。

大家知道，正常人的角膜的表面构形常常不是球面的。例如，众所周知，眼睛的角膜表面具有的曲面从角膜的中心向周围通常是变平的。创建较平坦的透镜表面和在透镜的边缘与下面的角膜/结膜之间的足够的边缘间隙的典型的方法是生成一系列圆锥截面曲线，每个截面具有比起前一个截面更大的曲率半径（即更平坦）。传统的接触透镜设计的前表面和后表面由一系列旋转对称表面分段按二维而描绘。表面分段可以或不一定是偏离对称轴的。

按传统设计的透镜因此是按二维描绘的，例如通过一系列旋转对称的表面分段，并可以由此用数学来描绘。二维表面部分的数学描述可通过例如复合仿样或多项式或混合这些部分而做成平滑的和连续的。这样的平滑的和连续的表面可被看作为没有接缝的，或无缝的。因此，具有接缝的眼科透镜表面在不连续处有相交的分段，它会引起不舒服和/或透镜性能的一个或多个其它的降低。因此，提供具有一个或多个基本上无缝表面的眼科透镜是有利的。

Ducharme 的美国专利 No. 5,452,031 公开了一种接触透镜和用于制造具有平滑的、无缝表面的接触透镜的方法，该专利整体地在此引用以供参考。更具体地，Ducharme 的专利公开了一种把角膜表面与

参考曲面相联系从而规定接触透镜表面的形状的方法。参考曲面可以根据点坐标使用逐段多项式和仿样而得到，并得出无接缝表面的构形。计算机控制的车床接收仿样数据和生成表示要被切割的所需要的透镜形状的信号。

Vayntraub 的美国专利 No. 5, 815, 237 公开一种用于制作具有由指数函数规定的周围区域表面的接触透镜的方法，该专利整体地在此引用以供参考。同样地，Vayntraub 的美国专利 No. 5, 815, 236 公开一种用于制作具有由对数函数规定的周围区域表面的接触透镜的方法，该专利也整体地在此引用以供参考。

现在的这些根据使用基于多项式和仿样的内插或指数的与对数的数学函数的传统的透镜计算机辅助设计方法虽然比起先前的基于球形的接触透镜形式更接近地近似人的眼睛的曲面，但仍导致局限于表面构形的二维描述的透镜。

正常人的角膜的表面构形常常是唯一的，它包括不能充分地用二维来描述的不规则性、非对称性、和非球面性的区域。同样地，为达到最佳透镜性能所需要的、透镜的前面或后面透镜表面形状不能用二维充分地描述。特别是在这样的情形下，传统的二维计算机辅助透镜设计方法是不够的。

当一个或多个后表面或前表面牵涉到非对称分量，也就是旋转非对称分量时，用二维设计透镜是不够的。虽然计算机控制制造技术近年来使透镜的制造变得容易，但这样的技术实际上只有有限的应用，并且在具有一个或多个非对称分量的透镜的设计和和生产方面是不够的，特别是对用于眼科的透镜，诸如接触透镜，眼内透镜和放在角膜上的透镜。这是因为透镜设计的当前的技术必然会要求通过平均和组合许多二维表面而对设计作出假设和折衷。这样的假设和折衷导致降低透镜在光学上和在用户舒适性方面的性能。

提供新的眼科透镜和设计生产眼科透镜的方法，解决对于现有的透镜，透镜设计和生产方法的一个或多个关心的问题将是有利的。

发明概要

已经发现新的眼科透镜和用于眼科透镜设计和制造的方法。本透镜和方法通过提供具有基本上平滑的、无接缝的、可包括一个或多个旋转非对称分量的三维表面的眼科透镜而提供比起传统的透镜和方法

更重大的优点。用按照本发明的方法生产的透镜可包括（但不限于）被构建和适配于在眼睛中或在眼睛上使用的眼科透镜，例如所有的类型的接触透镜，诸如复曲面接触透镜，单焦距和多焦距接触透镜等等，眼内透镜（IOL），诸如前室 IOL，后室 IOL 等等，在角膜上的透镜，诸如附着在角膜上的透镜，放置在或附着到角膜的透镜等等。另外，本发明的方法可以在角膜折射激光外科手术期间，例如在角膜成形时利用。

本发明提供用于设计和制造具有基本上平滑的、无接缝的三维表面的眼科透镜的方法，例如，其中表面可以具有一个或多个非对称分量。本发明的范围还包括这样的透镜，用来制造这样的透镜的工具插件和模具部分，以及生产这样的工具插件和模具部分的方法。

有利地，本发明提供一个或多个附加的，例如相对于现有技术的，用来控制透镜形状、表面轮廓、质量分布、光学度数配置（optical power location）等在透镜设计中的参数的自由度。因此，本发明将提供例如与舒适性、适配性、视力和/或透镜定位有关的增强了眼科透镜性能。

将会看到，在对称性的约束条件存在不利条件场合下将本发明应用到透镜设计时是特别有利的。例如，本方法非常适用于复曲面接触透镜的设计，例如复曲面接触透镜包括后面复曲面光学区域和前表面，它被如此成形以便给透镜提供具有合适的光学度数和便于实现透镜取向与具有镇重物（ballast）形式的稳定性的厚度分布。

而且，本发明提供了眼科透镜尺度和表面的增强了的可重复性。本发明非常有效地完善了用来生产眼科透镜的现代数控车床。

本发明的一个广义方面，提供了用于生产眼科透镜的方法，该方法通常包括：从指定的表面（例如，指定的角膜面（透镜的佩戴者的角膜的表面）或指定的或想要的前面透镜表面）提供或规定选择的样本数据点；使用至少一个算法在样本数据点之间进行内插，以规定一个模仿的三维的指定表面（优选地，它与该指定的表面具有一定的关系，例如至少部分是基于该指定的表面的）；以及形成具有模仿该三维指定表面的眼科透镜。该模仿设计的表面优选地例如在内插步骤期间就足够明确地被规定为平滑的、基本上无接缝的三维表面。在一个实施例中，在内插步骤期间，通过使用样本数据点和一个或多个因素

或对一个或多个透镜设计参数的关系来规定该模仿的三维表面。有利地，形成步骤是这样执行的，使得眼科透镜具有想要的透镜设计参数包括（但不限于）所需的光学校正，尺寸，结构，在角膜与透镜的后表面之间的空间或缝隙，以及其它想要的光学配合关系等等。

有利地，本发明的方法可被使用来生产具有不受由二维旋转表面规定的轮廓所限制的表面的接触透镜。进而，本透镜优选地由一个或多个平滑的、基本上无接缝的三维表面所规定，包括对佩戴者的眼睛独有的或定制的任何非旋转对称的分量。这导致改进的透镜/角膜配合关系和/或前表面形状，它能达到想要的物理的、生理的透镜移动和/或视力校正的目的。

本发明的一个方面提供了眼科透镜，它包括透镜体，优选地被构建和被适配以便放置在眼睛内，并具有前表面和一般是相对的后表面。前表面和后表面中的至少一个表面是基本上平滑的、无接缝的三维表面。无接缝表面可以是非对称表面。在某些实施例中，眼科透镜具有规定镇重物的变化的前表面构形。当透镜放置在角膜表面时，这样一种变化的前表面构形可以和优选地确实便于实现透镜舒适性、透镜取向、垂直透镜转换和/或透镜稳定性中之一。另外，该透镜可以具有一个透镜体，它至少有一个轮廓，该轮廓规定了一个基本上无接缝的变化的径向厚度。这样的眼科透镜可包括亲水性硅聚合物成份，在具体的实施例中，眼科透镜包括硅凝胶。在眼科透镜被使用来提供校正散光视力的情形下，透镜可以和优选地确实包括一个复曲面，诸如复曲面后表面。在必须用一个以上的光学度数来提供所需视力校正的情形下，透镜可以和优选地包括多种度数的光学区域。换句话说，透镜可包括多焦点的光学区域（例如，具有两个或多个光学度数的光区域）。因此，多焦点透镜可包括双焦点透镜、三焦点透镜等等。

本发明的另一方面，提供了包括透镜体的接触透镜，该透镜体包含亲水性硅聚合物成份，诸如硅水凝胶（silicone hydrogel）等等。透镜体可按照这里公开的的方法来成形或形成。这些接触透镜可包括复曲面透镜，诸如用于提供对散光的眼睛的视力校正，并且可包括变化的表面构形，它具有至少一个轮廓，该轮廓规定基本上无接缝的变化的径向厚度和当接触透镜放置在眼睛——例如活人的眼睛——的角膜表面上时，实现透镜舒适性、透镜取向、垂直的透镜平移、和/或透镜

稳定性中的至少一项。

本发明的再一方面，提供了包括透镜体的接触透镜，该透镜体包括硅水凝胶并具有变化的表面构形，它具有至少一个轮廓，该轮廓规定了接触透镜的基本上无缝隙的变化的径向厚度。这样的变化的表面构形可以，并优选地，当接触透镜放置在眼睛的角膜表面上时，实现透镜舒适性、透镜取向、垂直的透镜平移、和/或透镜稳定性中的至少一项。

虽然为了说明起见，这里阐述的本发明的说明强调接触透镜和与接触透镜有关的方法，但应当看到，本发明适配于一般的眼科透镜，并且优选地适配于被构建和被适配来放置在眼睛上或眼睛中的眼科透镜以及与这样的眼科透镜有关的方法。所有的这样的透镜和方法都属于本发明的范围。

本发明可被适配于通过使用任何适当的处理技术或它们的组合生产眼科透镜。在一个有用的实施例中，本发明结合传统的铸模技术而被应用，例如在具有大体上与所需的透镜表面的表面的工具插件的初始设计中。正如本领域技术人员熟知的，工具插件(tooling insert)，或刀具被用来形成模具部分，它总体上规定最终透镜产品的表面的负模槽。

例如，用本发明的方法设计的三维的基本上无缝隙表面的工具插件被定位于模压设备，诸如按传统设计的模压设备中。可模压的复合物，诸如聚合物材料或聚合物材料的复合物，被引入到模压设备，并且经受这样的条件，即能有效地形成具有工具表面的负模槽的模具部分。由工具所形成的模具部分根据工具插件设计可以是背面模具部分，或前面模具部分。换句话说，工具的表面一般地相应于要被形成的眼科透镜的后表面或前表面。

如传统那样，模具部分与互补的模具部分组合而在它们之间形成透镜形状的空腔。接触透镜的前身材料被引入到透镜形状的空腔中。在脱模或从模具部分取出后就得到透镜产品。正如典型地那样，对脱模的接触透镜产品可使用的成形处理步骤。这些步骤可包括水合作用、消毒、封装等等。这些步骤是熟知的，所以不是本发明的考虑的部分。

按照本发明，工具插件可包括不规则的或非对称的、被定制的或

对佩戴者的眼睛是独特的表面轮廓或不能用二维曲线或内插规定为基本上无接缝表面的轮廓。工具插件的设计优选地通过以下方法完成，该方法包括从指定的三维表面，例如指定的角膜表面或指定的或所需的前面透镜表面，提供或规定选择的样本数据点，通过使用至少一个算法在数据点之间进行内插，规定模仿的三维指定的表面，并在工具插件，例如在工具插件坯料上，形成模仿的三维表面。

在本发明的这个实施例中，浇注模压的眼科透镜，例如接触透镜，相对于例如传统上通过使用对称的、圆锥或球面插件而生产的、传统的或现有技术的浇注模压透镜，可以做成具有改进的适配性和/或前表面形状和/或视力校正性能和/或其它性能。

替换的透镜制造技术可以结合本发明的方法一起使用。例如，算法可以结合透镜表面成形工具，包括但不限于，车床或磨床一起使用。模仿的指定的三维表面可以例如通过使用计算机驱动的表面切割工具在透镜坯料上直接切割。

本发明的另一方面，提供了用于角膜重新成型的方法。这样的方法包括从三维校正的角膜表面——它是要被提供到病人的角膜以得到诸如所需的视力校正那样的所需结果的角膜表面——提供或规定样本数据点；通过使用至少一个算法在样本数据点之间进行内插以产生平滑的、基本上无接缝的模仿的三维表面；以及通过使角膜表面成形以近似于模仿的三维表面而提供对角膜的光学校正。在一个有用的实施例中，方法还包括从病人的未校正的角膜表面的三维表面提供样本数据点；和通过使用至少一个算法在样本数据点之间进行内插，以产生平滑的、基本上无接缝的模仿的三维未校正的表面，然后在提供步骤中利用它。

本方法在确定为了得到想要的视力校正需要什么程度的角膜重新成形方面是有效的。模仿的三维校正的角膜表面是提供想要的校正（例如视力校正）的表面。根据未校正的角膜的样本数据点而进行了内插的、未校正的表面代表在重新成形之前的角膜的表面。因此，对于所需要的校正，从原先未校正的角膜形状变为想要的或校正的形状的角膜所需要的重新成形的程度就可得到确定。

重新成形本身可以通过使用适合于按照本发明而被控制的任何适当的方法来执行。在一个特别有用的实施例中，提供校正的步骤包括

通过使用计算机驱动的激光系统烧蚀角膜表面，就像在重新成形角膜表面时传统所使用的。提供校正的步骤可包括在角膜表面上（例如在对称角膜表面上）产生非对称表面。

这里描述的每个特性，以及两个或多个这样的特性的每种组合属于本发明的范围，如果在这样的组合中包括的特性没有互相不一致的话。

附图简述

通过参考以下的说明当结合附图考虑时将更容易理解本发明的优点，其中：

图 1 显示在眼睛表面上的接触透镜的简化的截面图；

图 2a, 2b 和 2c 分别显示包括厚度数据，通过透镜中心的水平截面的标称径向厚度分布的正视图和按照本发明的方法设计的旋转对称的、球形接触透镜的侧视图。由虚线（2a）限定的区域表示在基本上不同的表面类型的相邻的区域之间的过渡区域；

图 3a, 3b 和 3c 分别显示包括厚度数据，通过透镜中心的水平截面的标称径向厚度分布的正视图和按照本发明的方法设计的旋转非对称的、复曲面接触透镜的侧视图。由虚线（3a）限定的区域表示在基本上不同的表面类型的相邻的区域之间的过渡区域；

图 4 显示包括按照本发明的方法设计的、复杂设计的接触透镜的厚度数据的正视图，截面图。由虚线限定的区域表示在基本上不同的表面类型的相邻的区域之间的过渡区域；

图 5a 和 5b 分别显示对于图 2a-2c 的径向对称透镜的后表面/角膜分隔（ α ）和径向厚度（ δ ）分布的三维图；

图 6a 和 6b 分别显示对于图 3a-3c 的复曲面透镜的后表面/角膜分隔（ α ）和径向厚度（ δ ）分布的三维图；

图 7a 和 7b 分别显示对于图 4 的复杂设计的透镜的后表面/角膜分隔（ α ）和径向厚度（ δ ）分布的三维图；以及

图 8 显示按照本发明的、用于生产透镜的一个方法的示意图。

附图详细说明

本发明是针对眼科透镜和用于设计与生产这样的透镜的方法，包括但不限于，单焦点、多焦点和复曲面接触透镜、眼内透镜、放置在

角膜的透镜和其它眼科镜片。

已经发现，按照本发明的制造眼科透镜的方法对于由亲水性透镜材料，包括但不限于，亲水性硅聚合物等等，以及它们的混合物，制成的透镜是特别有利的。

通过参考这里的公开内容，聚合的水凝胶包括水凝胶形成的聚合物，诸如水膨胀的聚合物。水凝胶本身包括这样的用水来膨胀的聚合物。可用作为眼科透镜例如接触透镜的聚合水凝胶典型地具有约 30% 到约 80% 重量的水，但可以具有约 20% 到约 90% 重量的水，它的折射率处在约 1.3 与约 1.5 之间，例如约 1.4。公开的透镜的适当的水凝胶形成的聚合物材料和成份的例子包括（但不限于）聚（2-羟乙基化甲基丙烯酸酯）PHEMA，聚（丙三醇甲基丙烯酸酯）PGMA，高分子电解质材料，聚乙烯氧化物，聚乙烯醇，polydioxaline，聚（丙烯酸），聚（丙烯酰胺），聚（N-乙烯基吡咯烷酮）等和它们的混合物。许多这样的材料是公开可得到的。另外，本身不产生诸如异丁烯酸甲酯（MMA），其它甲基丙烯酸酯，丙烯酸酯等等和它们的混合物的水凝胶形成的聚合物的均匀聚合物的一个或多个单体，也可包括在水凝胶形成的聚合物材料内，如果存在来自这样单体的单元不影响聚合水凝胶的想要的形成的话。

按照本发明的眼科透镜也可以用生物配伍的非水凝胶材料或成份进行制造。非水凝胶材料的例子包括（但不限于）丙烯聚合物，聚烯烃类，氟聚合物，硅，苯乙烯树脂，乙烯聚合物，聚酯，聚氨酯，多碳酸盐类，纤维素，包括基于胶原材料的蛋白质，等等和它们的混合物。

优选地，按照本发明的透镜是亲水性的。亲水性透镜可以由一个或多个单体单元成份，即单体的成份，被构建。例如，但不是限制，单体单元成份可包括亲水性单体，它提供 $-OH$ ， $-COOH$ ， $-NCO(CH_2)_3$ ，（例如，吡咯烷酮）和类似的组。有用的亲水性单体成份包括，但不限于，烷基烷基甲基丙烯酸酯，诸如烷基乙基甲基丙烯酸酯，甲基丙烯酸 N-乙烯基吡咯烷酮，丙烯酰胺，烷基丙烯酰胺，乙烯基乙醇单体，诸如亲水性（甲基）丙烯酸酯等等和它们的混合物，包括在亲水性硅聚合材料中是有用的，例如硅水凝胶，用于聚合成亲水性硅聚合物的含硅单体，硅氧烷，诸如有机硅氧烷等等和它们的混合物，含硅的丙烯酸酯，含

硅的甲基丙烯酸酯等等和它们的混合物。优选地，透镜是含水凝胶的透镜，更优选地是含硅水凝胶的透镜。

为了简单性和说明清晰性起见，以下的详细说明主要针对接触透镜的设计。本领域的一般技术人员将会看到，按照本发明的方法，可能带有一个或多个适当的修正方案，可以在这些和其它类型的透镜设计中使用。

按照本发明方法，通过使用数学算法和有限数目的技术规范设计眼科透镜，以便得到在三维空间中的单个、连续的、非组合的数学表面。

更具体地，在确定群体或某一选择的病人的角膜形状后，接触透镜的后表面是这样设计的：使用数学算法对样本的分散的数据点进行内插，最好要包括针对一个或多个参数之间的关系来进行这种内插，以便所得到的透镜具有例如在这里到处都描述过的角膜和透镜的后表面之间所需的空间或间隙，以产生一个模仿的三维表面（透镜后表面），例如，它是至少部分地基于角膜形状的，比如说紧密地近似角膜的一个或多个变化的曲率。在某些实施例，透镜按具有相应于角膜的表面构形的后表面而形成，以使得在透镜的后表面与角膜之间保持基本上均匀的距离。通过减小在透镜与角膜之间的距离的变化，可得到增强的透镜适配性和/或透镜佩戴者舒适性。如这里描述的，提供了厚度数据以及技术指标或关系式或对于一个或多个透镜性能要求或参数，并且与选择的数学算法相结合，规定具有想要的厚度分布的三维表面（前面的透镜表面）。

模仿的三维表面可以通过使用传统的制造技术，例如通过浇注模压技术，而形成在透镜上。而且，本发明补充以使用现代 CNC 车床。

通过使用如这里描述的这个方法，前面和/或后面透镜表面可被设计，优选地，不用很大的折衷。

现在参照图 1，图上显示在 x 和 z 坐标轴上所取的接触透镜 10 和角膜 12 的简化的垂直截面， y 轴指向纸里面。透镜 10 包括背面（即后表面）14，它在 $(0, 0, 0)$ 处与 x 和 y 轴相切。角膜 12 在透镜 10 的背面 14 的中心的下面，距离 α mm，前表面（即前表面）18 在角膜 12 的上面距离 δ mm。角膜具有表面 22，它是具有半轴长 R_0 和 R_1 的椭圆，正如这里进一步描述的。

任何接触透镜通过使用本发明可被设计。然而，正如这里描述的，已经发现，包括一个或多个亲水性硅聚合物成份的透镜特别能从这里公开的方法获益。例如，具有变化的表面构形的、按照本发明的接触透镜，诸如包含硅水凝胶成份的接触透镜，当放置在角膜表面时，有效地实现增强的透镜舒适性、增强的透镜取向、增强的透镜垂直平移、和/或增强的稳定性中的至少一项。用包含硅水凝胶的透镜得到一个或多个这样的增强是特别有利的，因为这样的透镜可被使用于延长佩戴，例如，在至少约1星期或约2星期到约1个月或更多的期限内，在眼内使用，而不用取下。包括本发明的一个或多个特性的透镜作为延长的佩戴的透镜是特别有用的。这样的接触透镜包括复曲面接触透镜或多焦点透镜。因此，通过本发明的透镜得到例如在舒适性、取向、和稳定性方面的很大的好处。这是特别重要的，因为包括亲水性硅聚合物成份的透镜相对于其它的水凝胶透镜典型地具有高的模数。

另外，本发明的透镜可以具有一个透镜体，这个透镜体的一部分或几部分比其它部分相对更厚。例如，透镜体可以具有比起外面部分更厚的里面部分。或，透镜体可以包括从表面例如透镜的前表面延伸的多个凸起部分，这导致在这些凸起部分比起透镜体的其余部分有更厚的厚度。这样的加厚的部分在提供增强的垂直透镜平移的复曲面透镜和/或多焦点透镜中是特别有用的。因此，例如，对于延长佩戴的接触透镜，具有加厚的区域的硅水凝胶透镜，相对于非硅水凝胶透镜，有利地提供增强的透气性。硅水凝胶透镜，相对于其它（不包含硅）水凝胶透镜，通常具有增强的氧和二氧化碳透气性。

例如，现在转到图2a-2c，图上显示旋转对称、单视力接触透镜30，它代表最简单的接触透镜设计之一。

本发明在更复杂的、旋转非对称透镜的设计和生方面是特别有利的。例如，图3a-3c显示按照本发明设计的复曲面接触透镜40，具体地，棱镜镇重物复曲面透镜。

图4显示按照本发明生产的、非常复杂的透镜设计。这个复杂的透镜包括非对称三维表面分量，这是通过使用传统的二维方法和技术不能满意地设计的。

使用本发明的透镜设计，更具体地，包括以下步骤。首先确定病人的角膜形状。通过使用传统的装置提供选定数目的、代表角膜的样

本数据点。然后规定透镜后表面与角膜的想要的适配的关系，以满足佩戴者的生理的、物理的和/或光学的要求。然后通过使用算法在数据点之间进行内插而规定模仿的三维表面。这个模仿的三维表面可以在工具插件上形成，或例如通过使用计算机驱动的表面切割工具、磨床或车床被直接形成在透镜后表面上。

接着，设计透镜的前表面。具体地，规定关键的透镜厚度数据点，以便达到想要的临床性能，例如视力校正，复曲面透镜的旋转取向等等。用于三种透镜类型的这样的厚度数据的例子显示于图 2a-2b，图 3a-3b，和图 4。这时可使用算法并结合关键的厚度数据来设计透镜的前表面。

在某些实施例中，透镜的设计是要校正或减小病人的眼睛的波前像差。波前像差是在光的中心斑点的实际的光波前与参考面，例如理想的球面之间的距离的三维分布，如美国专利 No. 6, 585, 375 的图 1 所显示的，以及如 Mierdel 等，“Der Ophthalmologe”(眼科学)，No. 6, 1997 中描述的，这些文件的每个文件的整个公开内容在此引用以供参考。波前像差可以被理解为在眼睛的瞳孔中的任何点在实际的图像波前与在图像点的中心的理想的参考波前之间的光程差。测量波前像差的方法是本领域一般技术人员熟知的。

概述地，以及如在 Nader, N., Ocular Surgery News, “Learning a new language: understanding the terminology of wavefront-guided ablation”(学习新语言：理解波前导引蚀刻的名词)(February 1, 2003) 中描述的，像差表(例如，测量眼睛的像差的仪器)可被用来测量留在眼睛中的、像差失真的图像，或可被用来测量投影在视网膜上的网格的形状。例如，当病人把视线固定在目标时，相对较窄的输入激光束可以指向通过瞳孔并聚焦在病人眼睛的视网膜上，在视网膜上生成点光源。光线从视网膜反射回通过瞳孔，从眼睛传出的光线的波前被传送到波前传感器。正如本领域技术人员可以看到的，波前可被定义为连接离光源等距离的、电磁波的所有的场点的表面。光线离开眼睛，并且穿过用来检测光线的偏差的透镜阵列。波前由眼睛的折射媒体——诸如透镜、角膜、水晶体、和玻璃体——的折射特性的非均匀性造成偏差或畸变。最后得到的图像然后典型地例如被电荷耦合器件(CCD)照相机记录。

波前然后典型地被重建，并且以三维形式用数学来描述偏差。波前偏差至少部分可以通过分析光线的方向而被计算。一般说，平行光束表示具有小的像差（如果有的话）的波前，而非平行光束表示具有不能给出等距离聚焦点的像差的波前。

典型地，Zernike 多项式用来测量或分析眼睛的像差。每个 Zernike 多项式描述一个形状或三维表面。正如本领域技术人员看到的，Zernike 多项式是无穷组，但在眼科学，Zernike 多项式通常限于头 15 个多项式。二阶 Zernike 多项式代表传统的像差，诸如散焦和散光像差。在二阶像差以上的像差被称为高阶像差。高阶像差典型地不能用传统的球柱面透镜被校正。高阶像差的例子包括，但不限于，彗形、球形像差、三叶形（具有三重对称的波前），和四叶形（具有四重对称的波前）。许多高阶像差是不对称的，但某些高阶像差，诸如球面像差，可以是对称的。

按照本发明，病人眼睛的波前像差可被测量和分析，以实现适当的透镜结构。在考虑到病人的角膜表面的结构或构形以及任何波前像差的情况下，于是本发明的透镜如这里讨论的那样被成形。例如，首先形成透镜体，得到相应于眼睛的角膜表面构形的后表面，然后成形透镜体来校正与病人眼睛有关的任何波前像差。这样，通过把透镜体构造成校正病人眼睛的波前像差而得到接触透镜。有利地，提供的接触透镜可以是对于特定的病人考虑到诸如角膜表面构形、散光、波前像差、和光学度数的变化那些因素而配制的。在一个实施例中，接触透镜配备有镇重物 and 包括波前像差校正表面的光学区域。波前像差校正表面可被提供在前表面或后表面或同时在前表面与后表面。因此，在某些实施例中，本透镜校正或减小高阶波前像差。在高阶波前像差是非对称的情形下，透镜被配置成基本上保持想要的取向以校正波前像差。在某些实施例中，通过利用在透镜上的镇重物，得到波前像差校正取向。在其它实施例中，透镜可包括多个变厚的区域或部分，这些部分实现适当的取向，以校正或减小波前像差。

三种透镜类型的、按照本发明的方法的、后表面与前表面的结构的结果，由图 5a-7b 的三维示意图来显示。更具体地，图 5a，6a 和 7a 显示三种透镜类型的后表面/角膜的分隔，以及图 5b，6b 和 7b 显示三种透镜类型的径向厚度分布。

现在具体转到图 7a 和 7b, 图上显示复杂透镜设计为平滑的和基本上无缝的, 尽管它有变化的表面构形。本领域技术人员将会看到, 这种复杂透镜设计不能通过使用传统的基于二维数学的透镜设计与方法来产生。还应当指出, 图 7b 显示的透镜表面的轮廓不能通过使用偏移旋转对称曲线和其它精巧的当前的设计方法来产生。

提供样本数据点的步骤可以通过使用传统的技术与设备来完成, 其中可指定、提供或选择样本数据点, 例如, 弯矢深度, 以代表指定的表面。

正如本领域技术人员将会看到的, 在给定有限数目的分散的数据点和技术规范后, 数学上以三维方式平滑地表示表面的任务对特定的形状和设计技术规范可以通过许多方法来完成。众所周知, 一个算法可以比另一个算法提供更好的描述, 例如通过提供不同的精度。本发明可以通过此后给出的三个算法来说明, 虽然可以看到, 本发明不限于任何具体的算法或算法的组合。

形成具有三维轮廓的透镜表面的步骤可包括通过使用计算机驱动的磨床或车床或其它适当的切割工具来使透镜成形。模仿的三维表面可以用数字形式输入到计算机驱动的车床, 而车床则被编程来把无缝的三维表面切割成透镜毛坯、工具插件(例如, 在浇注模压的透镜中)、或角膜(例如, 在激光外科期间)。

眼科透镜的中心部分典型地被称为透镜的“光学区域”, 因为它提供光学校正。取决于佩戴者, 光区域可以由球形圆锥截面来描述, 或它可以是另一个更加复杂的结构, 诸如复曲面光区域。本发明在复曲面接触透镜的设计以及甚至更复杂的设计中是特别有利的。

具有诸如复曲面光区域的复曲面表面的接触透镜(通常称为“复曲面接触透镜”)通常用来校正与散光有关的眼睛的折射异常。散光可以是与诸如近视(近视)、远视(远视)、老花等等的其它的折射异常有关的。复曲面接触透镜可以用一个或多个球面校正来规定。

虽然球面接触透镜可以在眼睛上自由转动, 但复曲面接触透镜典型地包括镇重物或变厚的透镜部分, 以便禁止或减小透镜在眼睛上的旋转, 从而使得复曲面区域的圆柱轴通常与散光的轴保持对准。镇重物给可以由本发明解决的透镜提供一个非对称分量。在某些实施例中, 镇重物是用改变透镜体的前表面来规定的。在其它实施例中, 通

过同时改变透镜体的前表面和后表面来规定镇重物。

多焦点接触透镜可以提供变化的表面构形以实现垂直透镜的平移。变化的表面构形可包括镇重物，或可包括在透镜的前表面、后表面或同时在前表面与后表面上的另一个结构特性，诸如一个或多个隆起或凸起部分来实现垂直透镜平移。隆起部分的例子包括凸耳、山脊、凸缘和凸条。山脊和凸条可以作为透镜体的区域而提供，它从透镜体的前表面向前突出。凸耳可以作为透镜体的区域而提供，其中透镜体快速而平滑地从变厚的区域过渡到较薄的区域。

垂直透镜平移，正如这里被使用的，是指接触透镜在眼睛上相对眼睛的瞳孔相对地上下或垂直地运动。因此，垂直透镜平移可以是指由透镜的运动，眼睛的运动，或透镜与眼睛的运动的组合所造成的、接触透镜相对于眼睛的瞳孔的相对位置的改变。

作为例子，以及不是作为限制，多焦点透镜，诸如二焦点透镜，可包括具有两个光学度数的光学区域。因此，光学区域可以包括具有第一光学度数的次要部分和具有第二光学度的主要部分。光学区域的次要部分可以具有适用于阅读的光学度数，由此规定阅读或近区。典型地，当具有多焦点光学区域的眼睛正在朝前看时（例如，朝水平方向），阅读区域将位于眼睛的瞳孔中心的下面或基本上在它的下面，以及基本上所有的视力校正由透镜的光学区域的上面部分提供。当眼睛向下移动例如看书时，本发明的透镜将典型地有效地垂直向上移动，这样，阅读区域至少覆盖一部分瞳孔，根据阅读区域的光学度数提供视力校正。

在某些实施例中，透镜的有效的向上运动可以通过在眼睛向下转动时把透镜基本上保持在固定的位置而达到，这样，当眼睛向下运动时，瞳孔被透镜的下面部分覆盖。在其它实施例中，透镜的有效的向上运动可以通过透镜向上的运动，例如通过由眼睛的一个或多个眼睑对透镜施加的作用而达到。在又一个实施例中，下部的眼睑可以与镇重物或透镜的表面上的其它部分接合以保持透镜在相对固定的位置。当眼睛向下看时，例如通过转动，下部眼睑可以使得透镜稍微向下，但眼睛的转动比起透镜的移动是相对较大的，造成瞳孔被光学区域的下面区域的至少一部分覆盖。

这样的透镜的变化的表面构形可以具有镇重物的形式，它可以通

过改变透镜体的前表面和/或后表面的厚度或形状而形成。在某些实施例中，通过控制透镜厚度的变化率来得到有效的垂直透镜平移。与复曲面接触透镜相比较，具有镇重物的多焦点透镜在镇重物区域中可以具有相对较大的变化率。因此，按照本发明的多焦点透镜可以具有镇重物，它们被配置成提供如上所述的有效的垂直透镜平移。

具体地参照图 8，本发明还包括工具，或工具插件 112 和 113，它们对于分别浇铸压制眼科透镜的后表面与前表面是有用的。工具插件 112 和 113 适配于放置在模具设备 115 和 116，以便形成第一模具的半型 117 和第二模具的半型 118，每个具有各个工具插件的表面的负的模槽。插件 112 和 113 的表面是分别相应于想要的眼科透镜后表面与前表面的基本上平滑的、无接缝三维非对称表面。模具的半型 117 和 118 被组装在一起，形成组装的模具 120，它规定了透镜形状的空腔。可聚合的/可固化的单体的组合被放置在空腔中并被加工，例如，被聚合和/或固化，形成接触透镜。这样的加工可以是惯用的以及在技术上是熟知的，所以，不需要详细地描述。透镜被脱模，以及可以受到常规的附加处理步骤，诸如消毒，封装等等。

工具插件和由这样的工具插件产生的模具半型，正如这里描述的，属于本发明的范围。

在本发明的另一个方面，提供了用于使眼睛的角膜重新成形的方案。方法总的包括选择或指定代表病人（例如人类）的眼睛的校正的角膜表面的样本数据点，以及使用至少一个算法在样本数据点之间进行内插，产生基本上平滑的、连续的三维表面。优选地，从病人的角膜的未校正的表面的三维表面得到样本数据点，并且通过使用至少一个算法在数据点之间进行内插以产生平滑的、基本无缝隙的、模仿的三维未校正的表面。通过使用配备了模仿表面轮廓的传统计算机驱动的激光系统，和优选地模仿的未校正的表面轮廓，角膜被重新成形，以接近模仿的表面轮廓。在本发明的这个实施例中，本方法可与传统的角膜折射激光外科系统结合使用，通过选择地部分切削或重新成形角膜基质组织而改变眼睛的折射能力，以及在某些情形下，在之前先临时去除前面角膜瓣。本方法在产生诸如角膜表面的非对称表面以便校正散光，在提供定制角膜成形用于改进的光学校正，在角膜顶点的中心（常常没有与瞳孔中心对准）提供校正等等方面是有用的。

以下的非限制性例子说明本发明的某些方面。

实例

根据本发明的方法设计复曲面透镜

按照本发明设计复曲面透镜所用的步骤包括：

- (1) 确定角膜形状。
- (2) 选择和表示想要的透镜/角膜适配关系。
- (3) 规定包括复曲面光学区域的后表面。
- (4) 使用算法 X 表示在三维空间中的透镜的后表面。
- (5) 规定透镜的中心厚度。
- (6) 选择透镜的光学度数。
- (7) 确定透镜质量分布 (选择的样本点)。
- (8) 使用算法 X 表示在三维空间中的透镜的前表面, 包括图形表示。

算法 X 可以是用于内插以提供想要的模仿的三维表面任何有效的适当的算法。

内插方法

一般地说, 规定 n 个数据点和它们的数值 $(z_1, \dots, z_n) = [z(x_1, y_1), \dots, z(x_n, y_n)]$ 的表, 这个表构成未知的基础表面 $f^*(x, y)$ 的不完整的表示。总体上, 选择一个插值函数 $f(x, y)$, 对于它, $f(x_i, y_i) = z_i$, $i=1, \dots, n$ 以及当 $n \rightarrow \infty$ 时, f 单调地 $f \rightarrow f^*$ 。

假设基础表面 f^* 的平滑度总的被看作为至少是 C^1 (或可能逐段 C^1), 并且把这个假设建成数学结构式。

I. Shepard 方法 (Shepard 1968)

在基本的 Shepard 方法中, 在任意点 (x, y) 处的内插值用数据点的加权和来定义, 其中权重正比于在 (x, y) 与数据点之间的距离的平方的倒数。

以它的最简单的形式, 算法可以由以下公式表示:

$$\phi(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N h_i |(x, y) - (x_i, y_i)|^{-2}}{\sum_{i=1}^N |(x, y) - (x_i, y_i)|^{-2}}$$

其中 h_i 是第 i 个数据点, (x_i, y_i) 是它的位置, 以及 N 是数据点的数目。

II. 内插方法 (Cline 与 Renka, 1984)

下面是此后被称为 CR 方案的内插方法的概要的说明; 这个方法在以下文献中更详细地说明: Cline A.K 与 Renka R.J., “A Storage-efficient Method for Construction of A Thiessen Triangulation” (构造三角剖分的存储高效的方法), Rocky Mountain J. Math. 14(1), 119-139(1984); Renka R.J. 与 Cline A.K., “A Triangle-based C^1 Interpolation Method” (基于三角 C^1 的内插法), Rocky Mountain J. Math. 14(1), 223-237(1984); 和 Renka R.J., “Algorithm 624: Triangulation and Interpolation At Arbitrarily Distributed Points In The Plane” (算法 624: 在平面中任意分布点的三角剖分和内插), ACM Trans. Math., Software 10(4), 440-442(1984)。这些文献的每个文献在此引用以供参考。

CR 方案包括以下步骤:

- a. 把与已知的数据点组 $\{(x_1, y_1), \dots (x_n, y_n)\}$ 相关联的凸表面划分成三角形 (CR 步骤 1)。
- b. 估计在每个数据点处的内插函数 $f(x, y)$ 的偏导数 (CR 步骤 2)。
- c. 对于在凸表面上的任意点 (x_0, y_0) , 可以通过使用在包含 (x_0, y_0) 的三角形的每个顶点处的数据值和偏导数计算内插函数 $f(x_0, y_0)$ 的数值。计算是基于覆盖三角形的三次曲面 (CR 步骤 3)。

步骤 1. 三角剖分

令 S 是节点 (数据点) 的组 $((x_1, y_1), \dots (x_n, y_n))$, 其中对于 $i \neq j$, $n \geq 3$, 和 $(x_i, y_i) \neq (x_j, y_j)$ 。 N_i 用来表示节点 (x_i, y_i) 。令 H 是 S 的凸表面。

S 的三角剖分是具有以下特性的三角形的组 T : (i) 每个三角形正好包含三个节点, (ii) 三角形的里面区域是逐对不相交的, 以及 (iii) H 上的每个点被包含在 T 的某个三角形中。

为了使得以上的步骤 (ii) 和 (iii) 的精度最大化, 构建尽可能接近等角的三角形。为了做到这一点, 定义弧为连接 T 的三角形的两个顶点的、无方向线段 $N_i \leftrightarrow N_j$, $i \neq j$ 。弧 $N_i \leftrightarrow N_j$ 是局部最佳的, 如果它位于 H 的边界上, 或如果由共享节点的一对相邻的三角形规定的四边形不是严格凸出的话。

所需要的三角剖分是其中所有的弧是局部最佳的三角形。最终得到的三角剖分被称为 Thiessen 三角剖分, 或 Delaunay 三角剖分。C 和 R (1984) 给出以下的用于产生 T 三角剖分的算法。

- 对于每个节点 N_i , 定义与 N_i 有关的 Thiessen 区域为满足 $|(x, y) - N_i| < |(x, y) - N_j|$ 的、对于所有的 $i \neq j$ 的点 (x, y) 的组。

- 一对节点 N_1, N_2 被称为 Thiessen 邻居, 如果它们的相应的 Thiessen 区域共享至少一个点的话。如果区域正好共享一个点, 则 N_1 和 N_2 被称为弱 Thiessen 邻居, 如果它们共享两个或多个点, 则它们被称为强 Thiessen 邻居。

- 当 k 个节点位于公共圆时 ($k \geq 4$), 连接强 Thiessen 邻居的所有点, 并任意选择 $k-3$ 个连接弱邻居的不相交的弧。

步骤 2. 估计在每个数据点处的内插函数 $f(x, y)$ 的偏导数。

在执行三角剖分后, 在 CR 方案中下一个步骤是确定在每个节点处的内插函数的偏导数。

要找出以下的偏导数向量的值:

(1)

$$D_{(x,y)} = \left(\frac{\partial f}{\partial(x,y)}(x_1, y_1), \dots, \frac{\partial f}{\partial(x,y)}(x_n, y_n) \right)$$

这样的向量使得内插函数 $f(x, y)$ 在 H 的线性化曲面上的 L_2 范数最小化。这直接导致找出使得四边形泛函最小化的偏导数的数值 (1) 的问题,

(2)

$$Q_k(D_x, D_y) = \int_{P_k} \left\{ \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right)^2 \right\} dx dy$$

其中 P_k 是包含节点 k 的三角形的贴片。正如在 Renka R. J. 与 Cline A. K (1984) 中描述的, 公式 (1) 导致线性系统

(3)

$$\frac{\partial Q_k}{\partial D_x} = 0, \frac{\partial Q_k}{\partial D_y} = 0$$

它可用块 Gauss-Seidel 方法来求解以恢复需要的导数 D_x 和 D_y 。

步骤 3 采样

对于在凸表面上的任意点，可以使用包含任意点的三角形的每个顶点处的数据值和偏导数来计算内插函数的数值。计算是基于覆盖三角形顶端的三次曲面。

以上的两个步骤构建在表面的已知的数据点处内插函数的构架。当不存在基础表面的基本公式时，当表示 $f(x, y)$ 的算法返回到感兴趣的区域中的任何的 $(x, y) = (x_0, y_0)$ 的合理的数值时，表面的数学描述将是完整的。

这个过程在内插与有限元分析中是共同的，所以，这里不详细地描述。概述地，根据 Lawson(1976)的过程计算对于某些 $(x_0, y_0) = H$ 的 $f(x_0, y_0)$ 的数值。在包含 (x_0, y_0) 的三角形 T 上， f 的局部结构由跨越三角形的三次单元 $F(x, y)$ 表示，这样， $f(x, y) = F(x_0, y_0)$ 。局部单元 F 具有以下特性：

1. 在通过连接包含 (x_0, y_0) 的三角形的顶点到重心而形成的、相等面积的三个子三角形的每个子三角形中， F 是真实的三次函数（而不是双三次的）。

2. F 是 C^1

3. 在每个三角形边缘， $N_i \leftrightarrow N_j$ ， F 是 z_i ， z_j 和在末端点 N_i 和 N_j 处它们的方向导数的厄密特三次内插。而且， F 在垂直于 $N_i \leftrightarrow N_j$ 的方向上的导数对在 N_i 和 N_j 处的法向导数作内插。

最后两个性质保证跨越三角形边界的（因此在整个区域 H ） C^1 连续性，因为在三角形边上任意点的导数完全由它们在边的末端点上的数值所确定。

通过构建局部的三次单元 F ，可以确定位于局部已知的数据点之间的值。因此，在由数据覆盖的区域中的任何点处，该表面是已知的。

III. 内插方法（双三次仿样）

在 Dierck, P., “An Algorithm for Surface Fitting With Spline Function”（用仿样函数进行表面拟合的算法）, IMA Journal of Numerical Analysis, v. 1, pp. 267-283 (1981) 中描述的这个内插方法计算了对分散数据点 (x_i, y_i, h_i) 的组加权因子 w_i 的平滑的、双三次仿样近似 $\phi(x, y)$, 其中 $i=1\dots N$ 。仿样以 B 仿样表示给定:

(4)

$$\phi(x, y) = \sum_k \sum_l c_{kl} Q_k(x) P_l(y)$$

其中 $Q_k(x)$ 和 $P_l(y)$ 是在相互计算的结点组上规定的、归一化的三次 B 仿样, 以及系数 c_{kl} 是需要确定的。

在第 k 次迭代时, 当前的结点组用来使得双向三次仿样在最小平方的意义上与数据拟合。然后计算剩余方差:

(5)

$$\theta = \sum_{i=1}^N w_i^2 (h_i - \phi_k(x_i, y_i))^2$$

如果 θ 大于用户规定的非负的极限 S , 则结点组通过在拟合为最差（也就是其中 θ 是最大的）的区域加上额外的结点以产生对于第 $(k+1)$ 次迭代的结点组而求精。在多次这样的迭代后, $\theta < S$ 的准则得以满足, 则结点组是可接受的。

上述的 P. Kiorck 的文章整体地在此引用以供参考。

然后计算表面的最后的近似, 作为对于寻找在 $\theta < S$ 的约束条件下使得全局平滑性度量最小化的、在公式 (4) 中的系数的最佳化问题的解。

虽然以上描述按照本发明的具有无缝的三维表面的特定的眼科透镜及其生产方法, 其目的是显示本发明可被使用来获益的方式, 但应当看到, 本发明不限于此。

虽然本发明是对于各种具体的例子和实施例描述的，但应当看到，本发明不限于此，并且它可以在以下的权利要求的范围内以不同的方式被实践。

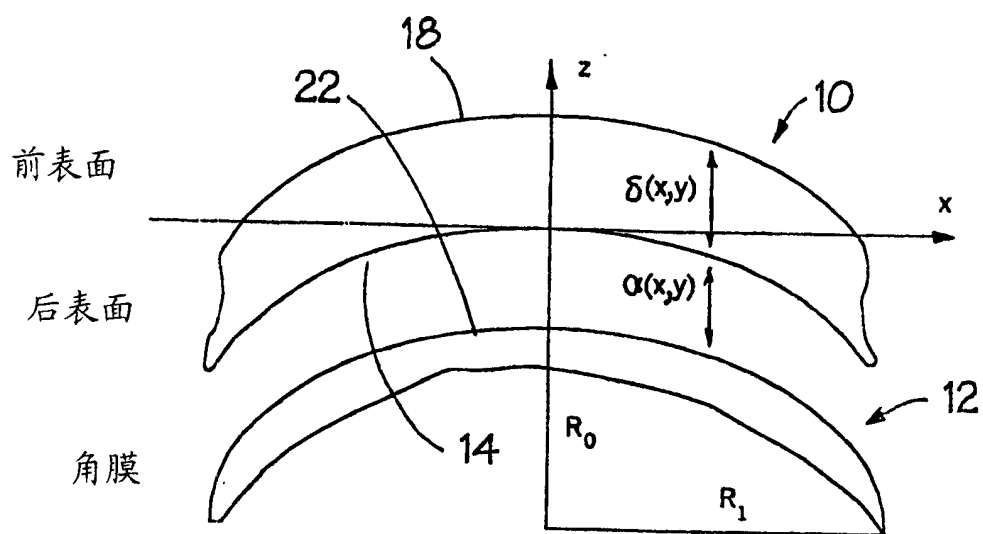


图 1

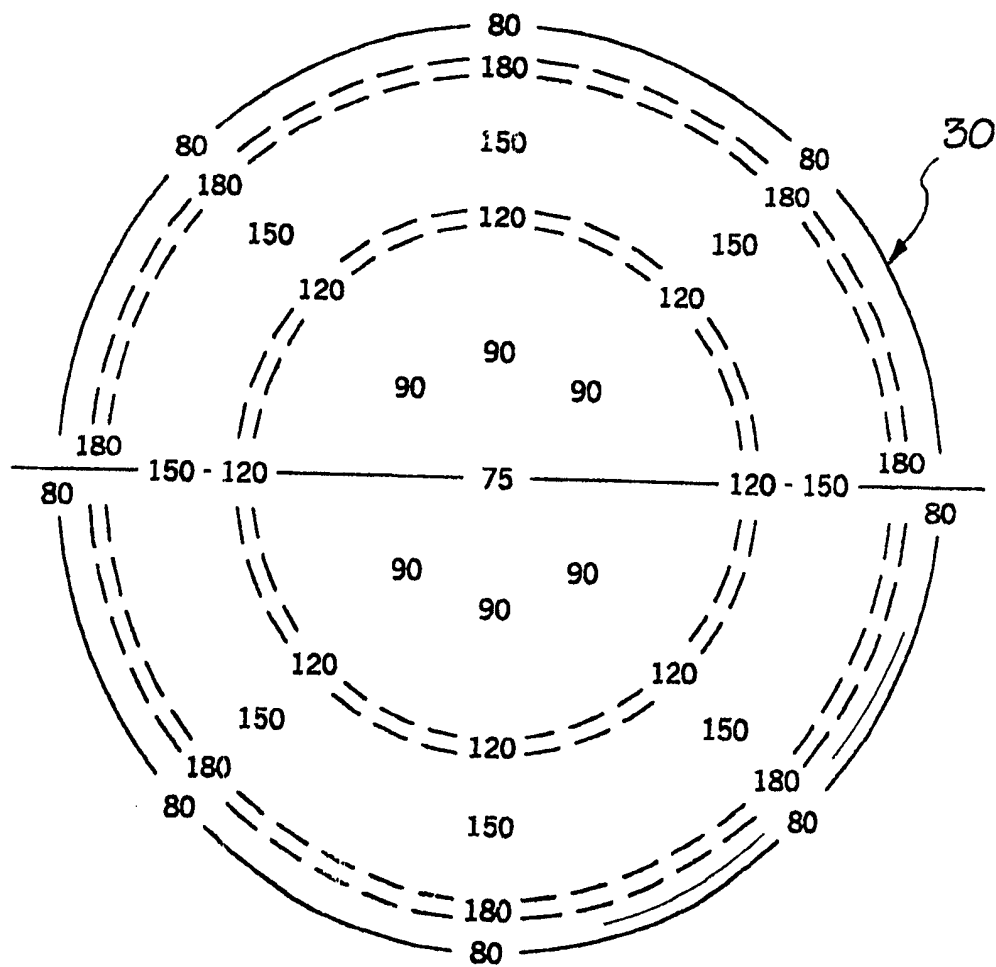


图 2a

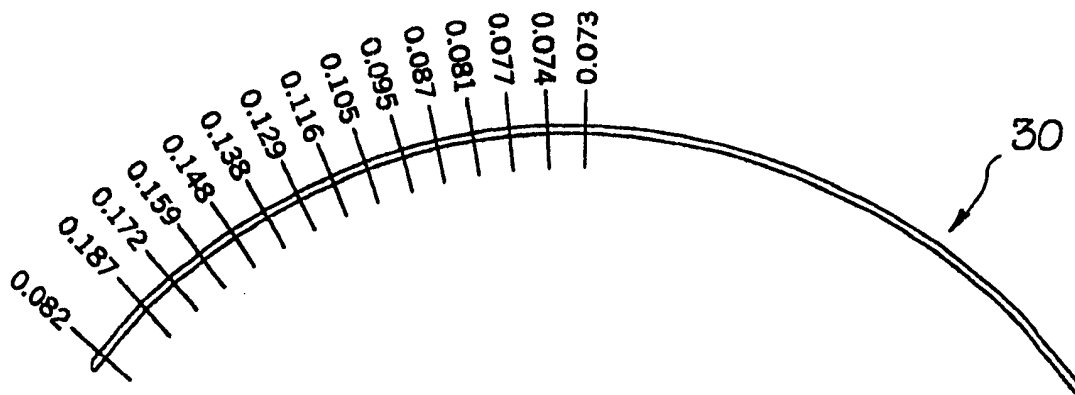


图 2b

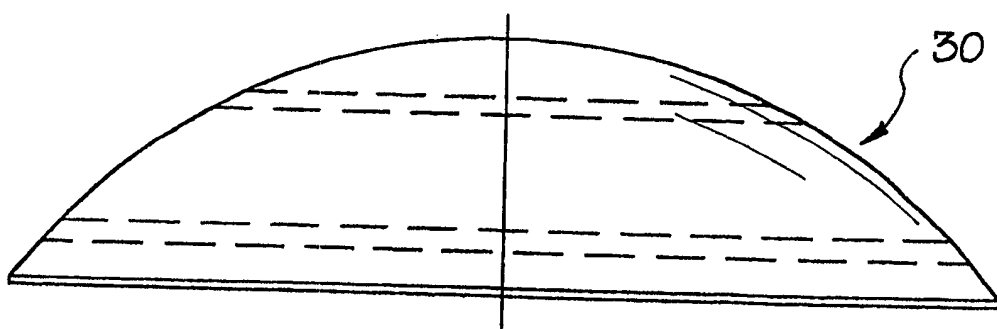


图 2c

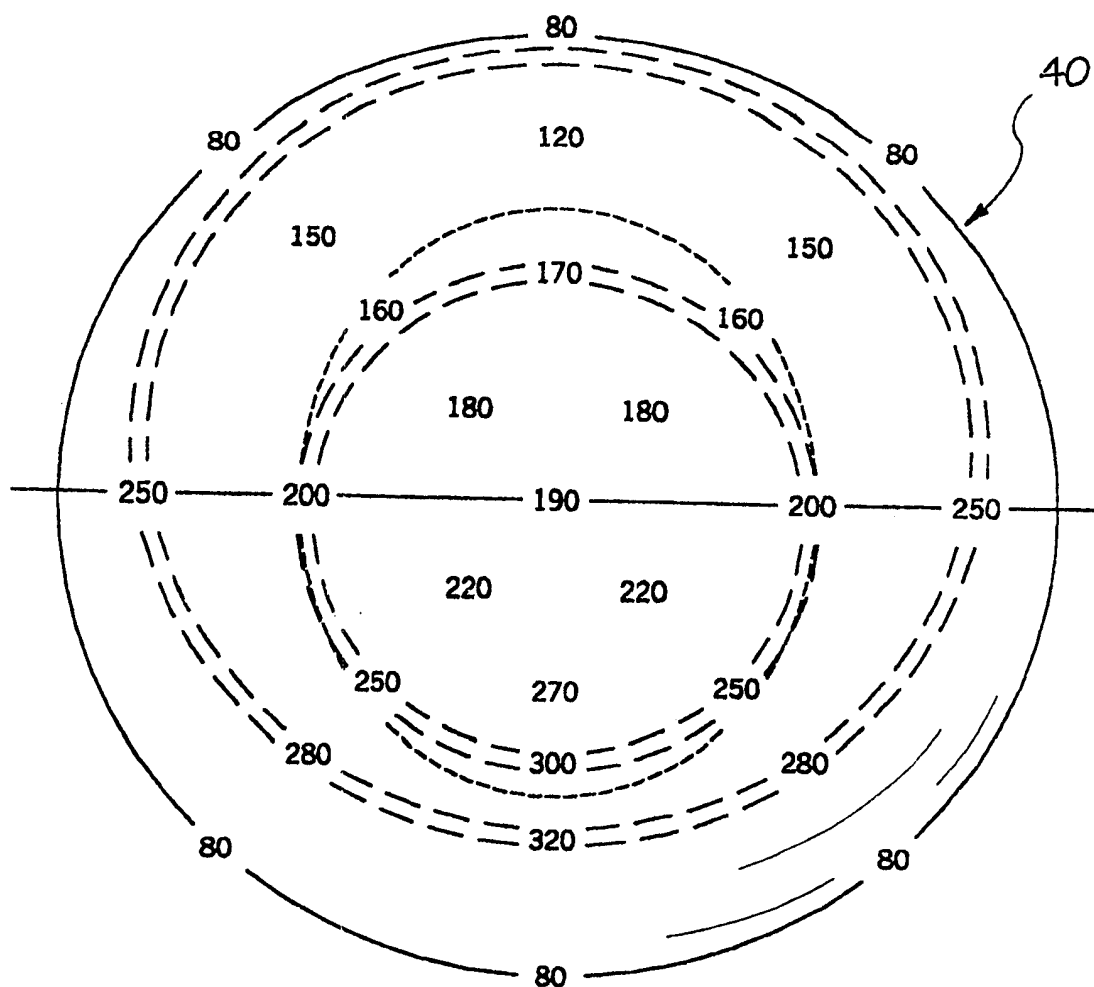


图 3a

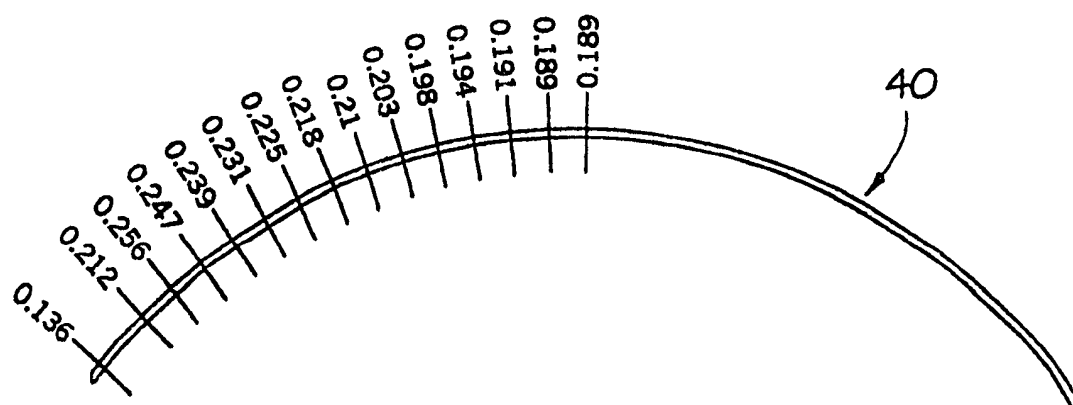


图 3b

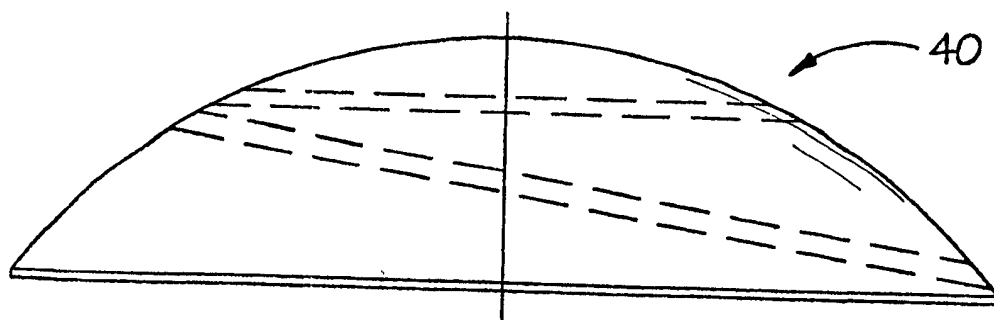


图 3c

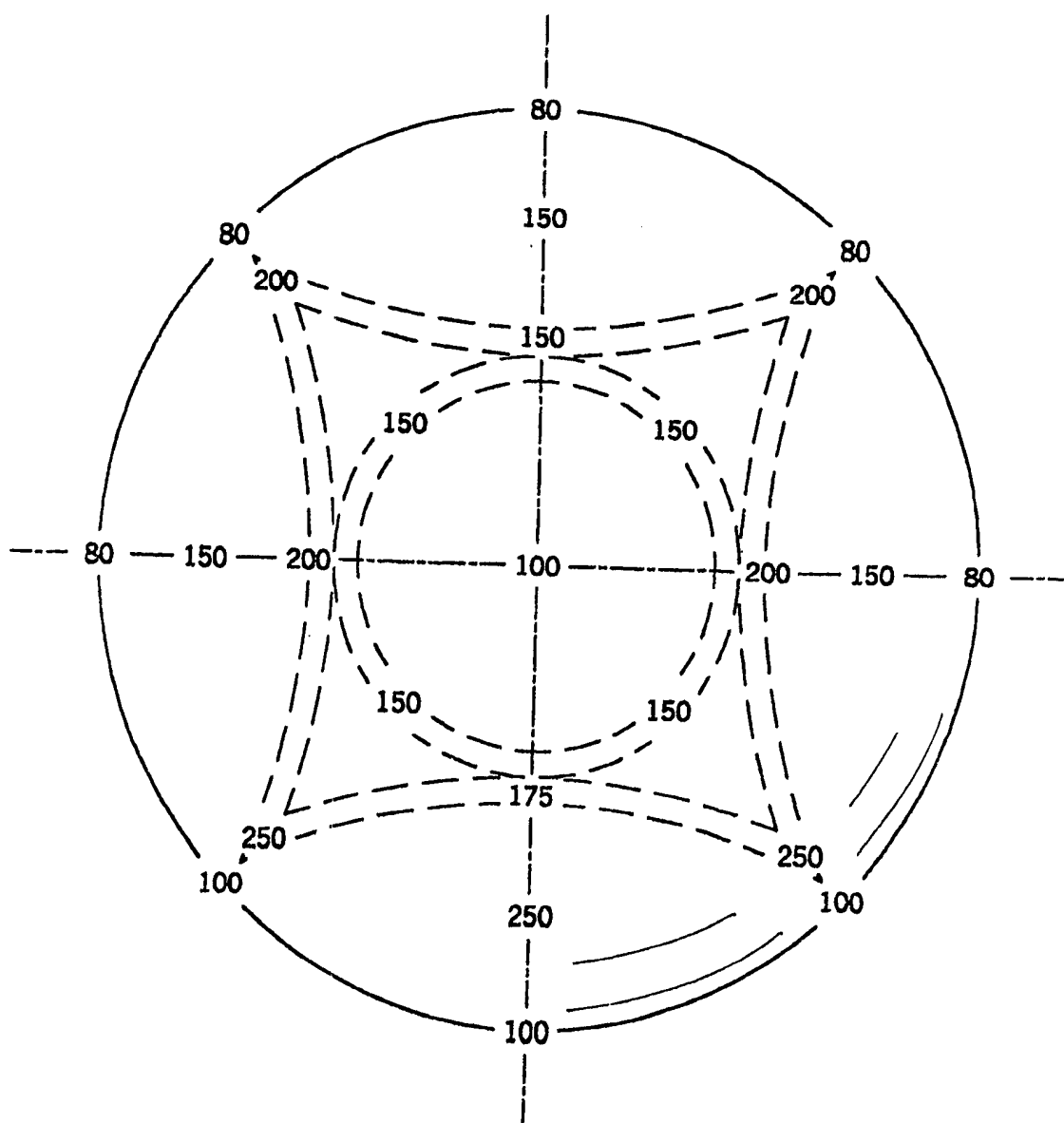


图 4

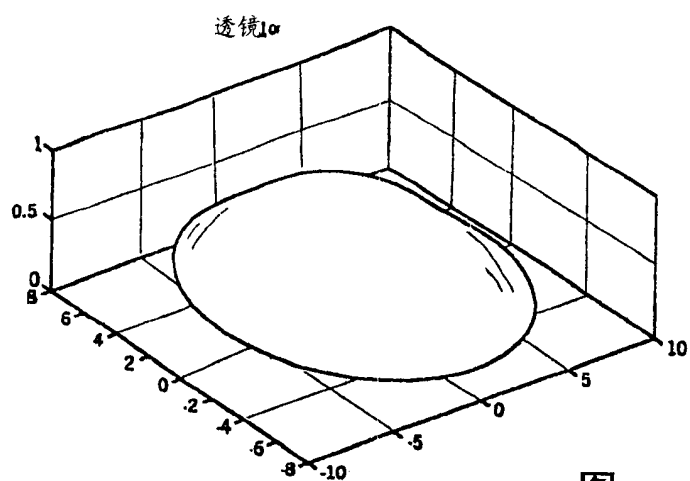


图 5a

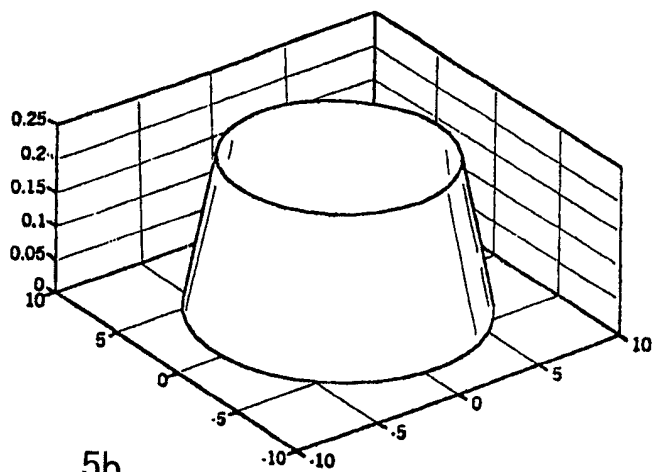


图 5b

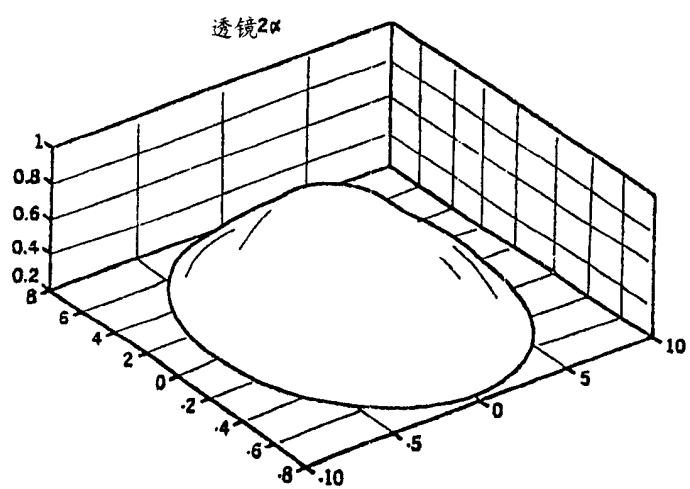


图 6a

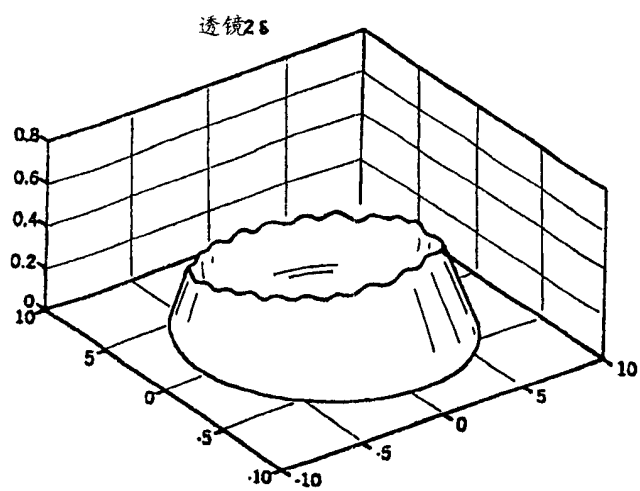


图 6b

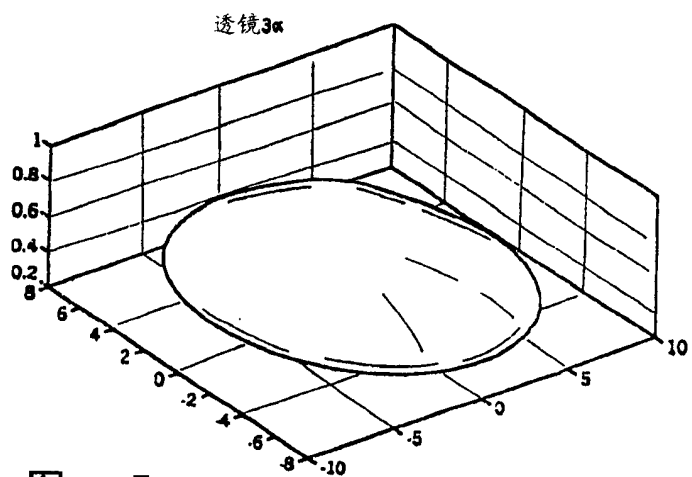


图 7a

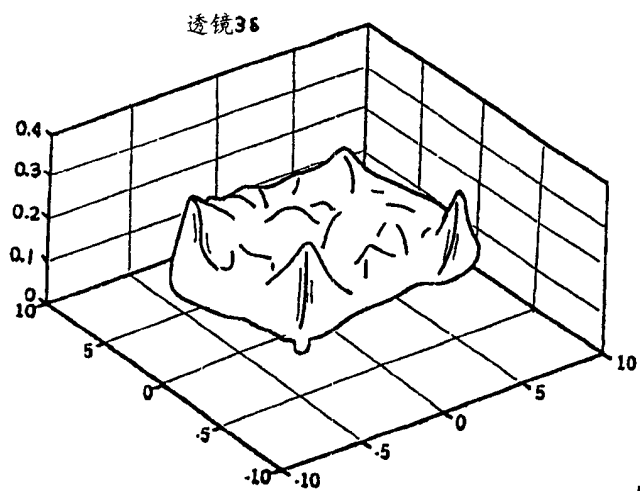


图 7b

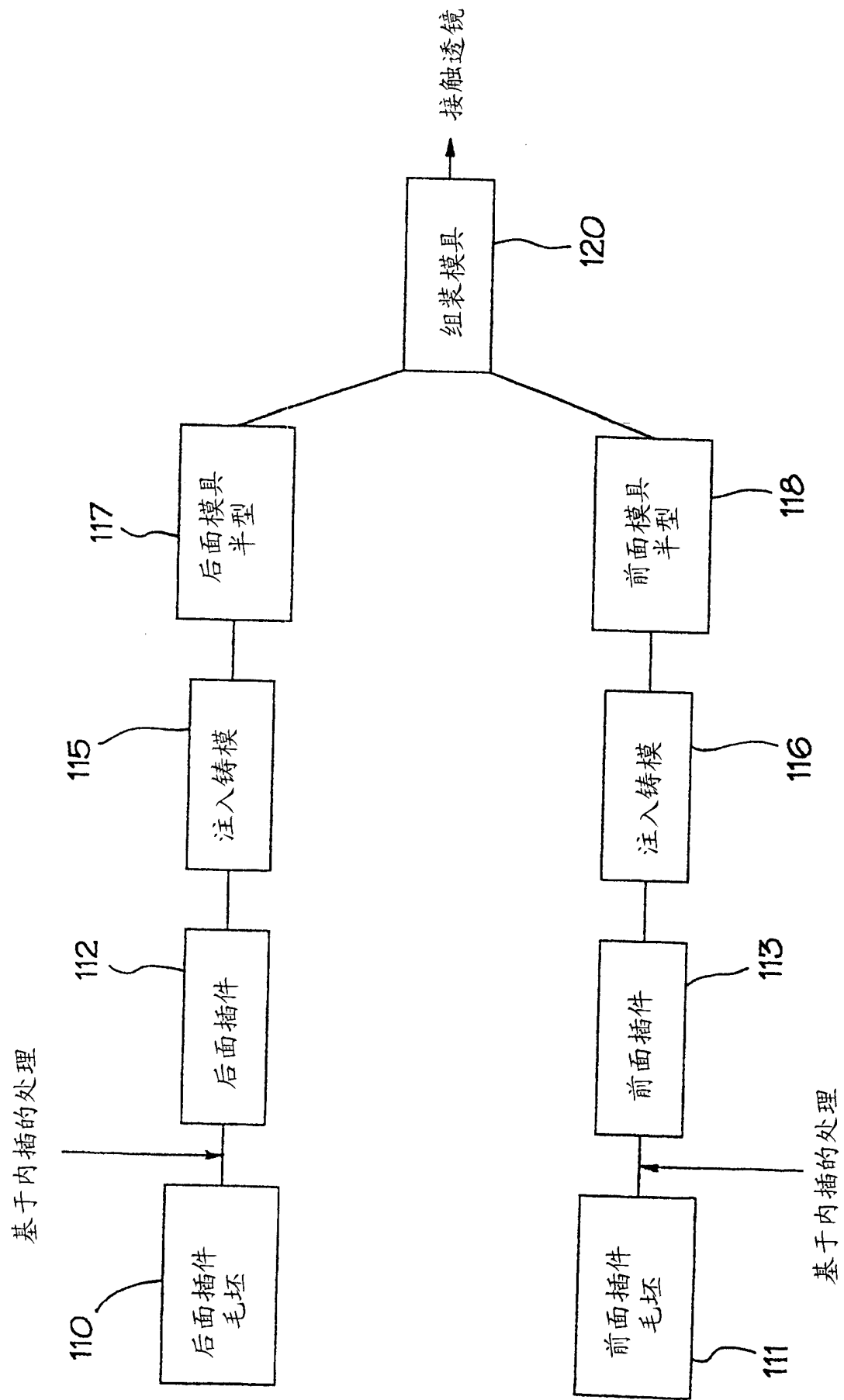


图 8