

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02827986.7

G02B 3/10 (2006.01)
G02C 7/04 (2006.01)
G02C 7/06 (2006.01)
A61F 2/16 (2006.01)

[45] 授权公告日 2007 年 8 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 1330980C

[22] 申请日 2002.12.26 [21] 申请号 02827986.7

[30] 优先权

[32] 2001.12.28 [33] US [31] 60/347,028

[32] 2002.1.22 [33] US [31] 60/350,551

[32] 2002.12.24 [33] US [31] 10/328,859

[86] 国际申请 PCT/US2002/041319 2002.12.26

[87] 国际公布 WO2003/058296 英 2003.7.17

[85] 进入国家阶段日期 2004.8.10

[73] 专利权人 卡尔豪恩视觉公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 克里斯琴·A·桑德斯特

贾格迪什·M·杰思马拉尼

希奥·H·张

[56] 参考文献

WO0144838A2 2001.6.21

US5443506A 1995.8.22

US5066301A 1991.11.19

US5728155A 1998.3.17

审查员 陈亚娟

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 贾静环 宋 莉

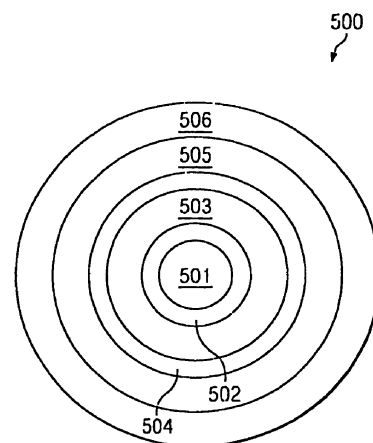
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 5 页

[54] 发明名称

光可调节的多焦点透镜

[57] 摘要

本发明披露一种多焦点透镜及其制备方法，所述多焦点透镜，包括：该透镜的第一部分，其具有第一焦距；该透镜的第二部分，其包含对外部刺激有光学活性的物质且具有由于施加所述刺激而调节至第二焦距的焦距；其中第一焦距不同于第二焦距。该透镜光可调节的多焦点透镜，其可用作人工晶状体。



1. 一种多焦点透镜，包括：

该透镜的第一部分，其具有第一焦距；

该透镜的第二部分，其包含对外部刺激有光学活性的物质且具有由于施加所述刺激而调节至第二焦距的焦距；

其中第一焦距不同于第二焦距。

2. 根据权利要求1所述的透镜，其中所述第一焦距大于第二焦距。

3. 根据权利要求1所述的透镜，其中所述第二焦距大于第一焦距。

4. 根据权利要求1所述的透镜，其中所述第一部分基本上为圆形且位于该透镜的中心，所述第二部分基本上为环形且位于第一部分的周围。

5. 根据权利要求1所述的透镜，其中所述第二部分基本上为圆形且位于该透镜中心，所述第一部分基本上为环形且位于第二部分的周围。

6. 根据权利要求1所述的透镜，其中所述透镜的第一部分包含对外部刺激有光学活性的物质。

7. 根据权利要求1所述的透镜，还包括：

该透镜的第三部分，其包含对外部刺激有光学活性物质且具有由于施加所述刺激而调节至第三焦距的焦距。

8. 根据权利要求7所述的透镜，其中所述第三部分基本上为环形且位于第一部分的周围。

9. 根据权利要求7所述的透镜，其中所述第三焦距不同于第一和第二焦距。

10. 根据权利要求7所述的透镜，其中所述第三焦距和第二焦距相同。

11. 根据权利要求1所述的透镜，其中所述刺激为光。

12. 根据权利要求11所述的透镜，其中所述刺激为紫外光。

13. 根据权利要求1所述的透镜，其中所述透镜为人工晶状体。

14. 根据权利要求1所述的透镜，其中所述透镜为隐形眼镜。

15. 根据权利要求1所述的透镜，其中所述透镜为镜片透镜。

16. 一种多焦点透镜的制备方法，包括：

制备透镜，该透镜含有分散于其中的改性组合物 MC，该改性组合物能够进行刺激引发的聚合；

将该透镜的一部分暴露于外部刺激下，以引起光学性质的变化，该变化改变透镜该部分的焦距；

从而，该透镜暴露过的部分有第一焦距，未暴露过的部分有第二焦距，所述第二焦距和第一焦距不同。

17. 根据权利要求 16 所述的方法，其中所述透镜为人工晶状体。

18. 根据权利要求 16 所述的方法，还包括：

锁定所述第一焦距和第二焦距。

19. 根据权利要求 16 所述的方法，其中所述外部刺激包括光。

20. 根据权利要求 16 所述的方法，其中所述光学性质的变化是由暴露给外部刺激的区域内的 MC 聚合引起的。

光可调节的多焦点透镜

相关申请的互相参考

本申请要求于 2001 年 12 月 28 日递交的名称为“光可调节的多焦点透镜”的美国临时专利申请 60/347028, 和于 2002 年 1 月 22 日递交的名称为“光可调节的多焦点透镜(light adjustable multifocal lenses)”的美国临时专利申请 60/350551 的优先权, 在此引入其公开内容作为参考。

发明领域

本发明涉及光学元件, 可以在制造后对该光学元件改性以使不同型号的元件具有不同的光学性质。在一个实施方案中, 本发明涉及能在制造后转变成多焦点透镜的透镜, 如人工晶状体(眼内透镜, intraocular lenses)。

发明背景

与人体视觉系统相关的调节是指人们使用他们独立的眼睛结构去观看近距离的物体(如阅读)和远距离的物体(如驾驶)的能力。人类的调节机制是通过收缩和舒展睫状体而获得的, 睫状体位于晶状体(human lens)周围的胶囊袋(capsular bag)中。在睫状体压力的作用下, 晶状体会产生变形以有效改变晶状体的曲率半径。该动作伴随着晶状体度数(power)的改变。但是, 随着人们年龄增大, 他们的调节能力急剧降低。这种情况被称之为老花眼(presbyopia), 现在在美国影响着超过 9 千万的人。Helmholtz 提出了最为广泛接受的理论来解释这种调节性的降低, 即当人上了年纪, 眼睛的晶状体逐渐变得僵硬, 从而阻止睫状体调节时的变形。

不需要眼镜矫正(spectacle correction)就能看见远处的物体, 但却失去看眼前物体能力的人们通常要配一副阅读镜或放大镜。对于那些已经存在的散焦和/或散光的患者来说, 需要预先配眼镜矫正, 需要配一副双焦点的、三焦点的、可变焦点的或渐变焦点的透镜以使他们具有近的视野和远的视野。这种情况的复杂化会产生患者年老时得白内障的风险。事实上, 对 65 岁以上的患者, 取出白内障, 然后植入人工晶状体(intraocular lenses, IOL)

是最普通的手术（参考）。

为了有效地治疗老花眼和白内障，可以将多焦点 IOL 植入到患者上。多焦点 IOL 的一般概念和设计在之前的眼科和专利文献中已有描述。多焦点 IOL 的最简单的设计通常可参考“牛眼(bull’s eye)”的构造，包括一个小的、中心添加区域(central add zone)（直径 1.5mm-2.5mm），该中心添加区域用于提供近视野（“Intraocular Lenses in Cataract and Refractive Surgery”，D. T. Azar, et. al. , W. B. Saunders Company (2001); “Intraocular Lenses: Basics and Clinical Applications”，R. L. Stamper, A Sugar, and D. J. Ripkin, American Academy of Ophthalmology (1993)，在此引入这两篇文献，作为参考）。中心添加区域的度数一般比 IOL 的基本度数大 3-4 个屈光度，这就转变成为整个视觉系统有效地增加了 2.5-3.5 个屈光度。在中心添加区域外部的晶状体部分被认为是基本度数，该部分用于远视。理论上，当为获得近视野瞳孔收缩时，只有晶状体的中心添加区域会有来自图像的光通过。但是，在强光条件下瞳孔也会收缩，使患者有 2-3 度的近视。当人们向着太阳直射他们的方向驾驶时，如在大约日落时分向西驾驶，这将是隐患。为了消除这个问题，作出了一种环形设计，其具有用于远视野的透镜中心和外围部分、用于近视野的近中心环（2.1-3.5mm）。这种设计即使当瞳孔收缩时仍然能维持远视野（Intraocular Lenses in Cataract and Refractive Surgery, D. T. Azar, et. al. , W. B. Saunders Company (2001); “Intraocular Lenses: Basics and Clinical Applications”，R. L. Stamper, A Sugar, and D. J. Ripkin, American Academy of Ophthalmology (1993)，在此引入作为参考）。目前在美国出售的，最广泛采用的多焦点 IOL 见于美国专利 5225858，在此引入该专利，作为参考。这种 IOL 称之为阵列透镜(Array lens)，包括五个同心的，非球面环形区域。因为每个区域均为多焦点元件，所以瞳孔大小对确定最终图象质量起着很小的作用或不起作用。

但是，作为标准人工晶状体，必须在植入前测定其度数和聚焦区域。所需度数的测量误差和由于伤口愈合造成的手术后晶状体移位经常使最终得到的不是最佳视力。对于“牛眼透镜”的实例来说，如果在治愈过程中发生 IOL 的横向（垂直于视轴线）移位，后者的影响尤其成为问题。这会使添加部分显著偏离眼镜的视轴线，从而导致失去所需的多焦点。阵列和近中心 IOL 设计能部分解决伤口愈合过程中的移位问题，但是不能用这些

多焦点 IOL 设计来弥补任何 IOL 的纵向移位(沿着视轴线方向)、先前存在的散光或手术引起的散光。这导致患者不得不选择再一次手术去替代或重定位晶状体或使用另外的矫正的透镜。

因此,需要一种人工晶状体,能在手术后于体内调节该晶状体,形成多焦点人工晶状体。可将这种晶状体设计成能在体内矫正原先正视眼的状态(从无限远过来的光,在视网膜形成完美的焦点),然后可以在第二次治疗过程中加入多焦点性。这种晶状体可以避免涉及手术前度数选择的猜测,克服 IOL 植入后伤口愈合的内在反应,允许定制增加或减少区域的尺寸以适应患者的要求和在不同照明条件下扩张(dilation)特性,并且允许矫正区域位于沿患者视轴线的方向。

发明概述

本发明提供新型的光学元件,能在制造后调节其特性以生产具有不同特性的光学元件。具体的,本发明涉及一种人工晶状体,它能在植入眼内后转换成多焦点透镜。以这种方式,能更精确地在晶状体遭遇任何手术后的移位后调节眼内和/或透镜的聚焦区域,并且能够根据患者和标准折射技术得到的输入量,而不是根据手术前的估计。

通过使用分散于整个元件中的改性组合物(MC)实现光学元件的改造。当 MC 暴露于外部刺激如热或光下时,MC 能够发生聚合。该刺激可以直接作用于元件的一个或多个区域,只引发暴露区域内的 MC 聚合。MC 的聚合会改变具有暴露区域的元件的光学性质。

聚合后,光学元件内就发生几种变化。第一种变化是形成第二聚合物网络,其包括聚合的 MC。这种聚合物网络的形成会导致元件的光学性质,即折射率的变化。另外,当 MC 聚合时,引起了聚合和未聚合区域之间的化学势差。接下来,这促使未聚合的 MC 在元件中的扩散,重新建立光学元件的热力学平衡。如果光学元件具有充分的弹性,则 MC 的这种转移会导致元件在暴露于刺激之下的区域内扩张。接下来,这将改变元件的形状,从而引起光学性质的改变。取决于光学元件的本性,MC 与元件合为一体,刺激的持续时间和空间强度特性两者之一或这两者的改变会发生。

本发明的关键方面是所述光学元件是独立的,原因在于一旦制造后,不需要添加或从透镜中移去任何材料以获得所要的光学性质。

已经发现：通过暴露光学元件的不同区域来改变度数或在外部刺激的预定图案下，有可能改变在不同的区域元件的光学性质。例如，有可能通过使用不同的图案模式，创造具有固定光学性质的中心区域，该中心区域由不同光学性质的同心环围绕着。以这种方式，可以创造多焦点的透镜。在另一个实施方案中，定制的双焦点、多焦点等图案能在第一次处理中形成于透镜上，接着在第二次处理中锁定遍布整个透镜中未反应的改性组合物。另一方面，定制图案的多次处理能形成于透镜上，以为患者提供无需眼镜的视力。

前面已经相当宽泛地概括出本发明的特征和技术优势，以使更容易理解下面本发明的详述。在下文中将描述本发明的其他特征和优点，这些特征和优点形成了本发明权利要求的主题。本领域的技术人员应当理解：为进行与本发明相同的目的，可容易利用此处披露的概念和具体实施方案作为改造或设计其他结构的基础。本领域的技术人员还应当意识到这种等同的构造并没有偏离本发明在权利要求中阐述的精神和范围。这些新颖的特征被认为是本发明的特性，涉及它的组织和操作方法；当结合附图考虑时，这些特征以及其它目标和优点将更容易从下面描述中理解。但是，应该清楚每一张附图都只是用于图解和描述的目的，并非旨在限制本发明。

附图说明

为了完全理解本发明，下列描述和附图结合起来作为参考：

图 1A 和 1B 表示本发明实施方案的人工晶状体和显微图的横截面。

图 2A 和 2B 表示本发明实施方案的多焦点人工晶状体和显微图的横截面。

图 3A 和 3B 表示本发明实施方案的透镜的干涉条纹。

图 4A、4B 和 4C 表示本发明实施方案的透镜的可逆多焦点性的实例。

图 5 是本发明实施方案制备的透镜的实例。

发明详述

本发明的光学元件能够在制备后改变其光学性质。该元件是独立的，并不需要添加或除去物质来改变光学性质。相反，将光学元件的一部分或多部分暴露于外部刺激之下，引发元件内 MC 的聚合，从而改变光学性质。

接下来, MC 的聚合引起光学性质的变化。

本发明光学元件具有分散在其中的 MC。这种 MC 能在元件中扩散; 能通过暴露于合适的外部刺激下容易地发生聚合; 与制备光学元件的物质相容。

光学元件一般由第一聚合物母体形成。合适的第一聚合物母体的示例包括: 聚丙烯酸酯类如聚丙烯酸烷基酯和聚丙烯酸羟基烷基酯; 聚甲基丙烯酸酯类如聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)、聚甲基丙烯酸羟乙酯 (HEMA) 和聚甲基丙烯酸羟丙酯 (HPMA); 聚乙烯类如聚苯乙烯和聚乙烯基吡咯烷酮 (PNVP); 聚硅氧烷类如聚二甲基硅氧烷; 聚磷腈类和它们的共聚物。美国专利 4260725 以及本申请中引用的专利和参考 (在此全部引入作为参考) 提供了合适聚合物的更具体实例, 这些聚合物可用于形成第一聚合物母体。

在优选的实施方案中, 挠性(flexibility)是所需的, 其中第一聚合物母体通常具有相对低的玻璃化转变温度 (T_g), 以使最终得到的 IOL 易于具有象液体的和/或高弹性(elastomeric)的行为, 其一般可以由一种或多种聚合起始材料交联形成, 其中每种聚合起始材料均包括至少一个可交联的基团。在是人工晶状体的情况下, T_g 应当低于 25°C 。这允许折叠透镜, 使其易于植入体内。如果刚性是必须的, T_g 通常大于 25°C 。

合适的可交联的基团的示例包括但不限于氢化物、乙酰氧基、烷氧基、氨基、酸酐、芳氧基、羧基、烯氧基(enoxyl)、环氧基、卤化物、异氰基、链烯基(olefinic)和噁星(oxirane)。更优选的实施方案中, 这些聚合起始材料包括末端单体(terminal monomer) (也指作封端的单体), 该单体可以是与构成聚合起始材料的一种或多种单体相同或不同的, 但包括至少一个可交联的基团。换句话说, 末端单体是聚合起始材料的开头和结尾, 并且包括至少一个可交联的基团作为其结构的一部分。无须更多实践, 本发明聚合起始材料的交联机制优选不同于构成折光调节组合物(refraction modulating composition)的组分的交联机制, 即刺激引发的聚合(stimulus-induced polymerization)机制。例如, 如果折光调节组合物通过光致聚合而聚合, 则聚合起始材料优选具有可交联的基团, 它们由光致聚合机制之外的任何机制来聚合。

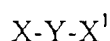
用于形成第一聚合物母体的, 特别优选的聚合起始材料为用下述末端

单体封端的聚硅氧烷（也称为硅酮(silicone)），该单体包括选自乙酰氧基、氨基、烷氧基、卤化物、羟基和巯基中的可交联的基团。因为硅酮 IOL 倾向于具有挠性和可折叠，在 IOL 植入过程中通常可以用更小的切口。特别优选的聚合起始材料的实例是用乙烯基封端的二甲基硅氧烷二苯基硅氧烷共聚物、硅酮树脂和硅烷交联剂，通过交联经铂催化剂加聚形成的硅酮母体得到。其他这样的实例可以在 US5236970、US5376694、US5278258、US5444106 和其他相似描述中找到。

在制造 IOL 中使用的 MC 就如上所述，另外它还需要有生物相容性。MC 能进行刺激引发的聚合，并且可以是单组分或多组分的，条件是：（1）它与形成的第一聚合物母体(polymer matrix)相容；（2）它保留了在第一聚合物母体形成之后刺激引发的聚合的能力；和（3）它能在第一聚合物母体中自由地扩散。通常，与形成第一聚合物母体相同类型的单体可以用作为折光调节组合物的组分。但是，因为必须要求 MC 单体在第一聚合物母体中可扩散，MC 单体通常倾向于比第一聚合物母体小（如，更低的分子量）。除了所述的一种或多种单体以外，MC 可以包括其他组分如引发剂和感光剂，以便于第二种聚合物网络的形成。

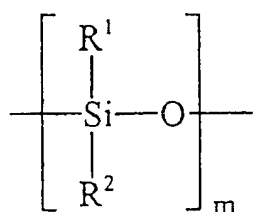
在优选的实施方案中，刺激引发的聚合为光致聚合。换句话说，构成折光调节组合物的一种或多种单体各自优选包括至少一个能光致聚合的基团。这些可光聚合基团的示例包括但不限于丙烯酸酯、烯丙氧基、肉桂酰基、甲基丙烯酸酯、芪基(stibenyl)和乙烯基。更优选的实施方案中，折光调节组合物只包括光引发剂（任何通常能产生自由基的化合物）或还存在感光剂。合适的光引发剂的实例包括乙酰苯类（如取代的卤代乙酰苯和二乙氧基乙酰苯）、2,4-二氯甲基-1,3,5-三嗪、苯偶姻甲基醚(benzoin methyl ether)和邻苯甲酰肟基酮。合适的感光剂的实例包括对-(二烷基氨基)芳醛、N-烷基二氢亚吲哚和二[对-(二烷基氨基)苯亚甲基]酮。

因为优选有挠性和可折叠的 IOL，特别优选的 MC 单体为末端硅氧烷部分封端的聚硅氧烷，所述的末端硅氧烷部分含有可聚合的基团。这种单体可以用下式来表示：

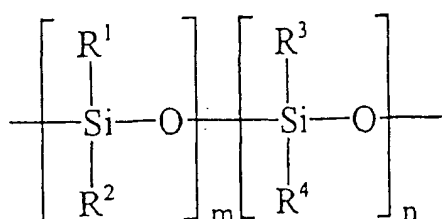


其中 Y 是硅氧烷，其可以是单体、任意数目硅氧烷单元形成的均聚物或共

聚物，X和X¹可以是相同或不同的、彼此独立的末端硅氧烷部分，所述的末端硅氧烷部分含有可光聚合的基团。Y的示例包括：

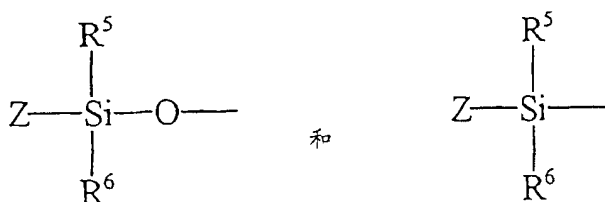


和



其中m和n是彼此独立的整数，并且R¹、R²、R³和R⁴彼此独立的是氢、烷基（伯、仲、叔、环）、芳基或杂芳基。在优选的实施方案中，R¹、R²、R³和R⁴为C₁-C₁₀烷基或苯基。因为发现具有较高芳基含量的MC单体在本发明透镜的折光率中产生更大的变化，通常优选R¹、R²、R³和R⁴中的至少之一是芳基，优选为苯基。在更优选的实施方案中，R¹、R²和R³相同并且为甲基、乙基或丙基，R⁴是苯基。

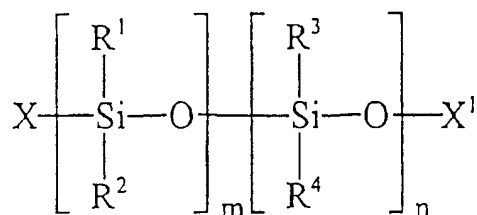
X和X¹的示例为（或者X¹和X，取决于如何藐视MC聚合物）：



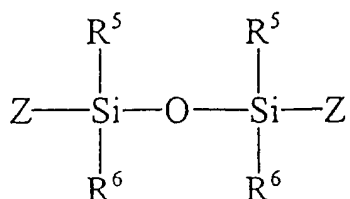
其中，R⁵和R⁶彼此独立的为氢、烷基、芳基或杂芳基；并且Z是可光聚合基团。

在优选的实施方案中，R⁵和R⁶彼此独立的为C₁-C₁₀烷基或苯基，Z是可光聚合基团，其包括选自由丙烯酸酯、烯丙氧基、肉桂酰、甲基丙烯酸酯、苄基和乙烯基的部分。在更优选的实施方案中，R⁵和R⁶是甲基、乙基或丙基，Z是包括丙烯酸酯或甲基丙烯酸酯部分的可光聚合基团。

在特别优选的实施方案中，MC 单体具有下述通式：

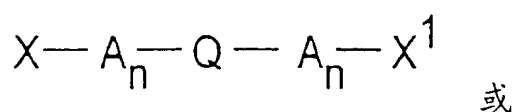


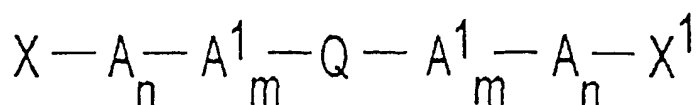
其中 X 和 X¹ 与之前定义 R¹、R²、R³ 和 R⁴ 范围时相同。这种 MC 单体的示例包括用乙烯基二甲基硅烷基团封端的二甲基硅氧烷-二苯基硅氧烷共聚物、用甲基丙烯酰氧丙基二甲基硅烷基团封端的二甲基硅氧烷-甲基苯基硅氧烷共聚物和用甲基丙烯酰氧丙基二甲基硅烷基团封端的二甲基硅氧烷。尽管可以使用任何合适的方法，但是已经发现在三氟甲磺酸(triflic acid)存在下对一种或多种环状硅氧烷进行开环操作是制备本发明的 MC 单体的特别有效的方法。简单来说，该方法包括在三氟甲磺酸存在下将环状硅氧烷和下式的化合物接触：



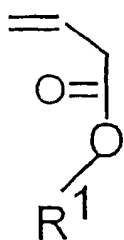
其中 R⁵ 和 R⁶ 以及 Z 如前面所定义。环状硅氧烷可以是环状硅氧烷单体、均聚物或共聚物。可选择的，可以使用多于一种环状硅氧烷。例如，在三氟甲磺酸存在下将环状二甲基硅氧烷四聚体和环状甲基苯基硅氧烷三聚体与双甲基丙烯酰氧丙基四甲基二硅氧烷接触，以形成用甲基丙烯酰氧丙基二甲基硅烷基团封端的二甲基硅氧烷-甲基苯基硅氧烷共聚物，一种特别优选的 MC 聚合物。

除了上述基于硅酮的 MC 以外，基于丙烯酸酯的 MC 也可以应用于本发明。本发明的基于丙烯酸酯的大分子单体具有如下的通式结构：



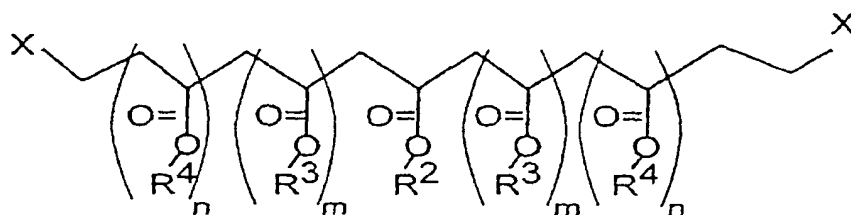


其中 Q 为丙烯酸酯部分，其能作为原子转移自由基聚合（Atom transfer Radical Polymerization, ATRP）的引发剂，A 和 A¹ 具有通式：



其中 R¹ 选自烷基、卤代烷基、芳基和卤代芳基，并且 X 和 X¹ 为包含可光聚合部分的基团，m 和 n 为整数。

在一个实施方案中，基于丙烯酸酯的 MC 具有下述通式：



其中 R² 为选自烷基和卤代烷基，R³ 和 R⁴ 是不同的，且选自烷基、卤代烷基、芳基和卤代芳基。

当光学元件形成时，它就被定位在所使用的地方。对于人工晶状体来说，这意味着能使用已知步骤将其植入眼内。一旦元件位于合适的位置并且允许它适应其周围环境，就可能通过将元件暴露于外部刺激中来改变元件的光学性质。

外部刺激的本性可以变化，但是它必须能减少 MC 的聚合而不对光学元件的性质有不利的影晌。本发明实践中使用的典型的外部刺激包括热和光，其中优选光。就人工晶状体来说，紫外或红外射线是优选的，其中紫外光最优选。

当将元件暴露于外部刺激下时，MC 聚合形成第二聚合物母体，该第二聚合物母体散布于第一聚合物母体中。当聚合局部化或只有部分 MC 聚合时，在透镜的反应和未反应区域之间存在化学势差。然后 MC 在元件内迁

移以在光学元件中重建热力学平衡。

第二聚合物母体的形成和 MC 的重新分布都会影响元件的光学性质。例如，第二聚合物母体的形成能引起元件折射率的变化。改性化合物的迁移会改变元件的整体形状，从而通过改变光学元件的曲率半径进一步影响其光学性质。

有可能在外部刺激下，局部化暴露光学元件，以在元件内生成具有不同光学性质的区域。在一个实施方案中，有可能生成人工晶状体，将其植入体内后，能将其转变称多焦点透镜。这是通过将透镜暴露于不同量的外部刺激下，以创造具有不同光学性质的区域来实现的。

对于多焦点人工晶状体来说，可使用不同的方法来制造该透镜。它的最简单的形式可以是“牛眼结构”，其包括在透镜中心 1-3mm 区域中的添加或移去区域(add or subtract zone)和并且生成的透镜基本度数在这个区域之外。这种透镜能分成独立区、交替区或重叠区。例如，独立区包括外部和内部区域。交替区的实例是菲涅耳(Fresnel)透镜。

重叠区在衍射型光学元件中特别有用，如全息照相、二位眼(binary optics)、开诺全息照片(knoform)和全息光学元件。

就人工晶状体来说，可以形成透镜、将其植入、然后在透镜中形成具有不同光学性质的不同区域。通过将透镜的不同区域暴露于不同强度和空间分布的外部刺激下，可以创造不同光学区域。例如，透镜体可以分成中心区域、近端的内部和外部环形区域和远端环形区域。在这个实施方案中，中心区域是圆形的，并且环形区域的外围是圆形的。环形区域限定中心区域，并且所述区域是连续的。区域和透镜体同心同轴。

所述区域用于描述透镜的视力矫正度数，它们是任意定义的。因此，区域的周长和区域的数量可以按需要选择。

下列实施例以举例的方式提出，但不打算以任何方式限制本发明的范围。

实施例 1

使用本领域熟练技术人员公知的标准模塑技术制造直径为 6mm 的人工晶状体，其含有基于硅酮的 MC。该透镜含有第一聚合物母体，所述的第一聚合物母体由硅烷交联乙烯基封端的二苯基硅氧烷二甲基硅氧烷制备。第

一聚合物母体约占透镜组成的 70wt%。透镜还包括约 30wt% 的 MC (甲基丙烯酸酯封端的聚二甲基硅氧烷)、1wt% (基于 MC) 的光引发剂 (苯偶姻-四硅氧烷-苯偶姻) 和 0.04wt% (基于 MC) UV 吸收剂。该透镜的起始标称度数为 30 屈光度(D)。然后用 365nm 的光照射该透镜的中心 60 秒, 该光的强度图形用下述方程式表示:

$$I = I_0 e^{-\frac{(r-r_c)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

且具有 4.12mW/cm^2 的平均强度。暴露后三小时, 透镜的中心 2.5mm 区域上有了 +3.25D 的变化, 如图 1A 中所示。在照射前(preirradiation)的最佳焦距位置获得干涉条纹。在光可调节的透镜(light adjustable lens, LAL)的中心部分容易观察到受影响的区域, 该区域的区别特征是在 IOL 的中心部分约有 6 个散焦条纹 (在双光路(double pass)中)。图 1B 表示图 1A 的显微图。

另一实施方案中, 第一聚合物母体约占透镜组成的 75wt%。该透镜还包括约 25wt% 的 MC (甲基丙烯酸酯封端的甲基苯基硅氧烷二甲基硅氧烷)、0.83wt% (基于 MC) 的光引发剂 (苯偶姻-L4-苯偶姻) 和 0.04wt% (基于 MC) 的 UV 吸收剂。透镜的初始标称度数为 +20.0 屈光度。然后用 356nm($\pm 5\text{nm}$)的光照射该透镜, 该光的空间强度分布用下列方程式表示:

$$I = I_0 \left(0.65 \frac{r^2}{r_{\max}^2} + 0.35 \right) \quad (2).$$

用平均强度为 6mW/cm^2 的光照射该 IOL 3 次, 每次暴露 15s, 每次暴露之间间隔 5s。图 2A 和 2B 表示了照射前和照射后 24 小时的透镜干涉条纹 (在双光路中)。图 2A 表示了照射前, 在最佳焦距上的 +20.0D LAL 的 Fizeau 干涉条纹 (在双光路中), 以及照射后 24 小时在原先最佳焦距位置的同样 LAL 的干涉条纹。图 2B 表示了图 2A 的 LAL。两个干涉图之间最惊人的特征是在透镜中心部分存在 3mm 的反应区, 这是来自散焦的介入。这个变化相应地使该中心区域改变了 -0.70 屈光度。

这两个实施例说明了我们可以增加和减少透镜中心部分的度数, 也能控制有效区域的尺寸。

这两个多焦点设计和上述“牛眼”设计相似。该设计与现有的文献和

其他专利中已有的那些设计的区别在于：能够对于手术后伤口愈合的变化起影响作用，定制该区域的尺寸以适应患者扩张的情况，根据患者或医生的建议增加或减少不同的度数，以及手术后愈合完成后，使该区域沿着患者视轴线的中心方向。

实施例 2

上述技术的一个独特方面是首先能够在 IOL 的大部分光圈(aperture)上改变其度数，然后再照射透镜的一个小区域(0-3mm)来形成如实施例 1 中所述的双焦点透镜。这个实施方案的优点是首先将光可调节的透镜植入患者体内，等待所需的愈合时间让眼睛的折射性稳定下来(一般为 2-4 周)，测量患者眼睛的折光率来决定必要的矫正，若需矫正，要使患者屈光正常，照射该透镜，以在大部分光圈上改变透镜的度数，然后沿患者眼睛的视轴线方向再照射透镜的更小区域(1.5-3mm)以提供远近视野必要的多焦点性。

这样的实例有，模塑+20.0D LAL，其包括 75wt%的硅酮基体、25wt%的 MC、0.83wt%的 PI 和 0.04wt%的 UV 吸收剂。首先用平均强度为 $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 的光照射该透镜，该光使用上述方程式 2 所述的空间分布。暴露该透镜 7 次，每次暴露 15s(每次暴露间间隔 5s)。这样的处理使得透镜在光圈的 5.5 区域内改变了-1.32 屈光度。24 小时的照射后，用方程式 1 表示的强度分布的光再照射透镜的中心部分。光束尺寸减少到直径 3mm，光的平均强度为 $6\text{mW}/\text{cm}^2$ ，照射 3 次，每次 30s。照射后 24 小时，观察到中心区域改变了 1.94 屈光度。

图 3A 表示照射前最佳焦距的+20.0D LAL 的 Fizeau 干涉条纹(在双光路中)。图 3B 表示通过最初照射引入的约 8 个散焦条纹(在双光路中)。这一步骤使得最初基本度数+20.0 屈光度上改变了-1.32 度。图 3C 表示了最初照射后 24 小时，在最佳焦距位置的同样 LAL 的干涉条纹。注意在该透镜中心部分存在新的聚焦区域。该区域对应改变了+1.94 度。

实施例 3

在过去，临床使用的双焦或多焦 IOL 受到患者的某些抵触，这是因为该种类型的透镜设计其内在决定了对比灵敏度的缺失和眩光。过去，对医生而言，逆转先前植入的多焦点或双焦点 IOL 不良效果的唯一方法就是：

移出 IOL 并重新植入标准单焦点的 IOL。但是，此处披露的光可调节的透镜技术和先前 Calhoun Vision 出版作品提供了一种逆转 LAL 多焦点性的方法，从而有效地使其恢复至单焦点的状况。这就可以实现无手术移出的逆转，具有明显的优势。

作为该方法的实例，模塑+20.0D 的 LAL，其包括 75wt% 的硅酮母体、25wt% 的 MC、0.83wt% 的 PI 和 0.04wt% 的 UV 吸收剂。预照射的 Fizeau 干涉条纹示于图 4A 中。然后用强度为 $6\text{mW}/\text{cm}^2$ 的光连续照射 LAL 两次，每次暴露 30s。初始照射的空间强度分布如方程式 2 所描述。如图 4B 所示，该透镜中心的光学区域减少了 -0.5D。初始照射后 24 小时，用强度为 $3\text{mW}/\text{cm}^2$ 的光连续照射 LAL 两次，每次暴露 30s。第二次照射有效地覆盖了起始照射的顶部。第二次照射的空间强度分布如方程式 1 所描述。第二次照射使起始照射区域增加了 +0.5D，有效地抵消了 LAL 起始度数的减少，并且在 Calhoun Vision LAL 中显示了多焦点可逆性的实例。

图 4A、4B 和 4C 表示了可逆多焦点的实例。图 4A 表示照射前在最佳焦距处 +20.0D LAL 的 Fizeau 干涉条纹。图 4B 表示在起始照射 24 小时后，在最佳焦距处的 Fizeau 干涉条纹。注意 LAL 中心部分的球面度数减少了 -0.5 度，如 LAL 中心部分的散焦条纹所示的。图 4C 表示第二次照射 2 小时后在照射前最佳焦距位置的 Fizeau 干涉条纹，显示了散焦条纹的消失。这表明 LAL 有效地回复到照射前的度数。

图 5 表示根据本发明实施方案形成的透镜 500 的实例。该透镜包括了多个不同的聚焦区域：501、502、503、504、505 和 506。注意这些区域的数字只是以举例的方式给出，更多或更少的区域也能使用。这些不同区域优选与中心区域 501 同中心。不同区域可以有不同的半径宽度，例如区域 504 比区域 503 的半径宽度小。相似的，不同区域可以有不同的面积，例如，区域 501 的面积小于区域 503。可选择的，某些或全部区域可以与其他区域具有相同的半径宽度和/或面积。每个区域可以与其他区域的焦长或屈光度不同，例如区域 502 可以比区域 501 高 +1.0 度，区域 503 可以比区域 502 高 +1.0 度等。可选择的，某些区域可以有相同的度数，而其他区域则有不同的度数。例如，区域 501、503 和 505 可以有相同的度数，而区域 502、504 和 506 可以比区域 501 高 +1.0 度。在另一个实例中，区域 501、503 和 505 可以有相同的度数，而区域 502 可以比区域 501 高 +1.0 度，区域 504 可

以比区域 502 高+1.0 度，并且区域 506 可以比区域 504 高+1.0 度。注意相比其他区域，某些区域可以有负的屈光度。进一步注意不同的区域可以用作近视矫正，而其他区域用作远视矫正。不同区域可以不是“牛眼”模式，例如用于矫正散光的圆柱模式(cylindrical pattern)。任何模式的区域都可以形成透镜。透镜 501 可以是镜片透镜、光学系统用透镜或人工晶状体。注意所述透镜仅以举例方式列举，也可以使用其他光学元件。

尽管已经详细描述了本发明及其优点，但应当理解，在不偏离本发明权利要求所限定的精神和范围的情况下，可以作出不同的改变、代替和变换。此外，本申请的范围不打算限于说明书中描述的过程、机器、制造、组合物材料、方式、方法和步骤的特定实施方案。因为本领域的普通技术人员将容易从本发明、过程、机器、制造、组合物材料、方式、方法或步骤所披露内容中得到理解，所以根据本发明可以利用目前已经存在或以后将要发展的内容，它们与此处所述的相应实施方案执行基本相同的功能或实现基本相同的结果。因此，本发明的权利要求旨在包括在这些范围之内，例如过程、机器、制造、组合物材料、方式、方法或步骤。

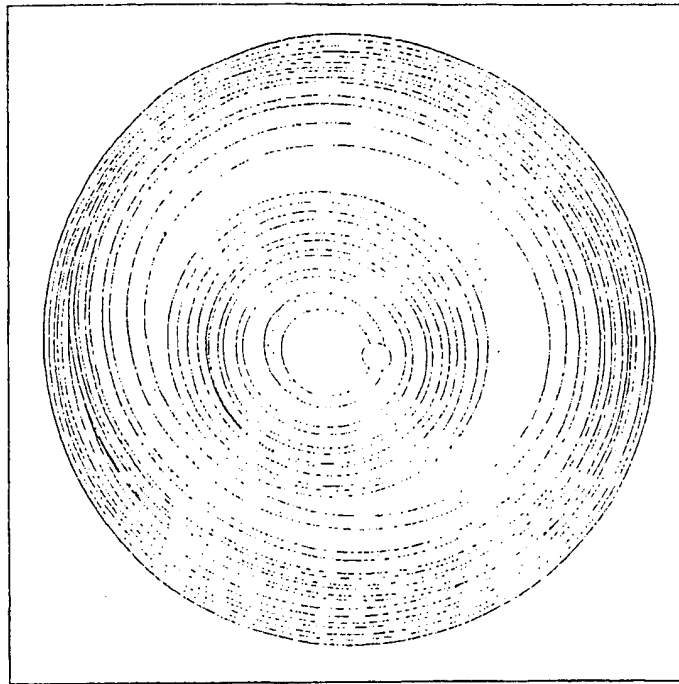


图 1A

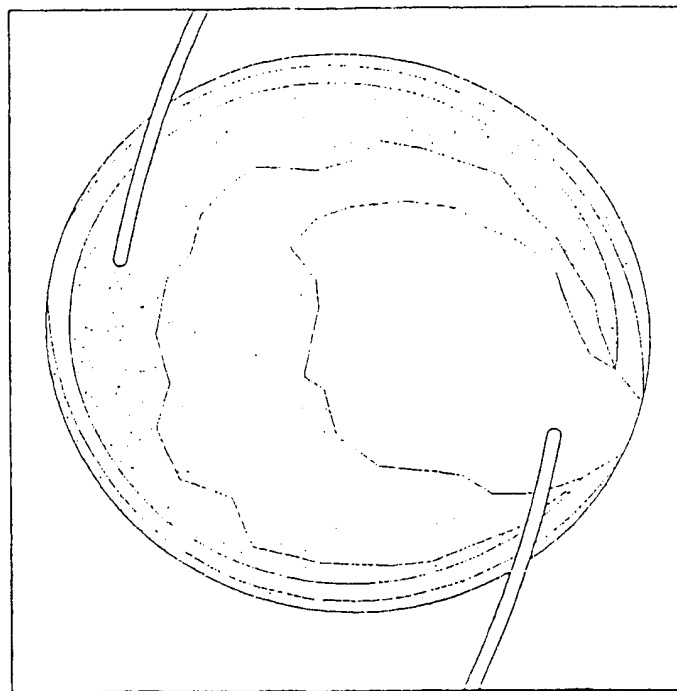


图 1B

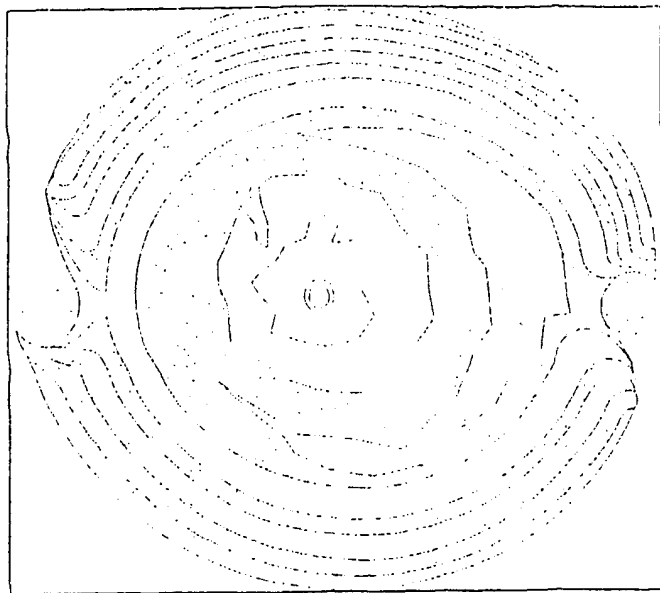


图 2A

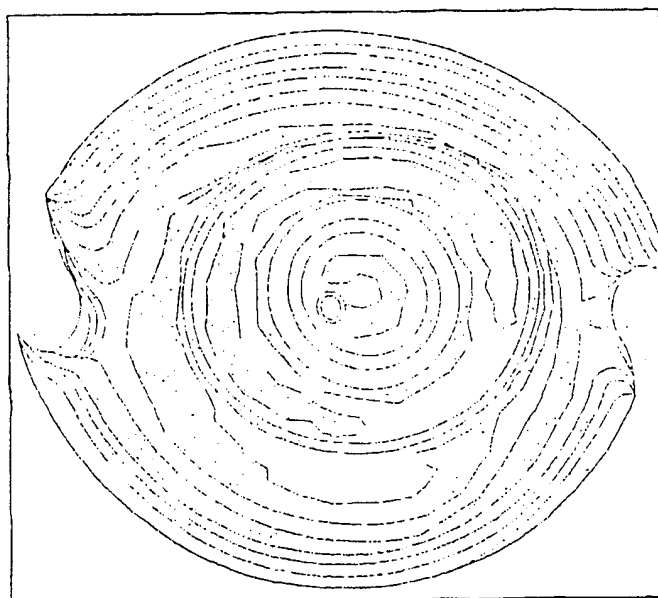


图 2B

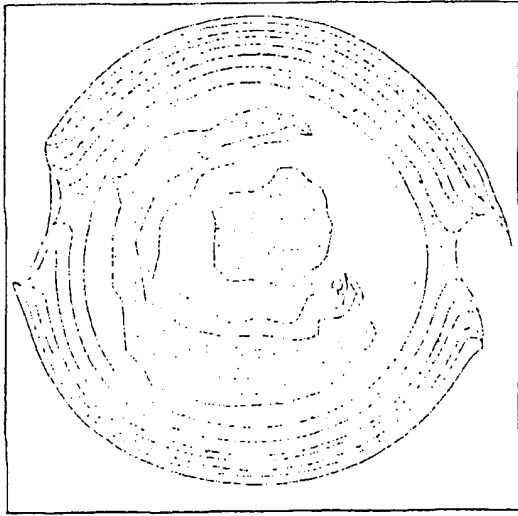


图 3A

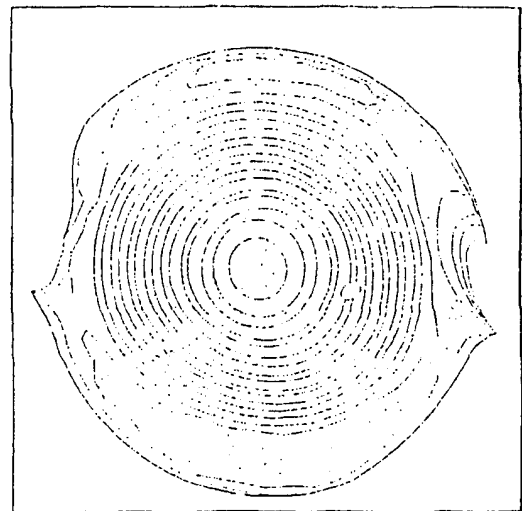


图 3B

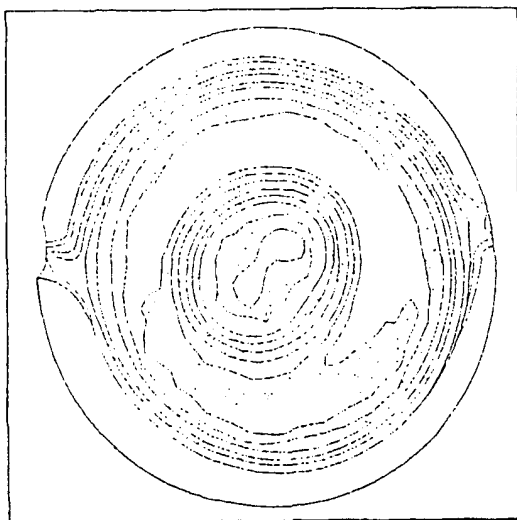


图 3C

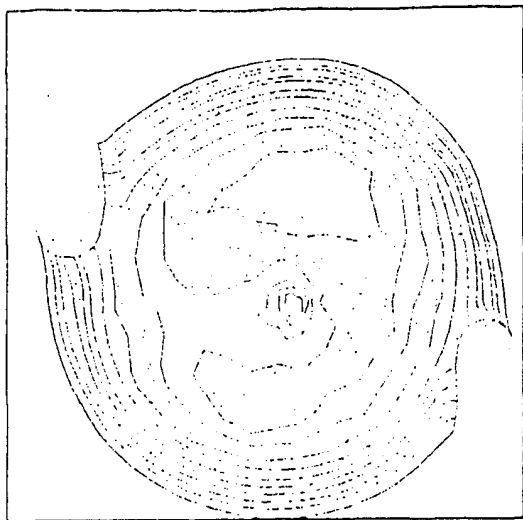


图 4A

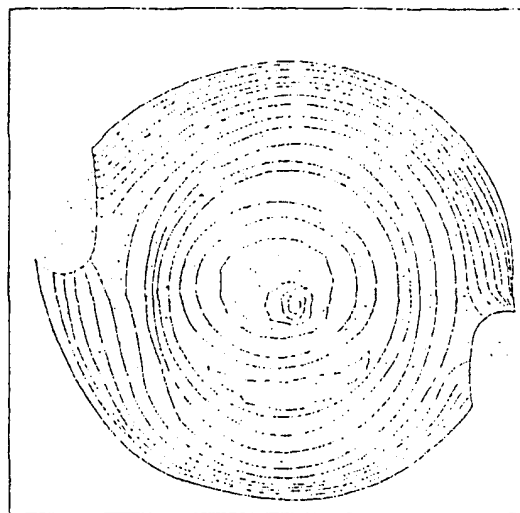


图 4B

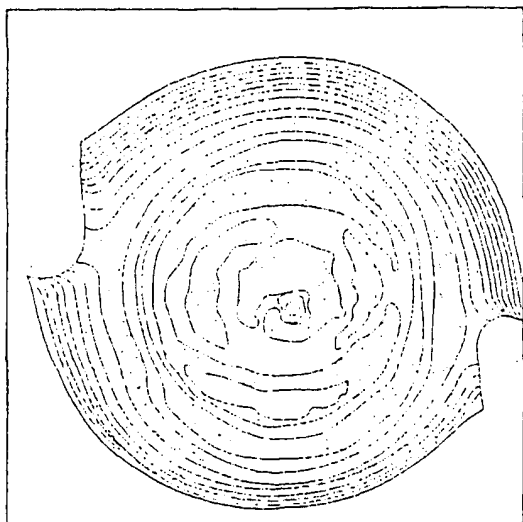


图 4C

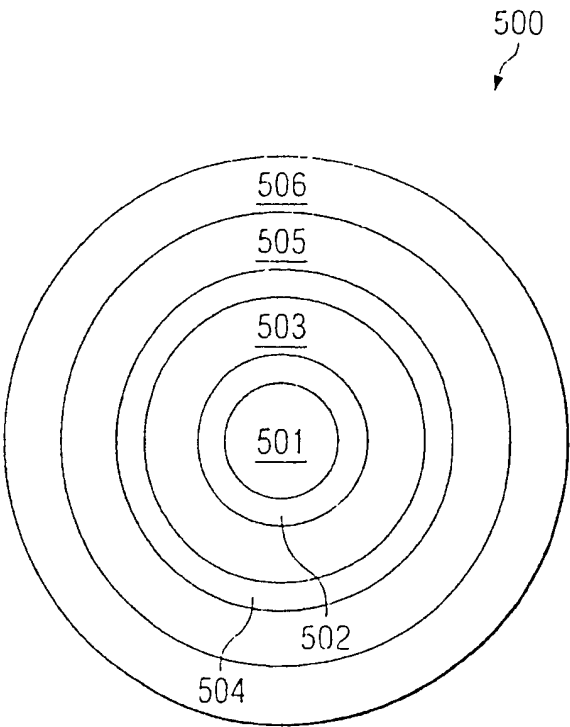


图 5