

发明名称: 镜片制造方法及系统、渐进镜片、修复方法

技术领域

[0001] 本发明涉及镜片制造技术领域，具体地，涉及一种镜片制造方法及系统、渐进镜片、修复方法。

背景技术

[0002] 渐进镜片（progressive lens）是一个多焦点镜片，顾名思义一只镜片上有多个焦点。通过多焦点设计来满足配戴者在不同用眼距离（近→中→远）、不同用眼环境时的视觉需求。因其能够提供无缝过渡的视觉体验，从近距离到远距离均能清晰聚焦，而受到广泛的欢迎。专利文献CN113334649A公开了一种全视野的弧形渐进镜片的机器制作方法，包括：第一步骤：将研磨的圆心固定于模仁之外，使得辅助的副模仁与原母模仁贴合；第二步骤：依此加大半径的副模仁进行画圆方式研磨出需要的弯度，研磨范围包括原母模仁；第三步骤：以副模仁圆心为中心点，以副模仁的半径范围进行研磨雕刻。

[0003] 然而，这类传统的渐进镜片制造工艺面临着多种局限性，这些局限性主要表现在以下几个方面：

[0004] 1. 加工精度限制：

[0005] 传统的渐进镜片主要通过机械磨削和抛光过程制造，这些方法难以实现微米级别或纳米级别的加工精度。因此，镜片在高度精细的光学性能调控上存在限制，尤其是在实现复杂的折射率分布上。

[0006] 2. 折射率过渡不平滑：

[0007] 由于加工技术的限制，传统渐进镜片在不同视区之间的折射率变化往往不够平滑，导致用户在从近距离视物转换到远距离视物时，可能会感受到视觉的突变或不适。

[0008] 3. 设计与制造的灵活性不足：

- [0009] 传统工艺在设计与制造渐进镜片时，往往受到物理磨削工艺的限制，这限制了镜片设计的自由度和创新性。特别是对于需要个性化设计的渐进镜片，现有技术很难在成本和效率上满足需求。
- [0010] 4. 材料利用率低和成本问题：
- [0011] 机械磨削和抛光不仅加工时间长，而且材料损耗大，尤其是在制造高折射率材料的镜片时，成本相对较高。此外，这种加工方法还涉及到环境污染等问题。
- [0012] 5. 用户定制化需求难以满足：
- [0013] 随着用户对视觉质量要求的提高，对镜片个性化设计的需求日益增加。然而，传统工艺在满足用户定制化需求方面存在局限，特别是在精确调整镜片光学性能以适应特定视力状况方面。
- [0014] 发明内容
- [0015] 针对现有技术中的缺陷，本发明的目的是提供一种镜片制造方法及系统、渐进镜片、检测系统、修复方法。
- [0016] 根据本发明提供一种镜片制造方法，包括：
- [0017] 在镜片基材上涂布光刻胶；
- [0018] 通过激光系统发出的激光与所述光刻胶的光聚合反应，将预设的微纳结构光刻在所述镜片基材上，得到具有预设布局方式的微纳结构的镜片，所述镜片通过预设布局方式的微纳结构实现所需的折射率分布。
- [0019] 进一步地，所述光刻胶为具有双光子吸收特性的光刻胶，所述光刻为双光子光刻；
- [0020] 所述光刻胶的折射率在1.5至1.9之间；
- [0021] 所述光刻胶涂布的厚度大于等于100nm；
- [0022] 涂布光刻胶的方式包括：旋涂、滴涂或喷涂。
- [0023] 进一步地，在涂布光刻胶之前还包括：对所述镜片基材的表面进行前处理，所述前处理包括：清洁、去油脂或表面活化；
- [0024] 在涂布光刻胶之后还包括：对涂布的光刻胶进行预固化，所述预固化的方式包括热处理，使光刻胶挥发，挥发量小于等于40%；

- [0025] 光刻之后还包括：对所述镜片基材的表面进行后处理，所述后处理包括：去除所述镜片基材上剩余的光刻胶、增加抗反射涂层、增加防水涂层或者光学性能检测。
- [0026] 进一步地，所述微纳结构的最小特征尺寸为50纳米；
- [0027] 通过分别涂布不同折射率的光刻胶进行光聚合反应，在同一所述镜片基材上得到至少两种光学性能的微纳结构。
- [0028] 根据本发明提供的一种渐进镜片，包括镜片以及通过光聚合反应成型在所述镜片上的微纳结构，通过预设布局方式的微纳结构实现所需的折射率分布。
- [0029] 进一步地，所述微纳结构包括光学波导或光学天线；
- [0030] 所述微纳结构被设计用于调制通过所述镜片的光的偏振状态，以提供偏振调制功能；或者，所述微纳结构被设计用于实现镜片的温度响应功能，通过改变镜片内部的温度敏感材料的状态，以调节镜片的光学性能。
- [0031] 进一步地，所述渐进镜片的表面具有防刮涂层、防紫外线涂层、防蓝光涂层、超疏水涂层或超疏油涂层。
- [0032] 进一步地，所述微纳结构的最小特征尺寸为50纳米；
- [0033] 所述镜片具有一种或多种光学性能的微纳结构。
- [0034] 根据本发明提供的一种镜片的制造系统，包括：飞秒激光器、聚焦光学系统、三维移动平台和光刻胶送料装置，以及用于设计和仿真微纳结构的软件；
- [0035] 所述三维移动平台被配置为装载、移动镜片基材以及驱动镜片基材旋转；
- [0036] 所述光刻胶送料装置被配置为向所述镜片基材涂布光刻胶；
- [0037] 所述飞秒激光器被配置为根据所述软件提供的微纳结构图案，对涂布光刻胶后的镜片基材进行光刻，在所述镜片基材上得到对应所述微纳结构图案的微纳结构，通过微纳结构实现所需的折射率分布；
- [0038] 所述聚焦光学系统被配置为对所述飞秒激光器发出的激光进行扫描速度和焦距的控制。
- [0039] 根据本发明提供的一种镜片的修复方法，包括使用所述的镜片制造方法，对镜片上受损的微纳结构进行局部修复。
- [0040] 与现有技术相比，本发明具有如下的有益效果：

- [0041] 1. 精确的光学性能调控：本发明使得在渐进镜片内部形成的微纳结构能够精确到纳米级别，这种精细的控制水平使得折射率的调整更加精确，从而极大地提高了镜片的光学性能。用户在使用这些镜片时，可以体验到从近处到远处的平滑视觉过渡，减少了因折射率突变导致的视觉不适。
- [0042] 2. 提高视觉质量：通过精细控制镜片内部结构，可以有效减少视觉失真和像散，尤其是在渐进镜片的过渡区域。这意味着用户在切换视距时，可以获得更清晰、更稳定的视觉体验，提升了渐进镜片的整体视觉质量。
- [0043] 3. 高度定制化的设计能力：利用双光子微纳加工技术，可以根据用户的具体视力需求和使用习惯，定制个性化的渐进镜片。这种高度定制化的能力使得每位用户都能拥有最适合自己的渐进镜片，无论是对特定工作环境的适应性还是日常生活的舒适度，都能得到显著改善。
- [0044] 4. 扩展的镜片功能性：本发明不仅优化了镜片的光学性能，还通过选择具有特定功能的光刻胶材料，增加了镜片的附加功能，如UV防护、蓝光过滤等。这些功能性的扩展，进一步提升了渐进镜片的实用价值和用户的使用体验。
- [0045] 5. 环保和成本效益：相比传统的物理磨削和抛光方法，双光子微纳加工技术的应用大幅降低了材料浪费和生产成本。同时，这种干法加工过程减少了化学废料的产生，对环境友好，符合绿色制造的理念。
- [0046] 6. 增强的耐用性和稳定性：双光子微纳加工技术能够在镜片内部形成稳定的微纳结构，这些结构对温度变化和物理磨损具有较高的抵抗力。因此，采用此技术制造的渐进镜片相较传统镜片而言，可能拥有更长的使用寿命和更好的耐用性。
- [0047] 7. 改进的抗反射和防雾性能：通过设计特定的微纳结构，可以在镜片表面形成高效的抗反射层，减少光线散射和反射，从而提高透光率和清晰度。此外，这些结构还可以帮助控制水分的凝聚，从而具有防雾效果。
- [0048] 8. 快速响应的制造过程：相较于传统制造过程，双光子微纳加工技术可以实现从设计到成品的快速转换，缩短产品开发周期。这一特点尤其适合于需要快速迭代和个性化生产的场景。

[0049] 9. 无需昂贵的模具和设备：与依赖特定模具的传统镜片生产方式不同，双光子微纳加工技术的灵活性使得在不同设计间切换无需额外的模具或设备改动，从而降低了生产成本和提高了制造效率。

[0050] 10. 多功能一体化设计：利用双光子微纳加工技术，可以在单片镜片中集成多种功能，如调焦、滤光、自我修复等，实现一镜多用的创新产品设计，满足现代消费者对高科技眼镜的需求。

[0051] 附图说明

[0052] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述，本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显：

[0053] 图1为本发明的工作流程图。

[0054] 具体实施方式

[0055] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明，但不以任何形式限制本发明。应当指出的是，对本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变化和改进。这些都属于本发明的保护范围。

实施例

[0056] 如图1所示，本发明提供一种镜片制造方法，包括：

[0057] 设计与仿真：使用光学设计软件，根据需求设计渐进镜片的初步结构，确保镜片设计能够满足从近距离到远距离的无缝视觉过渡。通过计算机仿真技术模拟光通过镜片的传播路径，确保设计的微纳结构能够达到预期的折射率梯度和光学效果。对于微纳结构，可以详细定义每个微纳结构的长度、宽度、高度和间距等参数。在设计过程中，充分考虑镜片的整体形状和尺寸，确保微纳结构与镜片的适配性。通过仿真后，将设计文件转化为激光系统能够识别的扫描路径文件。通过双光子微纳加工技术，实现最小50纳米的加工精度，精确控制镜片内部的光学结构，优化光线传播路径。镜片基材可以是一面为凹面一面为凸面的结构，微纳结构可以设置于凹面，也可以设置于凸面，甚至同时设置于凹面和凸面。

- [0058] 微纳结构的结构包括微柱阵列结构、渐变微透镜结构。在镜片看远区域，可设计高度和直径相对固定的微柱阵列，通过调整微柱的材料折射率以及排列密度，来实现该区域所需的相对稳定的屈光力。在过渡区和看近区域，采用渐变微透镜结构。微透镜的曲率半径从看远区域到看近区域逐渐减小，以实现屈光力的平滑过渡。例如，每个微透镜的直径可控制在15 – 25微米，通过调整微透镜的高度和曲率，精确控制光线的折射角度，满足不同距离的视力矫正需求。例如，在过渡区起始位置，微透镜高度为12微米，曲率半径为30微米；在看近区域，微透镜高度增加到18微米，曲率半径减小到20微米。
- [0059] 微纳结构的分布包括轴向分布和径向分布。沿镜片的垂直方向（从镜片顶部到底部），根据预先模拟的折射率分布模型，对微纳结构进行轴向分布设计。在看远区域，微纳结构保持均匀分布；进入过渡区，微纳结构的尺寸和排列密度按照一定的渐变函数进行变化，如采用线性渐变或S形渐变函数，确保屈光力的平滑过渡；在看近区域，根据近距离视力矫正需求，确定微纳结构的最终分布状态。考虑到镜片在实际使用中，人眼视线并非总是垂直向下，还存在一定的水平和倾斜方向的移动。因此，在径向方向（以镜片中心为圆心的水平方向），对微纳结构进行合理分布设计。在镜片中心区域，微纳结构的分布相对密集且均匀，以保证中心视力的清晰度；向边缘区域逐渐稀疏，同时微调微纳结构的形状和尺寸，补偿因边缘折射导致的像差，确保在整个镜片可视范围内都能提供良好的视觉效果。
- [0060] 前处理：对镜片基材的表面进行前处理，前处理包括：清洁、去油脂或表面活化。例如，可先通过无水乙醇清洗镜片基材，去除表面肉眼可见的灰尘、颗粒等杂质。再将镜片基材放入装有丙酮溶液的超声波清洗机中，丙酮作为一种常用的有机溶剂，对油脂具有良好的溶解能力。设置超声波清洗机的功率为50–100瓦，频率在40–60千赫兹，清洗时间为10–15分钟。在超声波的作用下，丙酮能够更深入地渗透到镜片表面的微小缝隙和孔洞中，将油脂彻底溶解并剥离。清洗完成后，取出镜片基材，用去离子水冲洗3–5次，以去除残留的丙酮溶液。最后，配置浓度为5%–10%的氢氧化钠（NaOH）溶液，将冲洗后的镜片浸泡其中。NaOH溶液可以与镜片表面的分子发生化学反应，使表面产生更多的活性基

团，增强光刻胶与镜片的粘附力。浸泡时间控制在5–10分钟，之后再次用大量去离子水冲洗镜片，确保表面残留的NaOH溶液被完全清除。最后，将镜片放置在洁净的环境中风干或用氮气吹干。经过这一系列的清洁、去油脂和表面活化处理后，再进行后续的光刻胶涂覆步骤，可有效提高光刻质量和微纳结构的稳定性。

[0061] 涂布光刻胶：在镜片基材上涂布光刻胶，涂布光刻胶的方式不限于旋涂、滴涂或喷涂，光刻胶涂布的厚度大于等于100nm。在光刻胶的选择上，采用具有双光子吸收特性的光刻胶，光刻胶的折射率在1.5至1.9之间，以满足不同光学设计的需求。该范围的折射率可覆盖大多数视觉应用，为镜片提供了更广泛的设计空间。以旋涂为例，控制旋涂机的转速在1000–3000转/分钟，时间为30–60秒。在涂布光刻胶之后还包括对涂布的光刻胶进行预固化，预固化的方式包括热处理，使光刻胶挥发，挥发量小于等于40%。

[0062] 双光子聚合：激光系统根据扫描路径文件，使发出的激光与光刻胶的光聚合反应，将预设的微纳结构光刻在镜片基材上，得到具有预设布局方式的微纳结构的镜片，镜片通过预设布局方式的微纳结构实现所需的折射率分布。具体的，将涂布好光刻胶的镜片放置在双光子光刻系统的高精度工作台上，利用光学定位系统对镜片进行精确的定位和对准。通过调整工作台的位置，确保镜片的加工区域位于激光束的有效扫描范围内，并且镜片的中心与扫描坐标系的原点重合。根据预先设计好的微纳结构布局，在光刻系统的控制软件中输入相应的扫描参数，包括扫描速度、扫描路径、激光能量等。例如，扫描速度一般控制在1–10毫米/秒之间，以保证光刻胶有足够的时间吸收双光子并发生光聚合反应。在扫描过程中，实时监测激光的能量和光斑大小，确保其稳定性。对于复杂的微纳结构，采用分层扫描和螺旋扫描相结合的方式，先进行粗扫描确定大致轮廓，再进行精细扫描以提高结构的精度和表面质量。

[0063] 光刻之后还包括：对镜片基材的表面进行后处理，后处理包括：去除镜片基材上剩余的光刻胶、增加抗反射涂层、增加防水涂层或者光学性能检测。例如，光刻完成后，将镜片放入显影液中去去除未发生光聚合反应的光刻胶。选用与光刻胶匹配的显影液，如对于常见的正性光刻胶，可选用四甲基氢氧化铵（TMA

H) 显影液, 按照1:4的比例与去离子水稀释。将镜片浸泡在显影液中3-5分钟, 同时进行超声波振荡, 频率为40-60千赫兹, 以加速显影过程, 确保光刻胶完全去除干净, 避免残留对镜片光学性能产生影响。显影后, 用去离子水对镜片进行多次冲洗, 去除表面残留的显影液和杂质。然后将镜片放入异丙醇溶液中浸泡1-2分钟, 进行脱水处理。最后, 采用氮气吹干或真空干燥的方式, 将镜片干燥, 确保镜片表面无水分残留, 避免产生水渍或氧化现象。利用高精度的光学检测设备, 如原子力显微镜 (AFM)、扫描电子显微镜 (SEM) 等, 对光刻后的微纳结构进行微观形貌检测, 检查微纳结构的尺寸精度、形状完整性和表面粗糙度等。同时, 使用干涉仪测量镜片的面形精度, 用焦度计测量镜片不同区域的屈光力, 将检测结果与设计值进行对比分析。如果发现微纳结构存在尺寸偏差、表面缺陷或镜片的光学性能不符合要求, 通过调整光刻参数或进行二次光刻等方式进行优化, 确保镜片的质量满足设计要求。

[0064] 在本发明中, 同一镜片上的微纳结构可以是相同的或者不同的光学性能。要获得不同光学性能的微纳结构, 可以通过分别涂布不同折射率的光刻胶进行光聚合反应, 在同一镜片基材上得到至少两种光学性能的微纳结构。

[0065] 实施例2

[0066] 一种渐进镜片, 可以采用实施例1的方法制备得到, 包括镜片以及通过光聚合反应成型在所述镜片上的微纳结构, 通过预设布局方式的微纳结构实现所需的折射率分布, 以提供渐进的视觉效果。镜片具有一种或多种光学性能的微纳结构, 对于微纳结构, 可以详细定义每个微纳结构的长度、宽度、高度和间距等参数。在设计过程中, 充分考虑镜片的整体形状和尺寸, 确保微纳结构与镜片的适配性。通过仿真后, 将设计文件转化为激光系统能够识别的扫描路径文件。通过双光子微纳加工技术, 实现最小50纳米的加工精度, 精确控制镜片内部的光学结构, 优化光线传播路径。

[0067] 微纳结构的结构包括微柱阵列结构、渐变微透镜结构。在镜片看远区域, 可设计高度和直径相对固定的微柱阵列, 通过调整微柱的材料折射率以及排列密度, 来实现该区域所需的相对稳定的屈光力。在过渡区和看近区域, 采用渐变微透镜结构。微透镜的曲率半径从看远区域到看近区域逐渐减小, 以实现屈光

力的平滑过渡。通过调整微透镜的高度和曲率，精确控制光线的折射角度，满足不同距离的视力矫正需求。

- [0068] 微纳结构的分布包括轴向分布和径向分布。沿镜片的垂直方向（从镜片顶部到底部），根据预先模拟的折射率分布模型，对微纳结构进行轴向分布设计。在看远区域，微纳结构保持均匀分布；进入过渡区，微纳结构的尺寸和排列密度按照一定的渐变函数进行变化，如采用线性渐变或S形渐变函数，确保屈光力的平滑过渡；在看近区域，根据近距离视力矫正需求，确定微纳结构的最终分布状态。考虑到镜片在实际使用中，人眼视线并非总是垂直向下，还存在一定的水平和倾斜方向的移动。因此，在径向方向（以镜片中心为圆心的水平方向），对微纳结构进行合理分布设计。在镜片中心区域，微纳结构的分布相对密集且均匀，以保证中心视力的清晰度；向边缘区域逐渐稀疏，同时微调微纳结构的形状和尺寸，补偿因边缘折射导致的像差，确保在整个镜片可视范围内都能提供良好的视觉效果。渐进镜片的表面具有防刮涂层、防紫外线涂层、防蓝光涂层、超疏水涂层或超疏油涂层。镜片表面可以通过双光子微纳加工技术集成有用于数据存储或身份验证的微型二维码或全息标记。
- [0069] 以近视镜片为例，微纳结构可以设置在镜片的凹面，微纳结构呈阵列排布。能够改变镜片对光线的传播和散射特性，从而调整进入眼睛的光线对比度，以达到特定的视觉效果和生理影响，对近视防控具有积极作用；在多个均匀分布的多个微纳结构作用下，能够同时实现对比度控制功能和光程差调控功能。微纳结构是纳米尺度特征尺寸且基于光的衍射原理工作的结构，纳米级衍射结构具有在纳米尺度下精确控制的周期性，这种周期性结构能够对入射光产生特定的衍射效应，其周期的大小与目标光的波长相关，一般在目标波长的一定比例范围内，例如在目标波长 λ 的 0.75λ 至 3λ 的范围内。在一些实施例，微纳结构的离焦量 D_e 满足： $+4.00\text{ D} \leq D_e \leq +10.00\text{ D}$ ，其中， D 表示屈光度， $+10.00\text{ D}$ 为极值离焦；微透镜3在 8° 视场角内达到极值离焦，微纳结构的离焦量与视场角正相关。离焦量随着视场角增加而增大，微纳结构区域的有效离焦量更大，具有超低扰动量，依从性更好控制效果更好；本申请通过优化离焦设计，更符合人眼生理特点，黄斑区与增强效应的效果更好。在阵列排布的基础上，微纳结

构也可以是通过实施例1中分别涂布不同折射率的光刻胶进行光聚合反应的方式得到的层层堆叠的结构。镜片上的微纳结构的数量超过33000个，镜面单位面积通过布置大量的微纳结构以实现高强度的光程差调控。在本申请实施例中，可以理解的是，通过超过33000个微纳结构形成持续性的超低扰动离焦区；目前常规的近视防控镜片的微透镜尺寸较大且通常为0.8mm–2mm；本申请通过明显减小微纳结构的尺寸使得单位面积容纳更多的微纳结构，由此实现高强度光程差调控，进而实现对比度的控制。

[0070] 本发明中，微纳结构包括光学波导或光学天线，也可以集成有机发光二极管（OLED）或其他光源，实现自发光功能，用于低光环境下的视觉辅助。

[0071] 在其他实施例中，微纳结构可以被设计用于调制通过所述镜片的光的偏振状态，以提供偏振调制功能；或者，微纳结构被设计用于实现镜片的温度响应功能，通过改变镜片内部的温度敏感材料的状态，以调节镜片的光学性能。微纳结构也可以被设计为可调的光学元件，如可调焦透镜或光栅，以适应用户的动态视觉需求。

[0072] 实施例3

[0073] 一种镜片的制造系统，包括：飞秒激光器、聚焦光学系统、三维移动平台和光刻胶送料装置，以及用于设计和仿真微纳结构的软件。三维移动平台被配置为装载、移动镜片基材以及驱动镜片基材旋转，光刻胶送料装置被配置为向镜片基材涂布光刻胶，飞秒激光器被配置为根据软件提供的微纳结构图案，对涂布光刻胶后的镜片基材进行光刻，在镜片基材上得到对应微纳结构图案的微纳结构，通过微纳结构实现所需的折射率分布，聚焦光学系统被配置为对飞秒激光器发出的激光进行扫描速度和焦距的控制。

[0074] 在其他实施例中，制造系统还包括实时监控和质量检测装置，用于监控加工过程并验证镜片的光学性能。

[0075] 实施例4

[0076] 一种镜片的修复方法，包括使用实施例1所述的镜片制造方法，对镜片上受损的微纳结构进行局部修复。

- [0077] 在本申请的描述中，需要理解的是，术语“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。
- [0078] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是，本发明并不局限于上述特定实施方式，本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变化或修改，这并不影响本发明的实质内容。在不冲突的情况下，本申请的实施例和实施例中的特征可以任意相互组合。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种镜片制造方法，其特征在于，包括：
- 在镜片基材上涂布光刻胶；
- 通过激光系统发出的激光与所述光刻胶的光聚合反应，将预设的微纳结构光刻在所述镜片基材上，得到具有预设布局方式的微纳结构的镜片，所述镜片通过预设布局方式的微纳结构实现所需的折射率分布。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的镜片制造方法，其特征在于，所述光刻胶为具有双光子吸收特性的光刻胶，所述光刻为双光子光刻；
- 所述光刻胶的折射率在1.5至1.9之间；
- 所述光刻胶涂布的厚度大于等于100nm；
- 涂布光刻胶的方式包括：旋涂、滴涂或喷涂。
- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的镜片制造方法，其特征在于，在涂布光刻胶之前还包括：对所述镜片基材的表面进行前处理，所述前处理包括：清洁、去油脂或表面活化；
- 在涂布光刻胶之后还包括：对涂布的光刻胶进行预固化，所述预固化的方式包括热处理，使光刻胶挥发，挥发量小于等于40%；
- 光刻之后还包括：对所述镜片基材的表面进行后处理，所述后处理包括：去除所述镜片基材上剩余的光刻胶、增加抗反射涂层、增加防水涂层或者光学性能检测。
- [权利要求 4] 根据权利要求1所述的镜片制造方法，其特征在于，所述微纳结构的最小特征尺寸为50纳米；
- 通过分别涂布不同折射率的光刻胶进行光聚合反应，在同一所述镜片基材上得到至少两种光学性能的微纳结构。
- [权利要求 5] 一种渐进镜片，其特征在于，包括镜片以及通过光聚合反应成型在所述镜片上的微纳结构，通过预设布局方式的微纳结构实现所需的折射率分布。

- [权利要求 6] 根据权利要求5所述的渐进镜片，其特征在于，所述微纳结构包括光学波导或光学天线；
所述微纳结构被设计用于调制通过所述镜片的光的偏振状态，以提供偏振调制功能；或者，所述微纳结构被设计用于实现镜片的温度响应功能，通过改变镜片内部的温度敏感材料的状态，以调节镜片的光学性能。
- [权利要求 7] 根据权利要求5所述的渐进镜片，其特征在于，所述渐进镜片的表面具有防刮涂层、防紫外线涂层、防蓝光涂层、超疏水涂层或超疏油涂层。
- [权利要求 8] 根据权利要求5所述的渐进镜片，其特征在于，所述微纳结构的最小特征尺寸为50纳米；
所述镜片具有一种或多种光学性能的微纳结构。
- [权利要求 9] 一种镜片的制造系统，其特征在于，包括：飞秒激光器、聚焦光学系统、三维移动平台和光刻胶送料装置，以及用于设计和仿真微纳结构的软件；
所述三维移动平台被配置为装载、移动镜片基材以及驱动镜片基材旋转；
所述光刻胶送料装置被配置为向所述镜片基材涂布光刻胶；
所述飞秒激光器被配置为根据所述软件提供的微纳结构图案，对涂布光刻胶后的镜片基材进行光刻，在所述镜片基材上得到对应所述微纳结构图案的微纳结构，通过微纳结构实现所需的折射率分布；
所述聚焦光学系统被配置为对所述飞秒激光器发出的激光进行扫描速度和焦距的控制。
- [权利要求 10] 一种镜片的修复方法，其特征在于，包括使用权利要求1-4任一项所述的镜片制造方法，对镜片上受损的微纳结构进行局部修复。