

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B81B 7/00 (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780010957.2

[43] 公开日 2009 年 4 月 15 日

[11] 公开号 CN 101410324A

[22] 申请日 2007.3.28

[21] 申请号 200780010957.2

[30] 优先权

[32] 2006.3.31 [33] US [31] 11/278,278

[86] 国际申请 PCT/US2007/065330 2007.3.28

[87] 国际公布 WO2007/115028 英 2007.10.11

[85] 进入国家阶段日期 2008.9.26

[71] 申请人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 帕特里克·R·弗莱明

保罗·E·洪帕尔

托马斯·R·j·科里根

托德·R·威廉姆斯

塔德塞·G·尼加图

[74] 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司

代理人 顾红霞 何胜勇

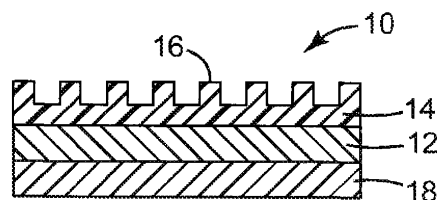
权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 3 页

[54] 发明名称

微结构化工具以及利用激光烧蚀制备微结构化工具的方法

[57] 摘要

本文公开一种微结构化工具，所述微结构化工具具有：微结构化层，其包含聚合物并具有微结构化表面；镍层，其设置成在与微结构表面相对的一侧与微结构化层相邻；以及基层，其设置成在与微结构化层相对的一侧与镍层相邻。微结构化表面可以有至少一个特征，该特征的最大深度最多高达约 1000 μm 。本文还公开了使用激光烧蚀法来制造微结构化工具的方法。微结构化工具可以用于制造适用于光学应用的制品。



1. 一种微结构化工具，包括：
微结构化层，其包含聚合物并具有微结构化表面，所述微结构化表面包括一个或多个特征；
镍层，其含有镍，所述镍层设置成在与所述微结构化表面相对的一侧与所述微结构化层相邻；以及
基底层，其含有金属、聚合物、陶瓷或玻璃，所述基底层设置成在与所述微结构化层相对的一侧与所述镍层相邻。
2. 根据权利要求1所述的微结构化工具，所述基底层含有铝。
3. 根据权利要求1所述的微结构化工具，所述基底层的面积大于约 100cm^2 ，平面度优于 $10\mu\text{m}/100\text{cm}^2$ 。
4. 根据权利要求1所述的微结构化工具，所述基底层的面积大于约 100cm^2 ，平行度优于 $10\mu\text{m}/100\text{cm}^2$ 。
5. 根据权利要求1所述的微结构化工具，所述镍层基本上由镍构成。
6. 根据权利要求1所述的微结构化工具，所述镍层的厚度为约 $0.5\mu\text{m}$ 至约 2cm 。
7. 根据权利要求1所述的微结构化工具，所述镍层具有与所述微结构化层相邻的第一表面，所述第一表面的算术平均粗糙度(Ra)为 100nm 或更小。
8. 根据权利要求1所述的微结构化工具，其中所述镍层是通过电化学工艺、溅射法、化学气相沉积法或物理气相沉积法形成于所述基底层上的。
9. 根据权利要求1所述的微结构化工具，其中所述聚合物包括聚碳酸酯、聚苯乙烯、聚氨酯、聚砜、聚酰亚胺、聚酰胺、聚酯、聚醚、酚醛树脂、环氧树脂、(甲基)丙烯酸类树脂、或它们的组合。
10. 根据权利要求1所述的微结构化工具，其中所述聚合物是由使用紫外线辐射固化的一种或多种单体、低聚物和/或聚合物形成的。
11. 根据权利要求1所述的微结构化工具，其中所述一个或多个特征中的至少一个的最大深度为约 $0.5\mu\text{m}$ 至约 $1000\mu\text{m}$ 。

12. 根据权利要求 1 所述的微结构化工具，其中所述一个或多个特征的形状包括矩形、六边形、立方体、半球形、圆锥形、角锥形、或它们的组合。
13. 根据权利要求 1 所述的微结构化工具，还包括设置在所述微结构化层与所述镍层之间的连接层。
14. 根据权利要求 1 所述的微结构化工具，还包括设置在所述镍层与所述基底层之间的粘合剂层。
15. 根据权利要求 1 所述的微结构化工具，其中所述微结构化工具成形为圆柱体、扁平状或带状。
16. 一种制备微结构化工具的方法，所述方法包括：
提供激光可烧蚀制品，其包括：
含有聚合物的激光可烧蚀层，
含有镍的镍层，所述镍层与所述激光可烧蚀层相邻地设置，以及
含有金属、聚合物、陶瓷或玻璃的基底层，所述基底层设置成在与所述激光可烧蚀层相对的一侧与所述镍层相邻。
提供具有激光器的激光烧蚀装置；以及
使用所述激光器的辐射烧蚀所述激光可烧蚀层，以形成包括一个或多个特征的特征的微结构化表面。
17. 根据权利要求 16 所述的方法，所述辐射具有小于约 $2\mu\text{m}$ 的波长。
18. 根据权利要求 16 所述的方法，所述辐射具有小于约 400nm 的波长。
19. 根据权利要求 16 所述的方法，所述辐射的波长小于所述一个或多个特征的最小尺寸的约两倍。
20. 根据权利要求 16 所述的方法，所述基底层含有铝。
21. 根据权利要求 16 所述的方法，所述激光可烧蚀层在所述辐射的波长下具有大于约 $1 \times 10^3/\text{cm}$ 的吸收系数。
22. 根据权利要求 16 所述的方法，所述聚合物具有激光烧蚀阈值，所述镍层具有激光损坏阈值，其中所述激光烧蚀阈值小于所述激光损坏阈值的 0.25 倍。
23. 根据权利要求 16 所述的方法，其中所述激光可烧蚀层在大气压下不可熔融。

24. 根据权利要求 16 所述的方法，其中所述激光可烧蚀制品成形为圆柱形、扁平状或带状。
25. 一种微结构化工具，其通过根据权利要求 16 所述的方法形成。
26. 一种制备微结构化复制品的方法，所述方法包括：
提供根据权利要求 1 所述的微结构化工具；
在所述微结构化表面上施加液体组合物；
使所述液体组合物硬化以形成硬化层；以及
从所述微结构化工具上分离所述硬化层。
27. 根据权利要求 26 所述的方法，所述液体组合物包含一种或多种单体、低聚物和/或聚合物，并且所述硬化包括固化。
28. 根据权利要求 26 所述的方法，所述液体组合物包含一种或多种熔融聚合物，并且所述硬化包括冷却。
29. 一种微结构化复制品，其通过根据权利要求 27 所述的方法制备。
30. 一种制备微结构化金属工具的方法，所述方法包括：
提供根据权利要求 1 所述的微结构化工具；
在所述微结构化表面上施加金属以形成金属层；以及
从所述微结构化工具上分离所述金属层。
31. 一种微结构化金属工具，其通过根据权利要求 30 所述的方法制备。
32. 一种阻隔肋结构，其通过根据权利要求 30 所述的微结构化金属工具制备。
33. 一种等离子显示装置，其包括根据权利要求 32 所述的阻隔肋结构。

微结构化工具以及 利用激光烧蚀制备微结构化工具的方法

相关专利申请的交叉引用

本发明涉及同一天提交的 Humpal 等人的名称为“Microstructured Tool and Method of Making Using Laser Ablation（微结构化工具以及利用激光烧蚀制备微结构化工具的方法）”的共同转让的、共同未决的美国专利申请 NO. 11, 278, 290（代理人案卷号 61177US002）。

技术领域

本发明涉及微结构化工具，尤其涉及在基底层与微结构化层之间包括镍层的微结构化工具。该微结构化工具是用激光烧蚀法制造的。

背景技术

包括小于几毫米的特征的微结构化工具用于复制工艺以形成可执行特定功能的微结构化复制品。复制品可直接用微结构化工具制成，或用由微结构化工具制成的金属工具制成。微结构化复制品用于多种应用中，包括将微结构化复制品作为棱镜、透镜等使用的光学应用。在此类应用中，这些微光学部件以及制备微光学部件的微结构化工具应该没有诸如表面粗糙等缺陷（否则，表面粗糙可能会产生不期望的光学伪影），这一点往往很关键。

激光烧蚀是一种可以用于在支撑基底上形成具有微结构化聚合物层的微结构化工具的工艺。微结构化聚合物层包括表面上具有一个或多个凹陷特征的聚合物层，这些凹陷特征是通过移除所选区域上的聚合物而形成的。聚合物的移除是在吸收激光器的辐射后而分解的结果。为了满足对微光学部件不断增长的需求，希望使用激光烧蚀法来形成满足上述严格标准的微结构化工具。因而，需要可以用于激光烧蚀工艺的新材料。

发明内容

本文所公开了一种微结构化工具，所述微结构化工具包括：微结构化层，其含有聚合物并且具有微结构化表面，该微结构化表面包括一个或多个特征；镍层，其含有镍，并且设置成在与微结构化表面相对的一侧与微结构化层相邻；以及基层层，其含有金属、聚合物、陶瓷或玻璃，该基层层设置成在与微结构化层相对的一侧与镍层相邻。

本文还公开了一种利用激光烧蚀法来制造微结构化工具的方法。该方法包括：提供激光可烧蚀制品，该激光可烧蚀制品包括含有聚合物的激光可烧蚀层，含有镍并且与激光可烧蚀层相邻设置的镍层，以及含有金属、聚合物、陶瓷或玻璃的基层层，该基层层设置成在与激光可烧蚀层相对的一侧与镍层相邻；提供具有激光器的激光烧蚀装置；以及用激光器的辐射烧蚀激光可烧蚀层，以形成包括一个或多个特征的微结构化表面。

本文所公开的微结构化工具可以用于制造微结构化复制品。制造此类微结构化复制品的一种方法包括：提供微结构化工具，在微结构化表面上施加液体组合物，使液体组合物硬化以形成硬化层，以及从微结构化工具上分离硬化层。本文所公开的微结构化工具还可以用于制造微结构化金属工具。制备此类微结构化金属工具的一种方法包括：提供微结构化工具，在微结构化表面上施加金属以形成金属层，然后分离微结构化表面和金属层。金属层成为用于制造微结构化复制品的微结构化金属工具。

本文所公开的微结构化制品可以用于诸如等离子显示装置、计算机显示器和手持装置等光学应用；微流控芯片中的沟槽结构；机械应用等。

上述发明内容并不旨在描述本发明的每个公开实施例或每种实施方式。以下附图和具体实施方式更具体地举例说明了示例性实施例。

附图说明

图 1-2b 示出了示例性微结构化工具的剖视图。

图 3a-3d 示出了示例性微结构化表面的剖视图。

图 4a 是激光烧蚀后的基层层的照片。

图 4b 是激光烧蚀后的镍层的照片。

图 5a 和 5b 是微结构化工具的照片。

图 6 是示例性微结构化金属工具的照片。

具体实施方式

如上所述，激光烧蚀是一种可以用于在支撑基底上形成微结构化聚合物层的工艺。在该工艺中，由激光器发射辐射，使得辐射入射到聚合物层的选定区域上。聚合物层吸收辐射，并通过由光热和光化学机理的某些组合引起的蒸发来移除聚合物。该组合通常取决于聚合物的所选特性（例如熔点、辐射波长下的吸收系数、热容量和折射率）和激光烧蚀条件（例如激光能量密度、波长和脉冲持续时间）。

适用于光学应用（如本文所公开）的微结构化工具可以利用多脉冲激光烧蚀工艺来制作，在该工艺中，采用一次以上的激光照射来形成每个特征。该工艺允许操作者控制特征的侧壁角度，并且还允许将聚合物移除直至到达基底的表面或到达镍层的表面。多脉冲激光烧蚀法还可用于对厚（如厚度大于 15 μm ）聚合物层实施微结构化。

在多脉冲激光烧蚀法中可使用多种类型的系统，包括（例如）投影系统、点写系统、遮罩系统和全息系统。例如，在遮罩烧蚀系统中，将具有所需图案的掩模置于与具有聚合物层的激光可烧蚀制品接近或接触的位置。由于掩模只允许辐射到达所选区域，因此可在聚合物层表面形成图案。激光烧蚀系统优选地采用发射波长为 400nm 或更短的辐射的激光器，包括（例如）诸如 KrF、F₂、ArF、KrCl、XeF 或 XeCl 激光器等准分子激光器、或发射波长较长的辐射但使用非线性晶体转变为 400nm 或更短波长的激光器。可用的激光烧蚀系统和方法在（例如）美国专利 No. 6,285,001 B1 中有所描述。

本文所公开的微结构化工具 10（如图 1 的实例所示）包括：含有聚合物的微结构化层 14，该微结构化层具有微结构化表面 16；含有镍的镍层 12，镍层设置为在与微结构化表面相对的一侧与微结构化层相邻；以及基底层 18，其设置成在与微结构化层相对的一侧与镍层相邻。

用作基底层的具体材料将取决于具体应用，但一般来讲，该材料应该重量轻、耐用、便宜，并且能与镍层相容。还需要该基底层在普通实验室储存条件下相对于温度、湿度和光线保持稳定，并且对任何可能接触到的

材料（例如清洁溶液、微结构化层的聚合物以及用于形成微结构化复制品的材料）保持稳定。

基底层可以包含金属、聚合物、陶瓷或玻璃。适用的材料包括：金属，例如铝及其合金、钢及其合金，尤其是不锈钢、铜、黄铜或锡；聚合物，例如聚碳酸酯、聚酰亚胺、聚酯、聚苯乙烯或聚(甲基)丙烯酸类树脂；陶瓷，例如硅、氧化铝和氮化硅；玻璃，例如熔融硅石、光学玻璃或浮法玻璃或含玻璃纤维的复合材料。基底层还可以含有镍，从而使得镍层和基底层为同一层。优选的是基底层含有铝，这是因为铝价格便宜、不易碎，并且容易制成各种大小和厚度。

基底层的与镍层相邻的一侧的表面粗糙度对于获得所需的微结构化工具和复制品来说可能是重要的。如果镍层是基底层上的保形涂层，则基底层的粗糙度必须至少与如下粗糙度一样良好：即，由具有该基底层的微结构化工具制备的微结构化复制品的上表面所需的粗糙度。另一方面，如果镍层不是保形涂层，并且可以填充基底层上的任意缺陷，则基底层的粗糙度可以大于微结构化工具和制品所需的粗糙度。

基底层的厚度还将取决于具体应用以及所用材料的性质。通常，基底层应足够厚以便可操作、自支撑以及抵抗在常规操作时的损坏，例如破裂、扭折和断裂。基底层的刚度不受特别的限制，但一般来讲，面积越大，基底层所需要的刚度就越大。在刚度和可操作性方面，微结构化工具的弹性模量乘以该工具的厚度的立方所得的乘积应至少为约 $0.005\text{N}\cdot\text{m}$ ($0.05\text{in}\cdot\text{lb}$)。例如，可以使用包含 $51\mu\text{m}$ (2 密耳) 厚的铝的基底层（弹性模量为 $71 \times 10^9\text{N}/\text{m}^2$ ($10.3 \times 10^6\text{lb}/\text{in}^2$))，这是因为弹性模量乘以厚度的立方的乘积为约 $0.009\text{N}\cdot\text{m}$ ($0.08\text{in}\cdot\text{lb}$)。还可以使用厚度高达 $254\mu\text{m}$ (10 密耳) 的铝层。在另一个实例中，可以使用包含 6.4mm (250 密耳) 厚的钢的基底层（弹性模量为 $207 \times 10^9\text{N}/\text{m}^2$ ($30 \times 10^6\text{lb}/\text{in}^2$))，这因为弹性模量乘以厚度的立方的乘积为约 $54264\text{N}\cdot\text{m}$ ($468750\text{lb}\cdot\text{in}$)。

在一些情况下，例如在制造等离子显示装置所用的阻隔肋时，期望基底层有足够大的面积，例如大于约 100cm^2 或大于约 1000cm^2 。如果基底层的厚度足以具有可测量的平面度，则需要具有优于约 $10\mu\text{m}/100\text{cm}^2$ 或优于约 $10\mu\text{m}/1000\text{cm}^2$ 的平面度。如果基底层太薄以致不具有可测量的平面度，并

且在烧蚀过程中由另一个平面物体（如支撑台或真空台）来支撑，则可以期望基底层具有优于约 $10\mu\text{m}/100\text{cm}^2$ 或约 $10\mu\text{m}/1000\text{cm}^2$ 的平行度。

一般来讲，镍层用作阻挡层，阻挡用于形成如图 1 所示的微结构化层的微结构化表面 16 的激光。镍层含有镍并且可以是镍基合金层，或者可以基本上由镍构成，即该镍层可以是纯镍层。还需要镍层在普通实验室储存条件下对温度、湿度和光线保持稳定，并且对任何可能接触到的材料（如清洁溶液、聚合物以及用于形成微结构化复制品的材料）保持稳定。可以通过电化学工艺、溅射法、化学气相沉积法或物理气相沉积法在基底层上形成镍层。还可以使用这些方法的组合。可选的是，可以将包含镍层和激光可烧蚀层的构造层合到基底层上。

镍层 12 的与微结构化层 14 相邻的表面在本文中称为第一表面，并且该第一表面的粗糙度必须至少与如下粗糙度一样好：即，由具有该镍层的微结构化工具制造的微结构化复制品的上表面所需的粗糙度。通常，镍层的该表面的算术平均粗糙度 (Ra) 可以为 $1\mu\text{m}$ 或更小，对于大多数光学应用来说，Ra 为 100nm 或更小。烧蚀后的第一表面的粗糙度也应不超过这些限度。

镍层的厚度还将取决于具体应用，并且一般来讲，镍层应足够厚，使得其可以承受完全烧蚀上述激光可烧蚀层所需的光强的至少四倍的光强，而并不受到可检测出的损坏。可用的厚度为至少约 $0.5\mu\text{m}$ ，例如从约 $0.5\mu\text{m}$ 到约 2cm 。

激光可烧蚀层（即被烧蚀前的微结构化层）和微结构化层自身含有聚合物。适用的聚合物包括（例如）聚碳酸酯、聚苯乙烯、聚氨酯、聚砜、聚酰亚胺、聚酰胺、聚酯、聚醚、酚醛树脂、环氧树脂、（甲基）丙烯酸类树脂、或它们的组合。

聚合物的具体选择可能受多种因素影响。举例来说，应该选择聚合物以使得激光可烧蚀层和微结构化层在实验室储存条件下对温度、湿度和光线保持稳定，并且对任何可能接触到的材料（如清洁溶液、镍层、脱模剂以及用于形成微结构化复制品的材料）保持稳定。此外，如下所述，理想的是，聚合物在激光器所提供的辐射波长下具有大于约 $1 \times 10^3/\text{cm}$ 的吸收系数。

激光可烧蚀层可以通过多种方式形成。例如，激光可烧蚀层可以设置成薄膜形式并且在该薄膜上施加镍层，或者将激光可烧蚀层和镍层层合在一起。作为另外一种选择，可以通过如下步骤制备激光可烧蚀层：将熔融聚合物层浇注在镍层上，然后使聚合物层冷却、硬化并随后可选地固化以形成激光可烧蚀层。另一个选择是将包含一种或多种单体、低聚物和/或聚合物的溶液浇注在镍层上，然后使溶液固化以形成激光可烧蚀层。适用聚合物的实例在与本发明同一天提交的 Humpal 等人的名称为“Microstructured Tool and Method of Making Using Laser Ablation”（微结构化工具以及利用激光烧蚀制备微结构化工具的方法）的共同转让的、共同未决的美国专利申请 No. 11, 278, 290（代理人案卷号 61177US002）中有所描述；将该专利申请的全部内容以引用的方式并入本文。优选的是，将激光可烧蚀层交联以使烧蚀区域中的回流最小化。

常用的固化工艺包括加热固化、时间固化和辐射固化（如紫外线辐射固化和电子束辐射固化）。固化前必须格外小心，以使得待固化的涂层材料不会流动从而导致涂层厚度不一致。优选紫外线辐射固化法，并且紫外线可固化单体、低聚物和/或聚合物是优选的，这是因为它们固化速度快，从而缩短了涂层材料的转移时间，同时还因为它们在室温或接近室温的温度下固化，从而降低了产生下述应力的可能性。还可以采用结合紫外线辐射和加热的方式。

可以包含于聚合物层中的其它组分包括染料、紫外线吸收剂、增塑剂和稳定剂（如抗氧化剂）。

可以使用精度不一的多种技术来涂布聚合物，其中许多技术是本领域所已知的，例如刮刀涂布、凹版式涂布、坡流涂布、旋涂、帘式涂布、喷涂、模具涂布等。由于聚合物应可涂布成如下所述的任何所需厚度，因此聚合物的粘度十分重要。也就是说，较薄的层需要粘度较小的聚合物溶液，而较厚的层需要粘度较大的聚合物溶液。涉及可涂布性的其它因素在 Humpal 等人的专利申请中公开。

激光可烧蚀层需要处于几乎没有应力或完全没有应力的状态下，否则在烧蚀过程中其形状或尺寸可以发生不期望的变化。因此，如果要对聚合物进行涂布然后使其硬化，则材料在液态或前体形式时的特性就很重要。

在固化或冷却过程中的任何收缩量应优选与激光可烧蚀制品中的其余部分相匹配。这些考虑因素还可以确定激光可烧蚀层的厚度，这是因为在厚度为约 $50\mu\text{m}$ 或更大的层的溶剂涂布和固化过程中往往会积聚应力。此外还期望激光可烧蚀层是洁净地烧蚀的，产生极少烟灰或不产生烟灰，在大气压下不可熔融，并且在受热时几乎不膨胀。

激光可烧蚀层的成为微结构化表面的表面在本文中被称为第二表面，并且该第二表面的粗糙度必须至少与如下粗糙度一样好：即，由具有该激光可烧蚀层的微结构化工具制成的微结构化复制品的底面所需的粗糙度。一般来讲，第二表面的算术平均粗糙度(Ra)可以为 $1\mu\text{m}$ 或更小，对于大多数光学应用来说，Ra 为 100nm 或更小。烧蚀后的第二表面的粗糙度也应不超过这些限度。

激光可烧蚀层的厚度可能会随应用不同而有所变化，一般来讲，该厚度对构成微结构化表面的一个或多个特征的深度提供了方便的机械限制。适用的厚度可以高达约 $1000\mu\text{m}$ 。对于一些应用，虽然特征深度大于约 $1000\mu\text{m}$ 的微结构化表面的制备时间通常会更长，并且对于远离成像面的微结构化表面来说，会更加难以控制特征的形状，但是可以使用大于约 $1000\mu\text{m}$ 的厚度。激光可烧蚀层需要具有一致的厚度，这是因为这决定了微结构化层内的特征的高度的一致性。如果激光可烧蚀层过厚或厚度不够一致，则可以用金刚石切削工具通过研磨法或飞刀切削法对激光可烧蚀层进行机械加工。

为了防止烧蚀率发生变化，就激光器波长下的激光辐射吸收率、密度、折射率等方面而言，需要激光可烧蚀层始终是一致且均匀的。在相同条件下，并且当激光器的功率至少为烧蚀阈值的两倍时，聚合物的烧蚀率在激光可烧蚀制品的整个面积上的变化不应超过 10%。如下所述，通过绘制关于烧蚀深度对脉冲能量的曲线并外推至零深度，可以得到烧蚀阈值。

如图 2a 所示，微结构化工具 20 可以包括设置在微结构化层 14 与镍层 12 之间的连接层 22，以便增强这两层之间的粘合力。连接层组分的具体选择将取决于其它层所用的材料。适用材料的实例包括(甲基)丙烯酸类树酯和底漆，例如可得自 3M Company 的 Scotchprime[®]陶瓷-金属底漆。

一般来讲,连接层应尽可能薄,例如小于约 $1\mu\text{m}$,以使得其机械特性不会显著地影响在烧蚀前或在烧蚀后激光可烧蚀层的烧蚀特性或激光可烧蚀制品的特性。如果任一层的粗糙度如上所述是关键的,则连接层必须不会增大粗糙度。

而且,在这种情况下,连接层不得将镍层的损坏阈值(即,大于使材料移除、表面粗糙化或材料变形的激光能量密度)降低至小于烧蚀激光可烧蚀层所需能量密度的四倍。也就是说,在有连接层的情况下,镍层的损坏阈值必须至少为烧蚀激光可烧蚀层所需能量密度的四倍。

如图 2b 所示,微结构化工具 24 可以包括设置在镍层 12 与基底层 18 之间的粘合剂层 26,以增强这两层之间的粘合力。粘合剂层组分的具体选择将取决于在其它层中所用的材料。适用材料的实例包括诸如锌或铬之类的金属以及诸如氧化铬之类的金属氧化物。在一个具体实例中,粘合剂层包括设置在化学镀镍层与铝基底层之间、厚度小于约 $1\mu\text{m}$ 的锌涂层。如果首先将镍层附接到聚合物上,然后再附接到基底层上,则可以方便地使用诸如环氧树脂、氨基甲酸酯或压敏粘合剂等粘合剂作为粘合剂层。

如图 1 所示,微结构化层 14 包括微结构化表面 16。微结构化表面是指通过用激光烧蚀法移除部分激光可烧蚀层之后所形成的表面的三维形貌。图 1 所示微结构化表面的示意性剖视图仅用于举例说明,并不旨在以任何方式限制微结构化表面。图 3a-3d 示出了另外的示例性微结构化表面的剖视图。

三维形貌包括一个或多个特征,这些特征的形状、大小和在整个表面的分布可能有所不同。所述特征可以描述为凹陷、腔体、浮雕结构、微透镜、凹槽和沟槽等,并且它们的形状可以包括矩形、六边形、立方体、半球形、圆锥形、角锥形、或它们的组合。

如上所述,所述一个或多个特征的深度受到激光可烧蚀层的厚度的限制,从而使得特征的最大深度最多约为激光可烧蚀层的最大厚度。因此,该一个或多个特征的最大深度最多达到约 $1000\mu\text{m}$,例如从约 $0.5\mu\text{m}$ 到约 $1000\mu\text{m}$ 。该一个或多个特征可以具有多个深度,并且如果存在一个以上的特征,则深度在特征与特征之间可以有所不同。在一些情况下,镍层可以从至少一个凹陷特征中露出。除深度之外的尺寸都不受具体限制。

如果存在一个以上的特征，则可以以任何方式对其进行布置，例如随机布置或以某种图案布置或以它们的组合进行布置。例如，特征可以随机布置在微结构化表面的某个区域内，并且可以在整个表面上按照某种图案布置许多区域。可以变化的形状参数的实例包括深度、壁面角度、直径、纵横比（深度与宽度的比）等。

本文还公开了制备微结构化工具的方法。该方法包括：提供激光可烧蚀制品，该激光可烧蚀制品包括含有聚合物的激光可烧蚀层，与激光可烧蚀层相邻设置的含有镍的镍层，以及含有金属、聚合物、陶瓷或玻璃的基底层，该基底层设置成在与激光可烧蚀层相对的一侧与镍层相邻；提供具有激光器的激光烧蚀装置；以及利用激光器的辐射烧蚀激光可烧蚀层，以形成包括一个或多个特征的特征微结构化表面。

如上所述，可以使用任何类型的激光烧蚀装置或系统，前提条件是该装置或系统配备有合适的激光器，并且能够进行多脉冲烧蚀。可以变化的系统参数包括激光器所产生的辐射的波长。由于微结构化工具的特征尺寸受到激光器波长的限制，因此发射波长小于约 $10\ \mu\text{m}$ 的辐射的激光器是优选的。还优选的是发射波长小于 $2\ \mu\text{m}$ 和小于 400nm 的辐射的激光器。可以选择激光器，以使得辐射波长小于分辨率极限（即给定的待烧蚀特征的最小尺寸）的约 10 倍，更优选的是小于分辨率极限的 5 倍，最优选的是小于分辨率极限的 2 倍。更重要的是，激光可烧蚀材料在所用波长下具有高吸收率。

出于效率方面的考虑，通常期望根据激光可烧蚀层的吸收率来选择激光器，反之亦然。理想的是，激光可烧蚀层在激光器所提供的辐射波长下具有大于约 $1 \times 10^3/\text{cm}$ 的吸收系数。这有助于最小化烧蚀阈值，从而能以较少的能量制造特征。这还有助于限制烧蚀工艺的附带损坏，并且允许制造更小的特征。

其它系统参数可以通过确定激光可烧蚀层的能量密度阈值来进行选择，能量密度阈值是指烧蚀最少的可烧蚀层所必需的激光能量。通过绘制关于烧蚀深度对脉冲能量的曲线并外推至零深度，可以得到烧蚀阈值。可以变化的一个参数是激光脉冲的能量。改变激光脉冲能量是改变每个激光脉冲所移除材料的深度的一种便利方式。较高能量将移除较多的材料，从

而提高生产力。较低脉冲能量将移除较少的材料，从而增强工艺控制能力。期望可烧蚀材料对过程没有记忆；也就是说，对于相同的激光脉冲参数，不论之前有多少次脉冲，每次脉冲都移除相同数量的材料。然后，通过获知每次脉冲的深度并计数脉冲的次数，便可控制特征的深度。脉冲宽度、时间脉冲波形、波长和激光的相干长度也会影响烧蚀工艺，但这些参数对于每个激光器来说通常是固定的，或者仅可以发生小量变化。激光可烧蚀层的厚度是另一个要考虑的因素。如上所述，烧蚀前的厚度需要至少为微结构化表面的最大高度所需的厚度，而且还可以希望具有多种深度，以及向下移除激光可烧蚀层至镍层。

在一些情况下，例如，当将足够的脉冲用于向下烧蚀激光可烧蚀层至镍层的表面时，可能期望聚合物具有激光烧蚀阈值，镍层具有激光损坏阈值，并且激光烧蚀阈值小于激光损坏阈值的 0.25。此差值有助于在不影响镍层的情况下确保微结构化层具有干净而平坦的底面。

除了在烧蚀过程中激光烧蚀系统必须能够限定成像面之外，对激光可烧蚀制品的形状和由该制品制成的微结构化工具的形状没有具体限制。在烧蚀前、烧蚀过程中或烧蚀后的形状可以相同，也可以不同。例如，激光可烧蚀制品和微结构化工具可以都为基本扁平的片状形式，或者激光可烧蚀制品可以为基本扁平的片状形式，而在烧蚀后形成圆柱体或带状。作为另外一种选择，激光可烧蚀制品可以在烧蚀前呈圆柱体或带状。

微结构化工具可以包括位于微结构化表面上的附加层，该附加层用来防止化学降解或机械损坏，或者用来改变表面能或光学特性。具体地讲，可以采用等离子沉积工艺施加菱形玻璃，以便制造可以用于多种应用的微结构化薄膜；有关菱形玻璃及其应用的描述，请参见美国专利 No. 6,696,157 B1。

可以对微结构化工具进行进一步的加工、封装和整合，或将其切成较小部分。

本文还公开了制备微结构化复制品的方法，该方法包括：提供上述微结构化工具；在微结构化表面上施加液体组合物；使液体组合物硬化以形成硬化层；以及从微结构化工具上分离该硬化层。在施加液体组合物前，可以用脱模剂（如含氟化合物、含有机硅的物质或含烃的物质）处理微结

构化表面。该液体组合物可以包含可通过固化而硬化的一种或多种单体、低聚物和/或聚合物，或者可通过冷却而硬化的熔融聚合物。在任一种情况下，都可以重复使用微结构化工具来制造任意数量的微结构化复制品。

本文还公开了制备微结构化金属工具的方法，该方法包括：提供上述微结构化工具；在微结构化表面上施加金属以形成金属层；以及从微结构化工具上分离金属层。金属可以电镀到微结构化表面上。在施加金属前，可以在微结构化表面上涂布用来在电镀工艺过程中沉积金属的导电种子层。可以通过气相沉积法来形成导电种子层。图 6 是示例性微结构化金属工具的照片。可以重复使用所得的微结构化金属工具来以制造任意数量的微结构化复制品。微结构化金属工具可以用来制造金属复制品或聚合物复制品。无论是复制品还是微结构化金属工具，都可以用来制造制品。例如，制品可以包括在玻璃基底上形成的微结构化的玻璃料层，然后再将玻璃料层加热以形成如美国专利 No. 6,802,754 中所述的等离子显示装置的阻隔肋结构，将该专利的公开内容以引用的方式并入本文。

实例

实例 1

使用包括 Lambda Physik 激光器 LPX 315 的准分子激光烧蚀系统来烧蚀厚度为 $508\mu\text{m}$ ($0.020''$) 的市售铝薄片材料（得自 Lorin Industries）。对激光光束均束并使其穿过掩模，采用得自 Microlas 公司的光学系统用 5x 投影透镜对该掩模成像。使用能量密度为 $862\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 的激光光束以每秒 150 次脉冲的频率总共照射 90 次。在烧蚀前后，测量均方根 (RMS) 粗糙度和算术平均粗糙度 (Ra)。在表 1 中记录结果。

为上述铝片材料镀厚度为 $2.5\mu\text{m}$ – $7.6\mu\text{m}$ ($0.0001''$ – $0.0003''$) 的无电镀镍层。该镀镍工艺在 Twin City Plating (Minneapolis, MN) 进行。以如上所述的方式烧蚀样本。在表 1 中记录 RMS 和 Ra。图 4a 和 4b 分别示出了烧蚀后铝和镀镍铝的照片。与图 4b 所示镀镍铝的镜面反射表面相比，图 4a 中的深色区域是显著散射光线的粗糙的铝。

表 1

	铝		镀镍铝	
	已烧蚀	未烧蚀	已烧蚀	未烧蚀
RMS (μm)	0.266	0.089	0.029	0.024
Ra (μm)	0.206	0.035	0.022	0.019

实例 2

为厚度为 $508\mu\text{m}$ ($0.020''$) 的市售铝片材料 (得自 Lorin Industries 的 PREMIRROR 41) 镀无电镀镍层。无电镀镍层的厚度为 $2.5\mu\text{m}$ – $7.6\mu\text{m}$ ($0.0001''$ – $0.0003''$)。该镀镍工艺在 Twin City Plating (Minneapolis, MN) 进行。

用乙醇和擦拭布清洁无电镀镍表面。然后在该表面上涂布可得自 3M Company 的 Scotchprime[®] 389 陶瓷-金属底漆溶液。将溶液喷涂至镍表面上, 通过擦拭得到均匀的涂层, 风干涂层, 然后将该涂层在 110°C 的烘箱内固化 10 分钟。移出面板并冷却至室温, 然后用 EtOH 和擦拭布除去残留的未反应的试剂。

通过将芳族聚氨酯三丙烯酸酯的预聚物组分与 40 重量%的乙氧基化三羟甲基丙烷三丙烯酸酯混合来制备聚氨酯丙烯酸酯树脂, 在所述乙氧基化三羟甲基丙烷三丙烯酸酯中稀释剂 (得自 Cytec Surface Specialties 的 EBECRYL 6602) 占 82.5 重量%, 乙氧基化三羟甲基丙烷三丙烯酸酯 (得自 Sartomer Co. 的 SARTOMER SR454) 占 16.5 重量%, 光引发剂 (得自 Ciba Specialty Chemicals 的 IRGACURE 369) 占 1 重量%。通过下列两种方法之一将该树脂涂布到镍表面上以形成厚度在 155 – $225\mu\text{m}$ 之间的涂层: 1) 用精密的模具涂布机在高温 (即 65°C) 下形成均匀度为 $\pm 5\mu\text{m}$ 的涂层, 2) 用标准的刮刀式涂布机在室温下形成均匀度为 $\pm 15\mu\text{m}$ 的涂层。如果采用后一种涂布工艺, 则可以在涂层固化之后用传统加工方法 (例如飞刀切削法、研磨法或打磨法) 通过对上表面进行平面化处理, 使样本更加均匀。

将带涂层的面板封闭在具有金属框架和玻璃顶部的“惰性”室内。用干燥的氮气吹扫惰性室 1 分钟, 以降低氧气水平。然后用紫外线辐射法固化样本 (15W , $18''$ 蓝色黑光灯, 30 秒, 320nm – 400nm , 约 $5\text{mW}/\text{cm}^2$ – $25\text{mW}/\text{cm}^2$)。

以如实例 1 所述的方法烧蚀所得的激光可烧蚀制品。烧蚀到带涂层的面板中的图案是六边形构成的六边形阵列。所得微结构化工具的厚度为 $162\mu\text{m}$ ，并且烧透图案直至镍层。使用乙醇并用棉垫轻轻擦拭来移除烧蚀碎屑。图 5a 和 5b 分别示出了放大率为约 100 倍和 500 倍后烧蚀面板的照片。所示图案为 $6-\delta$ 图案，其中深色区域对应于未烧蚀区域（聚合物），浅色区域对应于已烧蚀区域。如图 5a 所示，每个六边形的尺寸为 $172.1\mu\text{m}$ 、 $194.2\mu\text{m}$ 和 $156.3\mu\text{m}$ ，如图 5b 所示，未烧蚀区域的宽度为 $20.4\mu\text{m}$ 。

实例 3

除了在带涂层的面板上烧蚀标准的方格纹图案而非六边形的六边形阵列之外，如实例 2 所述制备微结构化工具。使用标准电铸方法在微结构化工具上（在微结构化聚合物层上）电铸厚度为约 1mm（40 密耳）的包含镍的金属层。然后将金属层与微结构化工具分离来制造微结构化金属工具，并且在 90°C – 99°C 下用含水碱（KOH:水的比率为 50:50）来移除残余的聚合物。

微结构化复制品

可以使用如实例 2 和 3 所述的工具来制造微结构化复制品。这将通过如下步骤进行：用脱模剂来处理工具的微结构化表面，然后涂布含有一种或多种可固化物质（例如单体、低聚物、聚合物、交联剂等，或它们的一些组合）的组合物。然后可以固化该组合物以形成固化层，然后从工具上分离固化层。

在不脱离本发明范围和精神的情况下，本发明的多种修改和变型对于本领域内的技术人员来说将是显而易见的，并且应当理解，本发明并不受限于本文所述实例和实施例。

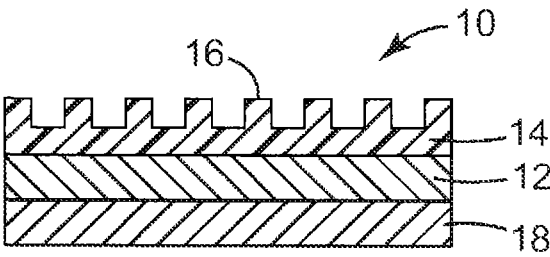


图1

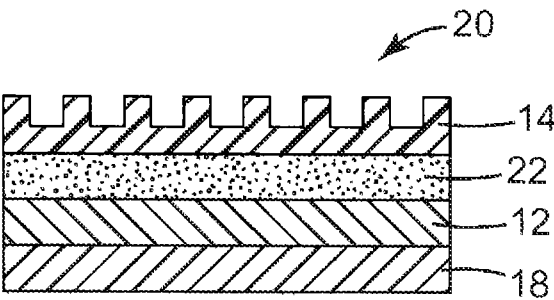


图2a

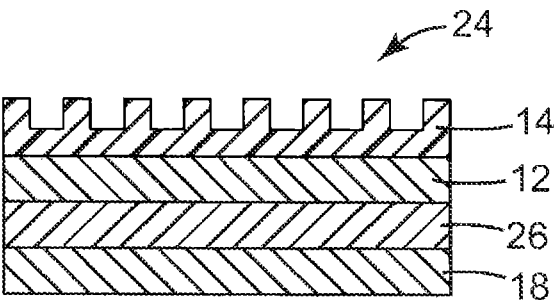


图2b

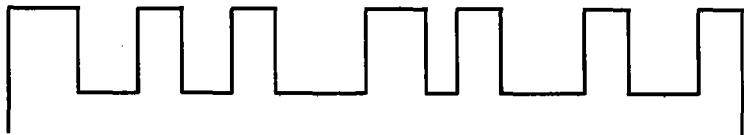


图3a

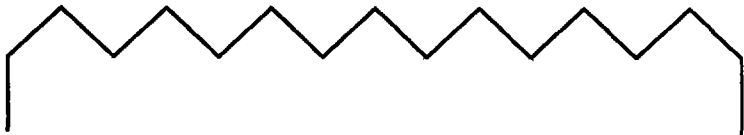


图3b



图3c

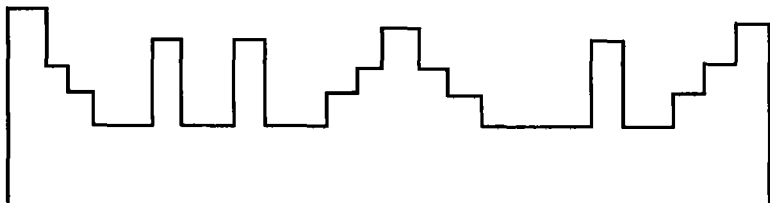


图3d

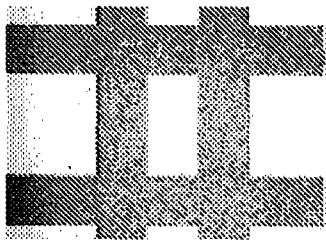


图4a

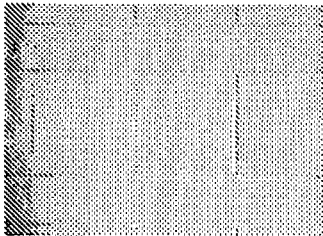


图4b

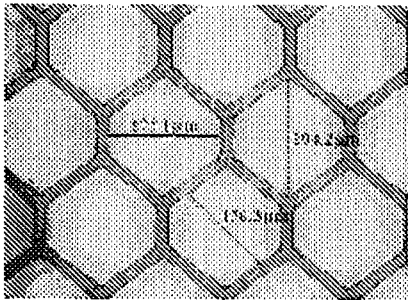


图5a

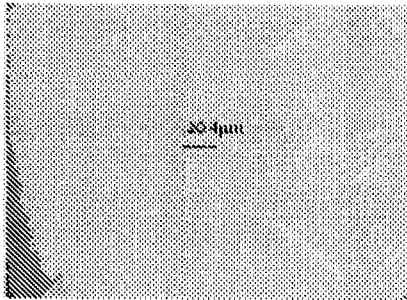


图5b

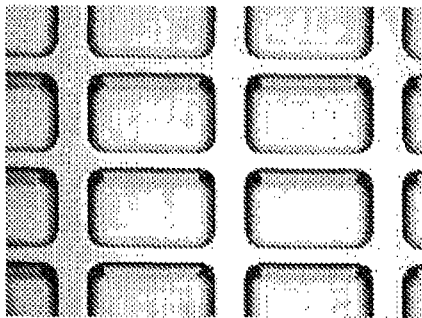


图6