

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
B29C 59/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03812003.8

[45] 授权公告日 2009年10月14日

[11] 授权公告号 CN 100548632C

[22] 申请日 2003.4.10 [21] 申请号 03812003.8

[30] 优先权

[32] 2002.5.29 [33] US [31] 10/159,925

[86] 国际申请 PCT/US2003/011204 2003.4.10

[87] 国际公布 WO2003/101704 英 2003.12.11

[85] 进入国家阶段日期 2004.11.26

[73] 专利权人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 W·J·布赖恩 N·D·休厄尔

J·E·可莱门斯

[56] 参考文献

US 6029349 2000.2.29

审查员 张 丽

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 刘 佳

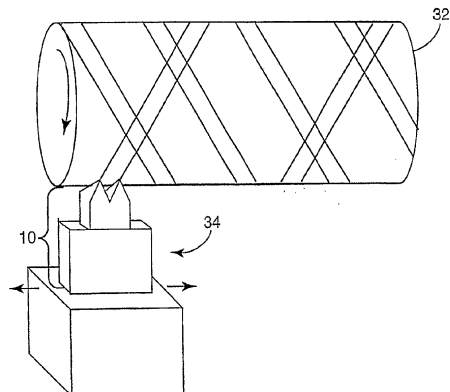
权利要求书4页 说明书10页 附图11页

[54] 发明名称

带有多末端金刚石的金刚石工具

[57] 摘要

在一实施例中，描述了一种用于在微复制工具(32)中产生凹槽的工具(10)。该工具(10)包括安装结构(14)和安装在安装结构(14)中的多末端金刚石(12)。该金刚石的不同末端(16A, 16B)可与将在微复制工具(32)中所形成的不同凹槽相对应。以此方式能够简化和/或改进利用金刚石的微复制工具(32)的制造。



1. 一种用于在工件内产生凹槽的工具，它包括：
安装结构；以及
安装在该安装结构内的多末端金刚石，其中，相邻末端之间的节距小于 200 微米，并且金刚石的不同末端经聚焦离子束切削以与将在工件中所形成的不同的凹槽相对应，并且在相邻的末端之间形成谷，该谷经聚焦离子束切削以与将在工件中所形成的凸起相对应。
2. 如权利要求 1 所述的工具，其特征在于：多末端金刚石包括两个末端。
3. 如权利要求 2 所述的工具，其特征在于：这两个末端的内表面沿一轴线相交，以形成谷底。
4. 如权利要求 1 所述的工具，其特征在于：该谷构成选自下列表面组中的底表面：中凸弧形表面、中凹弧形表面和平表面。
5. 如权利要求 1 所述的工具，其特征在于：节距小于 100 微米。
6. 如权利要求 5 所述的工具，其特征在于：节距小于 10 微米。
7. 如权利要求 6 所述的工具，其特征在于：节距小于 1 微米。
8. 如权利要求 7 所述的工具，其特征在于：节距小于 0.1 微米。
9. 如权利要求 1 所述的工具，其特征在于：末端的高度对该末端的宽度的高宽比大于 1:1。
10. 如权利要求 9 所述的工具，其特征在于：末端的高度对该末端的宽度的高宽比大于 2:1。
11. 如权利要求 1 所述的工具，其特征在于：末端的宽度小于 200 微米。
12. 如权利要求 1 所述的工具，其特征在于：末端形成基本直的侧壁，其中，由相邻末端所形成的谷底与侧壁成直角。
13. 如权利要求 1 所述的工具，其特征在于：末端形成下方切去的侧壁，其中，由相邻末端所形成的谷底与靠近该谷底的侧壁形成锐角。
14. 如权利要求 1 所述的工具，其特征在于：末端形成侧壁，其中，由相邻末端所形成的谷底与靠近该谷的侧壁形成钝角。
15. 如权利要求 1 所述的工具，其特征在于：金刚石形成一厚度，其中，

该谷沿着该厚度延伸一段距离。

16. 一种具有对应于将在微复制工具中所形成的凹槽的、聚焦离子束切削加工的末端的多末端金刚石，其中，相邻末端之间的节距小于 200 微米，并且在相邻的末端之间形成谷，该谷经聚焦离子束切削以与将在微复制工具中所形成的凸起相对应。

17. 如权利要求 16 所述的金刚石，其特征在于：金刚石包括两个末端。

18. 如权利要求 17 所述的金刚石，其特征在于：两个末端的内表面沿一轴线相交，以形成谷底。

19. 如权利要求 16 所述的金刚石，其特征在于：该谷构成选自下列表面组的底表面：中凸弧形表面、中凹弧形表面以及平表面。

20. 如权利要求 16 所述的金刚石，其特征在于：节距小于 100 微米。

21. 如权利要求 20 所述的金刚石，其特征在于：节距小于 10 微米。

22. 如权利要求 21 所述的金刚石，其特征在于：节距小于 1 微米。

23. 如权利要求 22 所述的金刚石，其特征在于：节距小于 0.1 微米。

24. 如权利要求 16 所述的金刚石，其特征在于：末端的高度与该末端的宽度的高宽比大于 1:1。

25. 如权利要求 24 所述的金刚石，其特征在于：末端的高度与该末端的宽度的高宽比大于 2:1。

26. 如权利要求 16 所述的金刚石，其特征在于：末端的宽度小于 200 微米。

27. 如权利要求 16 所述的金刚石，其特征在于：末端形成基本直的侧壁，其中，由相邻末端所形成的谷底与侧壁成直角。

28. 如权利要求 16 所述的金刚石，其特征在于：末端形成下方切去的侧壁，其中，由相邻末端所形成的谷底与靠近该谷底的侧壁形成锐角。

29. 如权利要求 16 所述的金刚石，其特征在于：末端形成侧壁，其中，由相邻末端所形成的谷底与靠近该谷的侧壁形成钝角。

30. 如权利要求 16 所述的金刚石，其特征在于：金刚石形成一厚度，其中，该谷沿着该厚度延伸一段距离。

31. 一种方法，它包括：

在微复制工具内形成所要产生的结构特征；以及

聚焦离子束切削一金刚石，使该金刚石具有多个末端，所述末端具有小于 200 微米的节距，以便与将要产生的结构特征相对应。

32. 一种方法，它包括：

接受关于一金刚石的技术规格，其中，该技术规格规定多个末端，所述末端具有小于 200 微米的节距，以便与将在微复制工具中所形成的结构特征相对应；以及

聚焦离子束切削金刚石，以使金刚石具有按照技术规格的多个末端。

33. 一种方法，它包括：

确定将在微复制工具中产生的结构特征；

制定关于一金刚石的技术规格，其中，该技术规格规定与将在微复制工具中所产生的结构特征相对应的多个末端，所述末端具有小于 200 微米的节距；以及

利用离子束切削的金刚石制造微复制工具，其中，制造微复制工具包括用离子束切削的金刚石的多次行程在该工具中切削许多凹槽，其中凹槽的数量多于行程的次数。

34. 如权利要求 33 所述的方法，其特征在于：还包括：

在聚焦离子束切削金刚石之前加工该金刚石，以减少按照技术规格形成多末端所要求的聚焦离子束切削的数量。

35. 一种用于在工件中产生凹槽的金刚石工具加工机器，包括：

包括安装结构和安装在该安装结构中的多末端金刚石的金刚石工具，其中，金刚石的末端经聚焦离子束切削以与将在工件中所形成的凹槽相对应，并且在具有小于 200 微米的节距的相邻的末端之间形成谷，该谷与将在微复制工具中所形成的凸起相对应；以及

接纳金刚石工具和控制金刚石工具相对于工件的定位的设备。

36. 如权利要求 35 所述的金刚石工具加工机，其特征在于：该机器是围绕一轴线转动金刚石工具的飞行切削机。

37. 一种用于在微复制工具内产生凹槽的工具，包括：

安装结构；以及

安装在该安装结构内的多末端金刚石，其中，金刚石的末端经聚焦离子束切削以与将在微复制工具中所形成的凹槽相对应，并且在具有小于 200 微米的节距的相邻的末端之间形成谷，该谷与将在微复制工具中所形成的凸起相对应，多末端金刚石形成一厚度，该谷沿着该厚度延伸一段距离。

带有多末端金刚石的金刚石工具

技术领域

本发明涉及金刚石机加工和用于金刚石机加工的金刚石工具的制造。

背景技术

能够使用金刚石机加工技术制造例如微复制（microreplication）工具的各种各样的工件。通常使用微复制工具用于产生微复制结构的挤压加工或注射模制加工。微复制结构可以包括光学薄膜、具有自身配合轮廓的机械紧固件或具有例如尺寸小于 1000 微米的相对较小尺寸的微复制结构特征的任何模制的或挤压的零件。

微复制工具包括铸造带、铸造辊、注射模、挤压或压纹工具等。通常通过一金刚石机加工过程制造微复制工具，在金刚石机加工过程中使用一金刚石工具在微复制工具内切割凹槽或其它结构特征。使用一金刚石工具制造一微复制工具的加工过程能够是成本高的和耗费时间的。

已经研制了用于形成制造微复制工具的金刚石工具的许多技术。例如，通常使用磨削或研磨加工制造形状精密的金刚石工具。但是，通过磨削或研磨加工能够形成的轮廓和形状的范围是有限的。

发明内容

总的说来，本发明涉及带有多末端金刚石的金刚石工具，它用于制造微复制工具或其它工件。能够使用金刚石工具的多个末端在一微复制工具内同时产生多个凹槽或其它结构特征。金刚石工具可以包括例如一工具后部的一安装结构和安装在该安装结构中的一些末端金刚石。金刚石的不同末端可以对应于在微复制工具中要产生的不同凹槽。

通过在相同的金刚石上产生多个末端，可以改进或简化微复制工具的生产。尤其，由于金刚石具有多个末端，为了在微复制工具中切削许多凹槽可

以仅需要金刚石的少数几个切削行程，这能够降低工具成本。例如，如果金刚石包括两个末端，为在微复制工具中切削凹槽所要求的行程次数可以减少一半。此外，如果该相同的金刚石在微复制工具中形成被切削出的多个凹槽，与通过一单末端金刚石的多次行程微复制工具具有许多凹槽相比较，能够降低在微复制工具中各个切削凹槽之间的变化。以这方式，能够改进微复制工具的质量。改进质量、以及减少与制造微复制工具相关联的生产时间和成本又可以有效地下降与最终产生微复制结构相关联的成本。

在附图和以下描述了提出了这些和其它实施例的附加的细节。从说明和附图以及从权利要求书，其它特征、目的和优点将变得很明显。

附图说明

图 1 是安装在一安装结构中一双末端的离子束切削的金刚石的俯视图。

图 2A 和 2B 是按照本发明的一实施例的一双末端的离子束切削的金刚石的立体图。

图 3 是在制造一微复制工具期间同时切削两凹槽的一双末端金刚石工具的立体原理图。

图 4-7 是按照本发明的不同实施例的离子束切削的双末端金刚石的俯视图。

图 8-12 是示出在一工件内一双末端金刚石切削的凹槽以及在该工件内能够形成的所加工出的凹槽和凸起的多种俯视剖视图。

图 13 示出了为简化一双末端金刚石的形成而可以使用的一技术。

图 14 是按照另一实施例的一多末端离子束切削的金刚石的俯视图。

图 15 示出了为简化像图 14 的一多末端金刚石的制造而可以利用的一技术。

图 16 是类似于图 2B 的一双末端离子束切削的金刚石的立体图。

图 17-24 是示出按照本发明的多个实施例的离子束切削的多种多末端金刚石的另一些俯视剖视图。

具体实施方式

本发明涉及用于制造微复制工具或其它工件的带有多末端金刚石的金刚石工具。尤其，能够使用金刚石工具在制造一微复制工具期间同时切削多条凹槽。从而，能够缩短与制造一微复制工具相关联的切削时间。以这方式，能够简化与最终产生微复制结构相关联的生产周期。

金刚石工具可以包括例如一工具后部的一安装结构、以及安装在安装结构中的一些末端金刚石，其中金刚石的不同末端对应于在微复制工具中要生成的不同凹槽。能够使用聚焦的离子束切削加工形成末端。对于不同的实施例，形成在多末端金刚石中的末端数量可以变化。例如，在某些情况中，在一金刚石上形成双末端，在另一些情况中，在金刚石上形成大量末端。还描述了可以使用在各种不同的微复制工具的制造中的末端的各种形状和尺寸。可使用聚焦的离子束切削加工产生或完成金刚石末端的所需的形状。

此外，还描述关于简化多末端金刚石制造的加工过程。如已述的那样，可以使用聚焦的离子束切削加工形成多末端。但是，因为通常与聚焦离子束切削相关联的高成本，所以可以希望用例如磨削、研磨或金属丝锯（wire sawing）技术的低成本技术对金刚石进行初步加工。然后，能够使用聚焦的离子束切削加工完成末端的形状，以及完成在相邻末端之间的谷的形状。通过减少为生成末端的所需形状所要求的聚焦离子束切削加工量，能够降低成本。

通常，通过减少为在微复制工具上形成凹槽所需的金刚石的切削行程次数，在相同金刚石上生成多末端能够改进和简化微复制工具的制造。并且，通过利用相同的金刚石形成切削在微复制工具中的多条凹槽，能够减少在微复制工具中的各切削凹槽之间的变化，这能够改进微复制工具的质量。所有这些因素都能够有效地降低与最终生成微复制结构相关联的成本。

图 1 是包括安装在一安装结构 14 中的一双末端离子束切削的金刚石 12 的一工具 10 的俯视图。安装结构 14 可以包括用于保持金刚石 12 的一工具后部或其它金属结构或复合物。通过钎焊、低温焊接、一粘接剂或例如一个或多个螺栓或螺钉的任何其它固定结构能够将金刚石 12 固定在安装结构 14 内。安装结构 14 可以具有允许工具 10 被插入一金刚石工具加工机器的一设备的一形状，该机器用于在一微复制工具中切削凹槽或其它结构特征。举个例子，金刚石工具加工机器可以是被构造成用于切入切削的一金刚石车床，其中金

刚石进刀进入一运动的工件，以在该工件中切削凹槽。或者金刚石工具加工机器可以是被构造成用于飞行切削（fly-cutting）的一金刚石车床，其中金刚石在一工件附近围绕一轴线转动，以在该工件中切削凹槽或其它结构特征。

金刚石 12 形成多个末端 16。各末端 16 形成一单独的切削结构，它对应于形成一工件的一特定的结构特征，例如在一微复制工具中所形成的一凹槽。在图 1 所示的实施例中，金刚石 12 包括两个末端 16A 和 16B，不过对于不同的实施例可以形成任何数量的末端。末端 16A 和 16B 相互靠近，以及在两个末端之间形成一谷 17。能够利用聚焦的离子束切削加工形成末端 16A 和 16B，以及还可以利用该加工形成例如谷 17 的谷，该谷形成了为有效的金刚石机加工所需的特征。例如，能够利用聚焦的离子束切削保证尖末 16A 和 16B 的内表面 18A 和 18B 沿着一公共轴线 19 相交，形成谷 17 的一底部。并且，能够使用聚焦的离子束切削在谷 17 中形成结构特征，例如一凹入或凸出的椭圆弧、抛物线、数学规定的表面图形，或随机的或伪随机的图形。

因为谷 17 能够形成在一微复制工具中所生成的一凸起，所以精确地形成谷 17 能够是很重要的。例如，谷 17 可以形成具有相对于一外基准点的一半径的一凹入或凸起的圆弧，或者可以形成在相邻表面 18A 和 18B 之间的一角度。还可以形成谷 17 的各种各样的其它形状。在任一情况下，在微复制工具中所产生的凹槽和凸起可能需要满足精确的规格，以致微复制工具在形成微复制结构方面是有效的。此外，因为在一单件金刚石上形成多个末端 17，所以能够避免与使用在一单件工具中的单独的金刚石相关联的对齐问题。

图 2A 和 2B 是按照本发明的一实施例的一双末端离子束切削的金刚石 12 的立体图。如图所示，金刚石 12 可以形成一厚度 X。谷 17 的一底可以沿着厚度 X 延伸一显著的距离 Y。Y 可以小于或等于 X。如图所示，金刚石 12 的一顶表面可以沿着距离 Y 逐渐缩小，或者可以形成一相等的高度。举个例子，厚度 X 可以是约在 0.5 毫米和 2 毫米之间和距离 Y 可以是约在 0.001 毫米和 0.5 毫米之间，不过本发明不一定被局限于那些情况。

图 3 是用于在一微复制工具 32 的制造期间同时切削两凹槽的一双末端的金刚石工具 10 的立体原理图。在图 3 的例子中，微复制工具 32 包括一铸造辊，不过也能够使用金刚石工具 10 制造例如铸造带、注射模、挤压或压纹工

具或其它工件的其它微复制工具。可以将金刚石工具 10 固定在一金刚石工具加工机器 34 中，该机器相对于微复制工具 32 定位金刚石工具 10，以及移动金刚石工具 10，例如相对于微复制工具 32 可以围绕一轴线转动(如箭头所示)。同时，微复制工具 32 可绕一轴线旋转。金刚石工具加工机器 34 可以被构造成通过进给或螺纹切削技术使金刚石工具 10 通过进入一转动的微复制工具 32，以在微复制工具 32 中切削凹槽。或者，可以将金刚石加工机器 34 构造成用于飞行切削，其中金刚石工具 10 在微复制工具 32 附近围绕一轴线转动，以在微复制工具 32 中切削凹槽或其它结构特征。还可以将金刚石工具加工机器构造成用于划痕或划线，其中金刚石工具 10 通过一工件很缓慢地移动。在任何情况下，能够在工件上切削凹槽和形成凸起。形成的凹槽和凸起可以形成利用微复制工具 32 所生成的微复制结构的最终形状，例如在一挤压加工期间。或者，通过在工件中的材料的移动而不是一微复制工具的移动，所形成的凹槽和凸起可以形成结构特征。

因为金刚石工具 10 提供了具有多末端的一金刚石，所以为在微复制工具上切削凹槽仅需要金刚石工具的少数几次行程。这能够降低生产成本和加速与制造微复制工具相关联的生产周期。一工件的制造如果在某些情况下不是数天的话也能够花费许多小时。在金刚石工具 10 内结合供同时使用的两个或多个末端能够将生产周期缩短至那个时间的几分之一。例如，如果金刚石包括两个末端 16 (如图 3 所示)，那么在微复制工具 32 内切削凹槽所要求的行程次数相对于包括一单尖端金刚石的一金刚石工具能够减少一半。可以附加另一些末端 16 进一步以类似方式得益。并且，因为相同的金刚石在微复制工具 32 中形成切削出的多条凹槽，能够减少在微复制工具 32 内的各切削凹槽之间的变化，这能够改进微复制工具 32 的质量。改进质量和降低与制造微复制工具 32 相关联的成本可以有效地降低与最终形成微复制结构相关联的成本。

相反，当使用一单末端金刚石形成在一微复制工具上的凹槽时，可以造成在相邻凹槽之间的深度变化。这深度方面的变化有时称为“清除(clean-up)”，这是因为可以要求对微复制工具进行附加的修改，以调节形成在微复制工具上的凹槽深度和凸起高度。当使用一多末端金刚石时，减少或避免这清除。

在该情况下，由多末端金刚石的相邻尖端可以形成产生在微复制工具中的相邻凹槽的深度。从而，如果将相邻开端的高度形成为基本相同，那么在微复制工具中形成的相邻凹槽的深度也可以是相同的。避免或减少清除还能够减少与形成微复制结构相关联的时间和成本。

图 4 至 7 是按照本发明的多个实施例的双末端离子束切削的金刚石的俯视图。如由图 4—7 的例子能够理解的那样，末端可以形成为具有任何各种各样的形状和尺寸。例如，如图 4 所示，末端 16C 和 16D 可以形成基本为矩形。在该情况下，谷 17C 的底部可以是平行于末端 16C 和 16D 的一顶表面的一平表面。或者，谷 17C 可以形成为例如一凹入或凸出弧形的一非平表面。

如图 5 所示，末端 16E 和 16F 可以形成为带平顶的渐缩的形状。在该情况下，由末端 16E 和 16F 形成的侧壁可以是渐缩的形状，以致末端 16E 和 16F 形成带平顶的棱锥状形状。谷 17E 的底部也可以是平行于末端 16E 和 16F 的一顶表面的一平表面。或者，谷 17E 的底部或末端 16E 和 16F 的顶部可以是非平形状。

如图 6 所示，末端 16G 和 16H 形成下方切去的侧壁。换句话说，由相邻末端 16G 和 16H 形成的谷 17G 的底部相对于靠近谷 17G 的底部的侧壁形成一锐角。末端 16 的这些和其它形式对于不同的应用可能是所希望有的。

末端 16 还可以有许多不同的尺寸。如图 7 所示，可以由一个或多个变量表示末端的尺寸，包括高度（H）、宽度（W）和节距（P）。高度（H）指的是从谷的底部到末端的顶部的最大距离。宽度（W）可以定义为平均宽度，或如图 7 所标注的、定义为一末端的最大宽度。节距（P）指的是相邻末端之间的距离。能够用于定义末端尺寸的另一数值称为高宽比。高宽比是高度（H）对宽度（W）的比值。由聚焦离子束切削加工产生的试验的金刚石工具已表明实现了许多不同的高度、宽度、节距和高宽比。

例如，通过将高度（H）和/或宽度（W）形成为小于约 500 微米，小于约 200 微米，小于约 100 微米，小于约 50 微米，小于约 10 微米，小于约 1.0 微米或小于 0.1 微米。此外，可以将节距形成为小于约 500 微米，小于约 200 微米，小于约 100 微米，小于约 50 微米，小于约 10 微米，小于约 1.0 微米或小于约 0.1 微米。高宽比可以形成为大于约 1:5，大于约 1:2，大于约 1:1，大

于约 2:1，或大于 5:1。利用聚焦的离子束切削还可以实现较大或较小的高宽比。这些不同的形状和尺寸对于不同的应用可能是有利的。

聚焦的离子束切削涉及其中例如镓离子的离子朝金刚石加速以便切去金刚石的原子（有时称为消融）的一加工过程。镓离子的加速可以在一个原子接一个原子的基础上从金刚石去除原子。还可以使用利用水蒸汽的蒸汽提升技术改进聚焦的离子束切削加工。一适合的聚焦离子束切削机是可从俄勒冈州、Portland 的 FEI 有限公司购得的 Micron 型 9500。按照本发明的原理，已试验证实能够使用聚焦离子束切削加工制造多末端金刚石。通常，能够形成在一微复制工具中所产生的结构特征。那么，能够进行聚焦离子束切削以形成具有对应于要产生的结构特征的多末端的一金刚石。

为了制造具有多末端的一离子束切削的金刚石，人们能够规定在一微复制工具中所要形成的结构特征，以及产生关于一金刚石的一技术规格，其中技术规格确定了对应在在一微复制工具中所要形成的结构特征的多末端。然后能够使用该技术规格执行聚焦离子束切削，以制造按照该技术规格的一金刚石。可以用于制造一个或多个离子束切削的金刚石的聚焦离子束切削服务的一典范的提供机构是北卡罗来纳州、Raleigh 的金属分析局。

聚焦离子束切削通常是很昂贵的。因此，为降低与一多末端金刚石的制造相关联的成本，希望在将金刚石送到聚焦离子束切削加工之前对将要进行离子束切削的金属初步加工。例如，可以使用如研磨、磨削或金属丝锯技术的花钱较少的技术切去金刚石的主要部分。可以需要聚焦离子束切削加工实现以上所列的一个或多个尺寸或结构特征。仍然，通过在聚焦的离子束切削之前初步加工金刚石，能够缩短用于制造最终的离子束切削的金刚石所要求的聚焦离子束切削的时间。研磨涉及利用一松弛的磨料从金刚石去除材料的一加工过程，而磨削涉及其中利用固定在一介质或基底中的一磨料从金刚石去除材料的一加工过程。

图 8 是示出在一工件 82 中切削凹槽的双末端金刚石 80 的俯视剖视图。图 9 是示出由图 8 所示的切削所造成的凹槽 91A 和 91B 以及凸起 92 的工件 82 的俯视剖视图。如从图 8 和 9 能够理解的那样，由金刚石 80 的相邻末端之间形成的谷确定了凸起 92。为此，凸可以有离开工件 82 的一外表面的一距离

(D)。换句话说，从工件去除对应于距离 D 的材料数量以形成凸起 92 的顶。这可能导致相对于利用一单尖端的金刚石产生的凸起、在工件 82 上形成的诸凸起之间的更均匀的一致性。此外，可以减少或避免凸起 92 的清除。

凹槽 91A 和 91B 还相互之间具有基本相同的深度。相反，当使用一单末端金刚石形成在一微复制工具中的凹槽时，在相邻凹槽之间可以造成深度变化。通过使用一多末端金刚石同时切削凹槽也可以减少或避免与在相邻凹槽之间深度变化相关联的清除。

图 10 和 11 是示出双末端金刚石 80 切削工件 82 内的随后的凹槽（图 10）和从该切削产生的随后的凹槽和凸起（图 11）的又一俯视剖视图。换句话说，图 10 中所示的切削可以跟随于图 8 所示的切削。如图 11 所示，与凸起 102 相关联的清除可以需要到达距离 D 的范围。但是，可以减少或避免在其它凸起 92 和 104 上的清除。并且，因为由工件 82 类似地形成凸起 92 和 104，所以能够较容易地由距离 D 确定在凸起 102 上所要求的清除的数量，这数量对应于在由金刚石 80 进行的各自切削期间从凸起 92 和 104 的顶部去除的材料相同数量。简言之，通过使用一多末端金刚石，能够在工件 82 内产生较精确的结构特征和可以减少所要的清除的数量。

图 12 示了对于图 10 所示的切削技术的一可替换选用的方案。图 12 是示出对于图 8 所示的切削进行一随后切削的双末端金刚石 80 的俯视剖面图。但是，在图 12 中，随后的切削与前一切削部分地重叠。换句话说，金刚石 80 的最左方末端跟随凹槽 91B（图 9），以及金刚石 80 的最右方末端切削另一凹槽。这一切削技术可以造成在工件内所产生的结构特征之间较精确的相似性，以及可以减少或避免清除。在某些情况下，在一金刚石上可以形成大量末端，但是在随后的切削过程中仅一个末端重叠。可以利用部分地重叠的末端相对于工件精确地定位金刚石，以致在工件内被切削出的结构特征在高度和深度方面具有基本相似性。

图 13 示出了可以用于简化制造一双末端金刚石的一技术。通过研磨边缘 131A 和 131B 可以初步加工金刚石 130。同样，能够利用一金属丝钮产生一初步的谷 132。这些简单的加工步骤能够显著地缩短形成最后的离子束加工的金

送到一聚焦离子束切削加工（如图 13 的箭头所概念上所表示的）。能够利用聚焦的离子束切削加工使镱离子加速到达金刚石 130，以便去除金刚石原子，以最终形成多末端的离子束切削的金刚石 10。

如以上简要描述的，一多末端金刚石可以包括任何数量的末端，以及末端可以采用多种多样的形状和尺寸。图 14 是示出一多末端金刚石的一俯视图。在图 14 的例子中，多末端金刚石 140 形成有九个分开的末端。像图 14 中所示的一金刚石的末端可以形成约 0.1 微米的宽度（W）、约 0.2 微米的节距（P）、约 0.2 微米的高度（H）和约 2:1 的高宽比（H:W）。类似于图 2，金刚石 140 可以在一厚度方向延伸一距离，金刚石的谷也可以在厚度方向延伸一距离。

图 15 示出了可以用于简化制造像图 14 所示的一多末端金刚石的一技术。在该情况中，可以通过研磨或磨削侧边 151A 和 151B 初步加工金刚石 150，以便形成一较宽的凸起 152。一旦被加工，就能够将金刚石 150 送到一聚焦离子束切削加工（如图 15 的箭头在概念上所表示的）。然后能够进行聚焦离子束切削加工，以将镱离子加速到达金刚石 150，以便切去金刚石原子，用于按照技术规格最终形成多末端离子束加工的金金刚石 140。

图 16 示出了类似于图 2B 的一双末端离子束切削的金刚石。如图 16 所示，金刚石 12 可以形成五个特定形成的表面（S1—S5）。可以通过磨削或研磨技术形成表面 S1、S2 和 S3，以及可以通过聚焦离子束切削技术形成表面 S4 和 S5。

图 17—24 是示出按照本发明的多个实施例的离子束加工的多种多末端金刚石的又一些俯视剖视图。如图 17 所示，一金刚石可以包括不同形状和尺寸的末端。例如，可以利用末端 171 在一工件内形成一种型的结构特征，以及可以利用诸末端 172 在一工件内形成另一类似的结构特征。举个例子，末端 171 的高度可以比末端 172 的高度高约 5 倍以上、高约 10 倍以上或高约 20 倍以上。

如图 18 所示，一金刚石可以包括由诸相对较小的末端 182 分开的两个相对较大的末端 181A 和 181B。在这例子中，诸末端 182 形成了一周期的正弦函数曲线形状。类似地，如图 19 所示，诸末端也形成了一周期的正弦函数曲线表面形状。也可以形成任何其它数学函数、随机或伪随机表面。图 20 示出

了一双末端金刚石的一稍许变化的型式，其中末端 201 的外表面 203 形成一角度，该角度不同于内表面 202 的角度。

图 21 示出了其中诸末端 211 形成在末端 212 的一侧面上的一金刚石。图 22 示出了其中诸末端 221 和 222 形成有不同高度的一金刚石。还可以形成不同的谷、不同的内表面壁角和/或不同的节距。

图 23 示出了其中末端形成具有一凸形半径 (R) 的一谷的一金刚石。图 24 示出了其中多个周期的正弦状末端跟随着该金刚石的一弧形表面的一金刚石。本发明的这些和许多其它变化都在本发明的范围内。

已描述了许多实施例。例如，已描述了用在金刚石工具加工机器中的多末端离子束切削的金刚石。然而，对于以上所述的实施例能够作出许多不同的实施例，而不脱离以下权利要求书的范围。例如，可以使用多末端金刚石切削凹槽或其它结构特征，形成其它型式的工件，例如不同于微复制工具的工件。因此，其它执行情况和实施例都在下列权利要求书的范围之内。

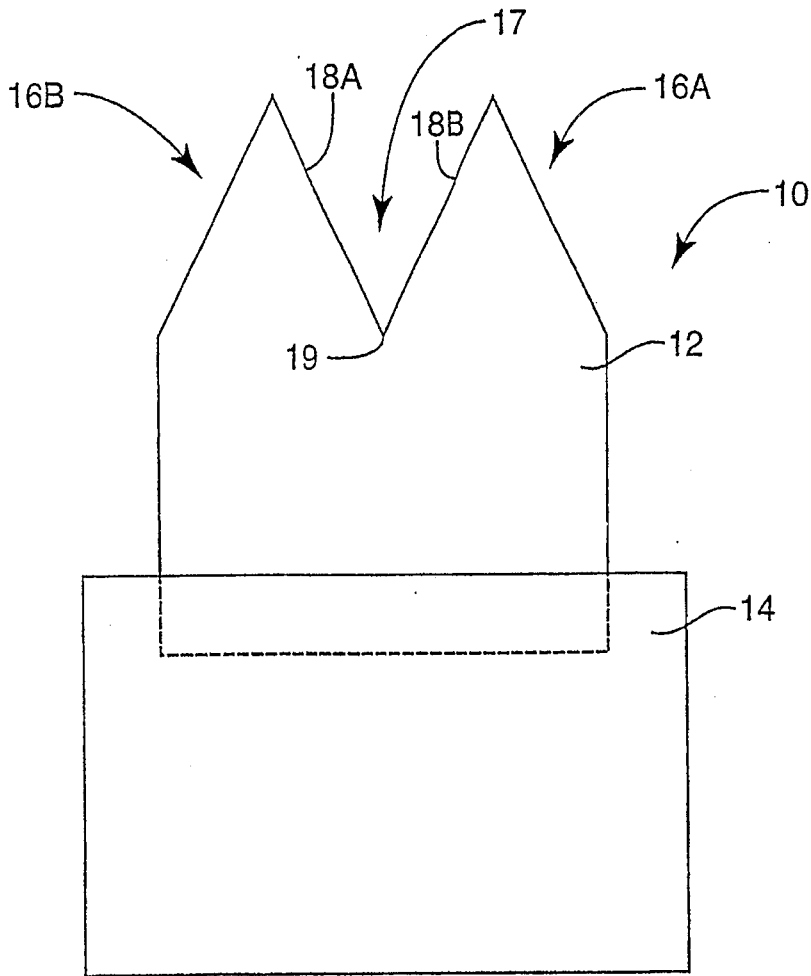


图 1

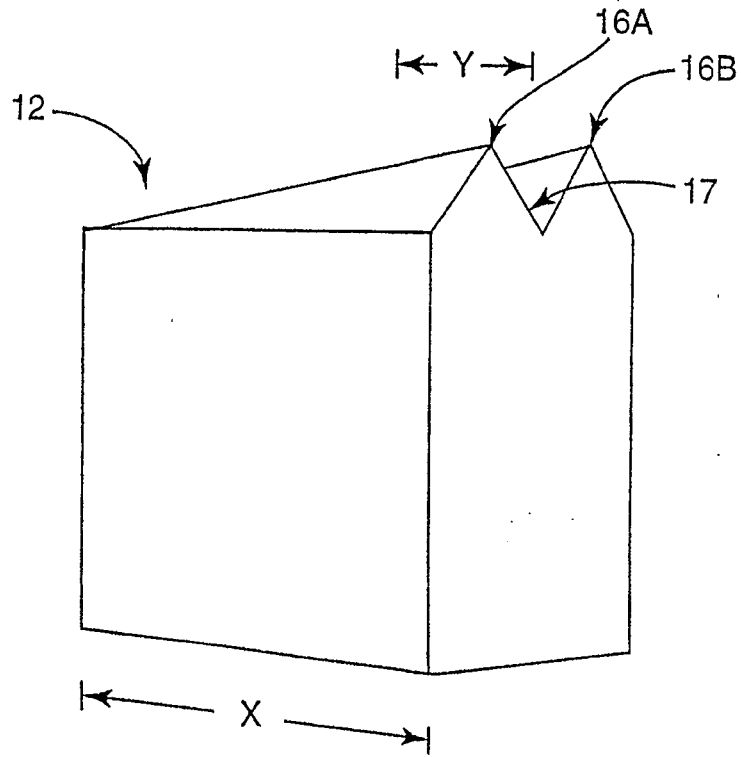


图 2A

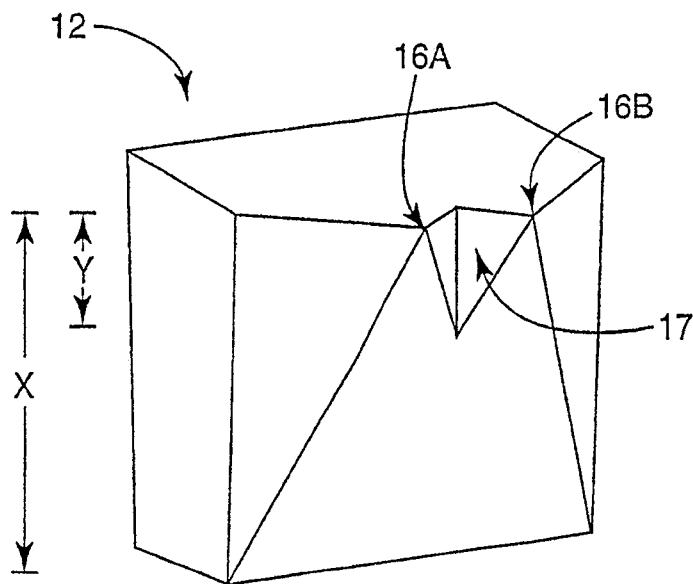


图 2B

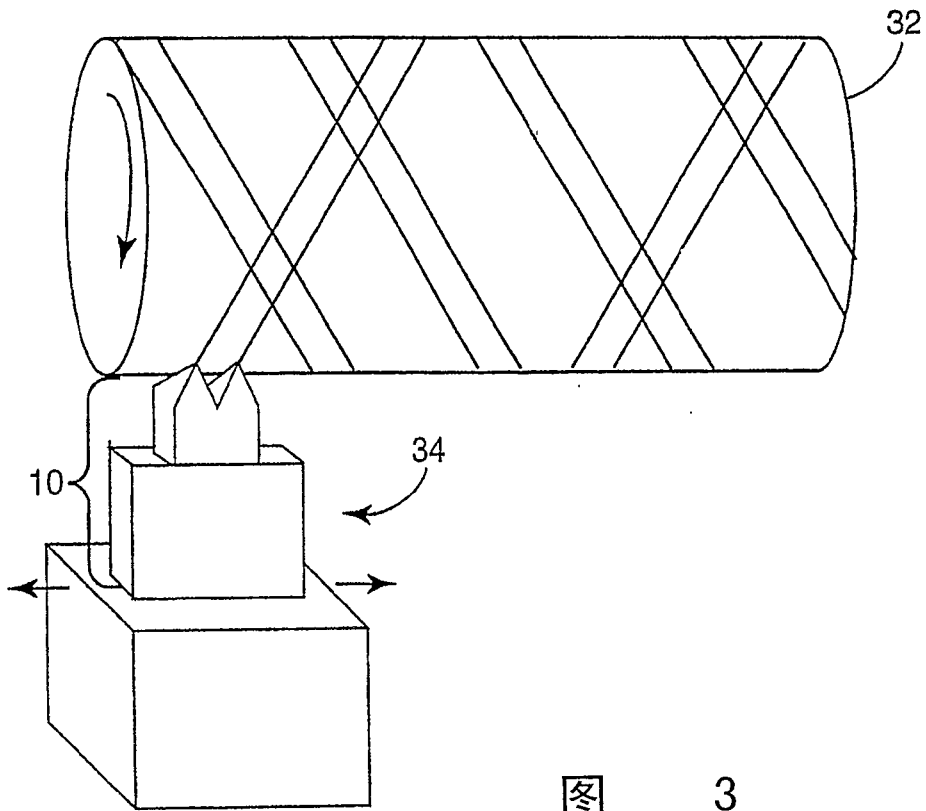


图 3

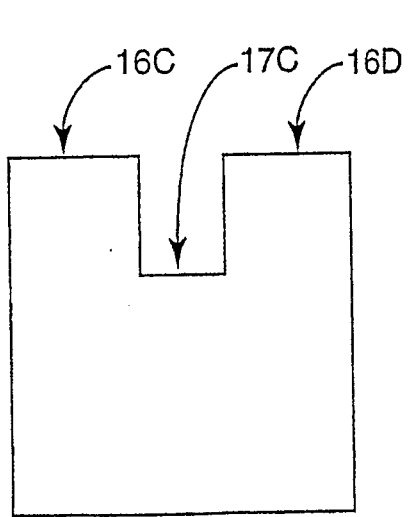


图 4

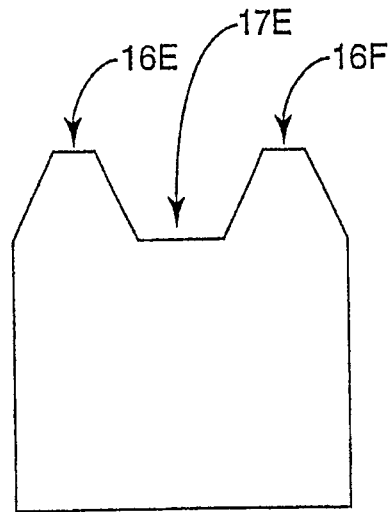


图 5

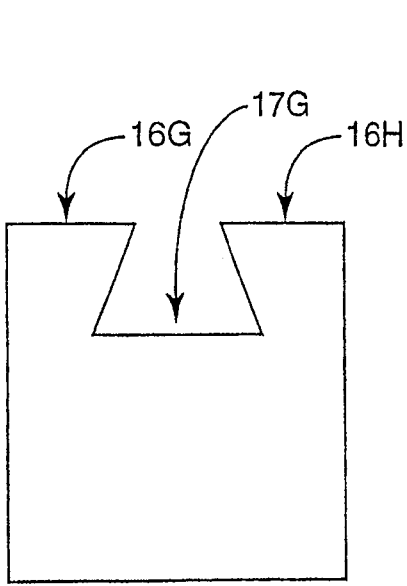


图 6

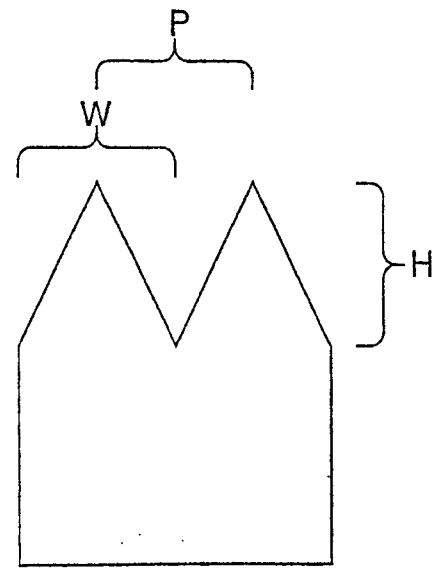


图 7

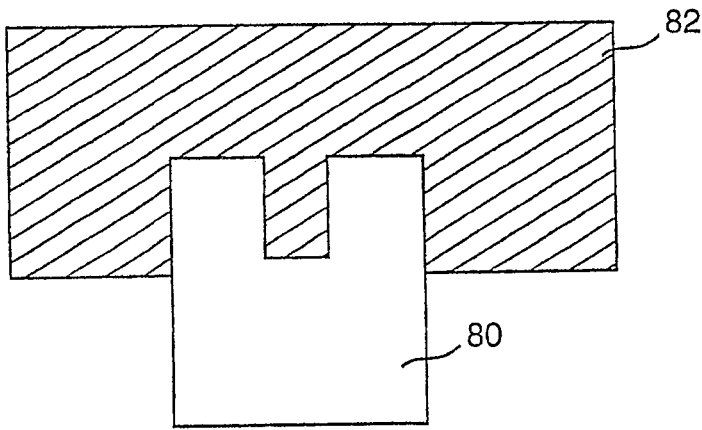


图 8

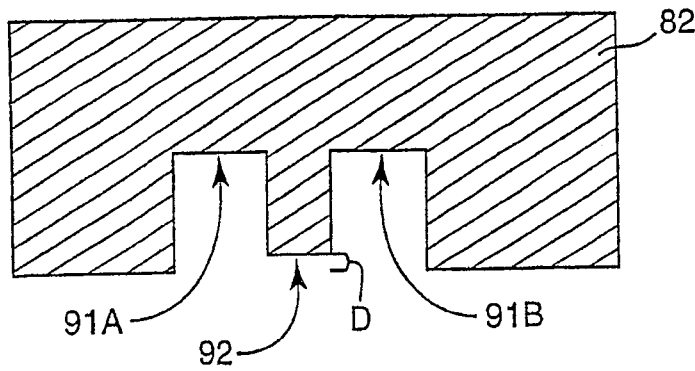


图 9

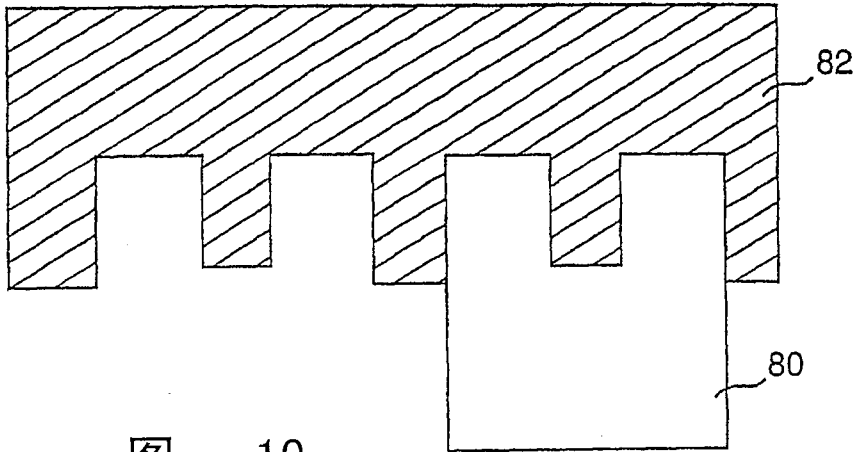


图 10

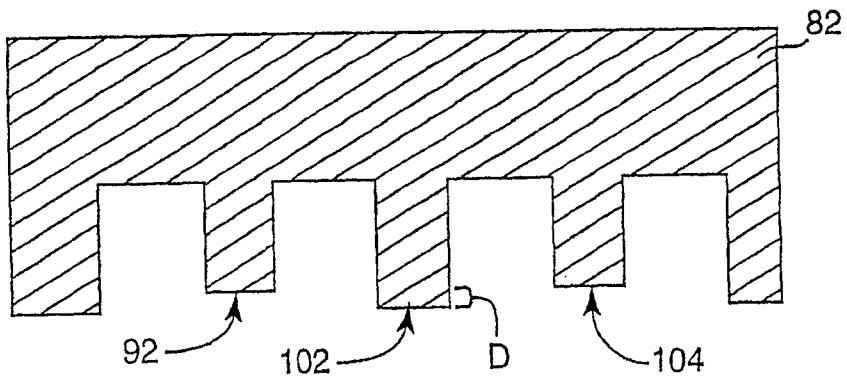


图 11

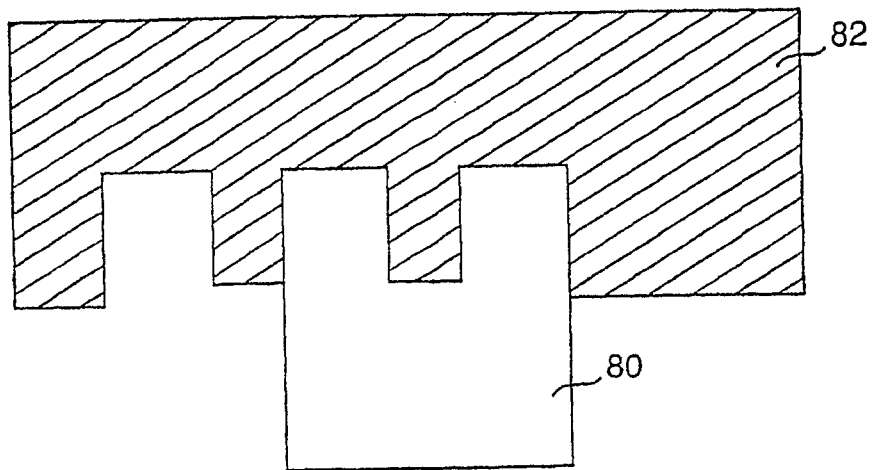


图 12

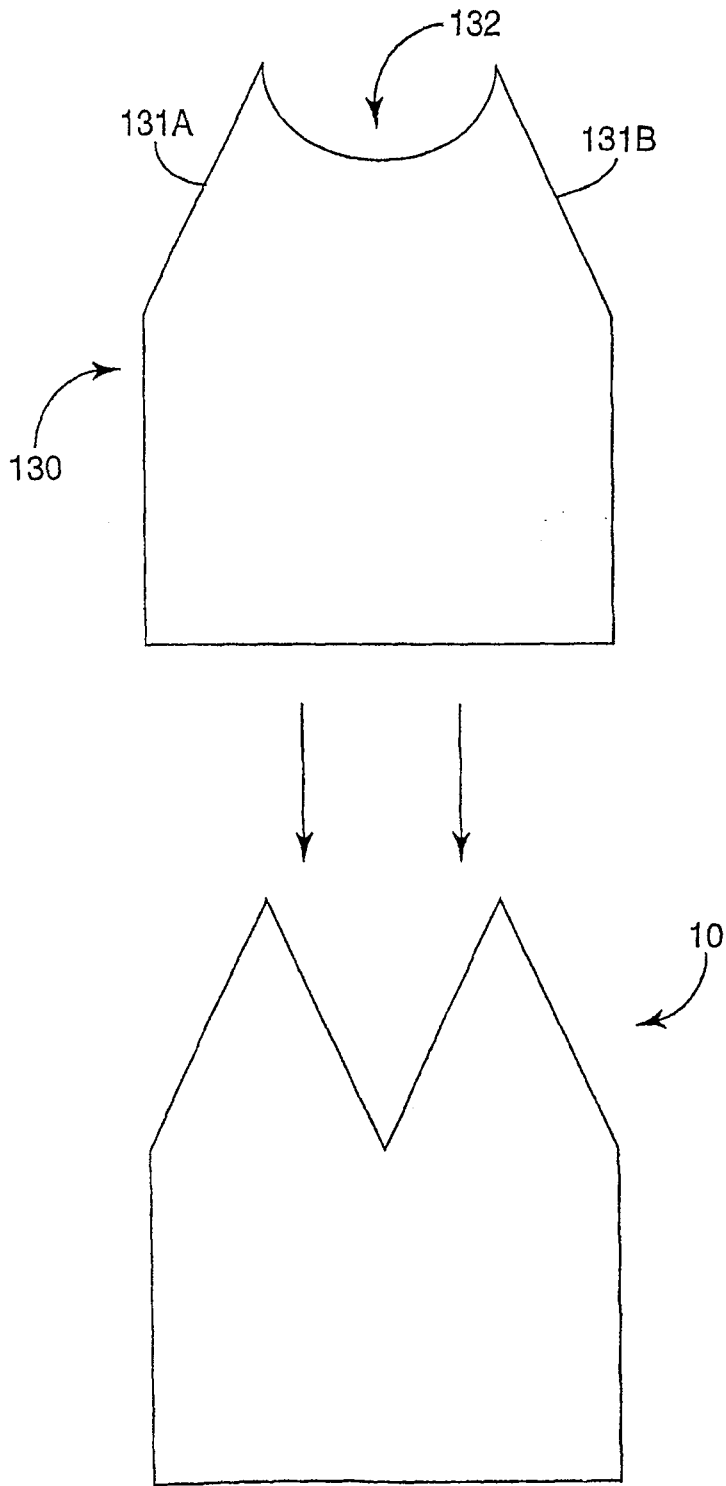


图 13

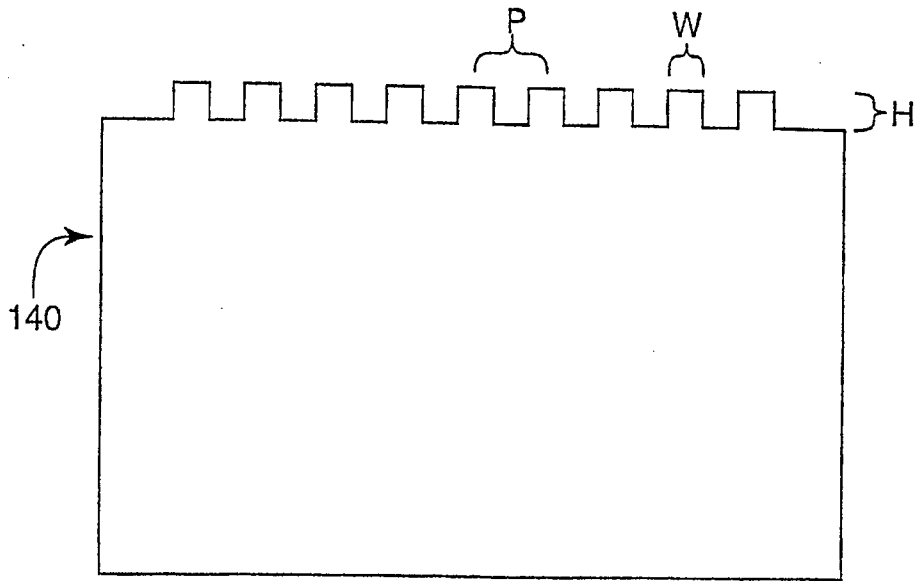


图 14

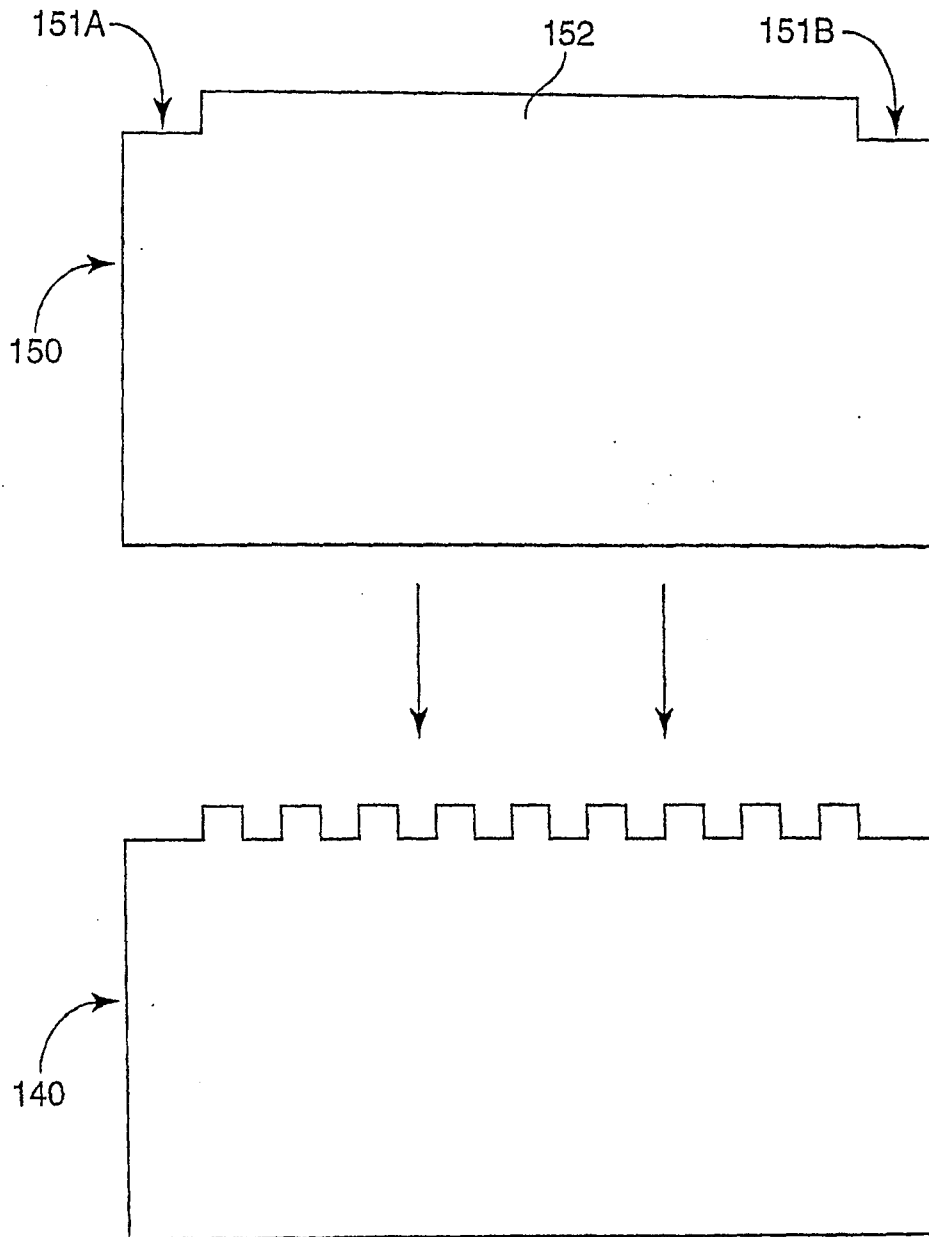


图 15

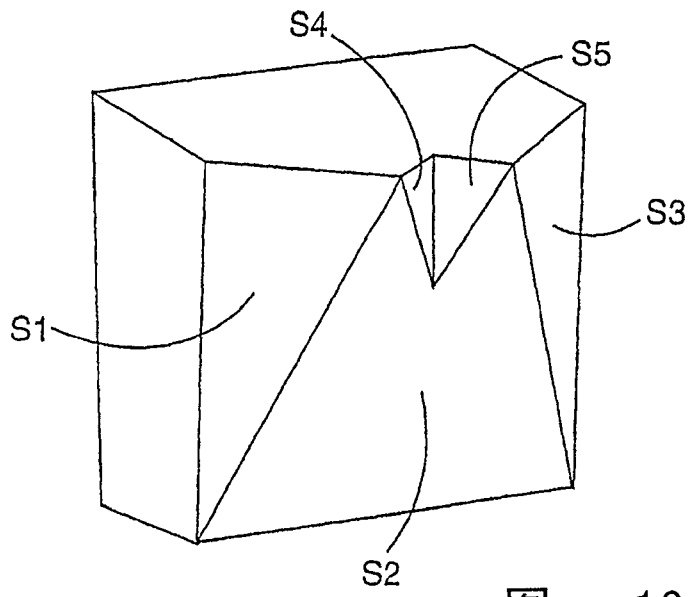


图 16

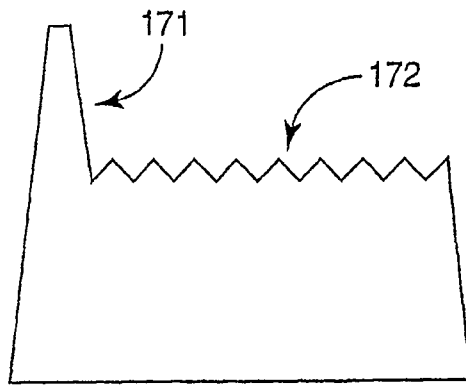


图 17

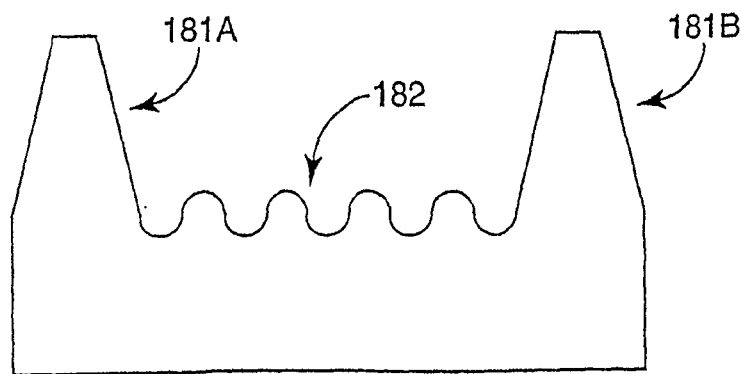


图 18

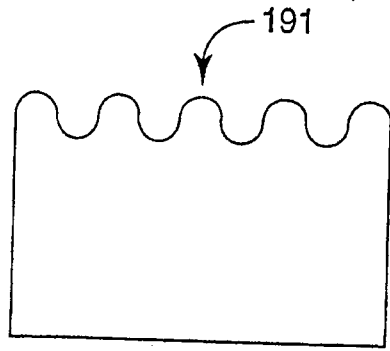


图 19

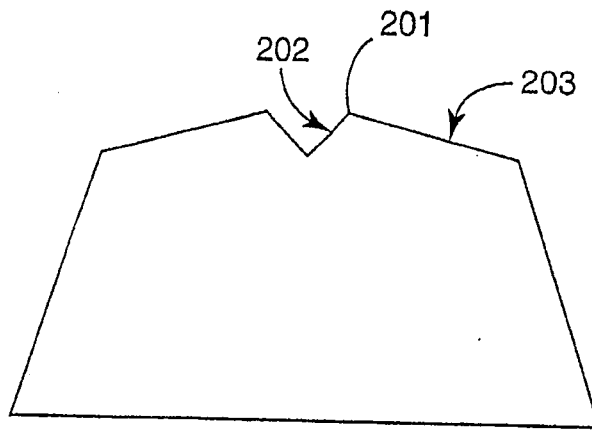


图 20

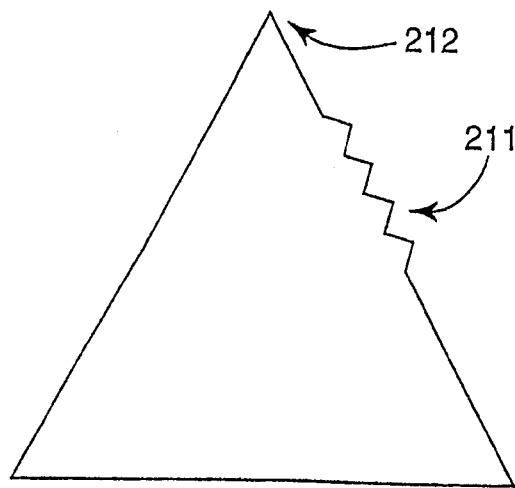


图 21

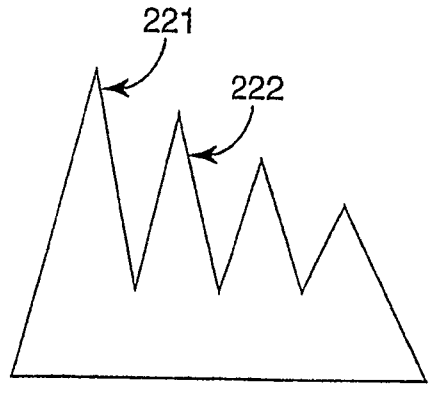


图 22

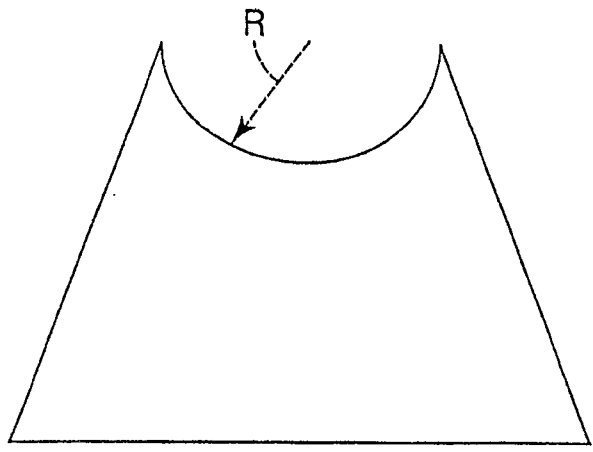


图 23

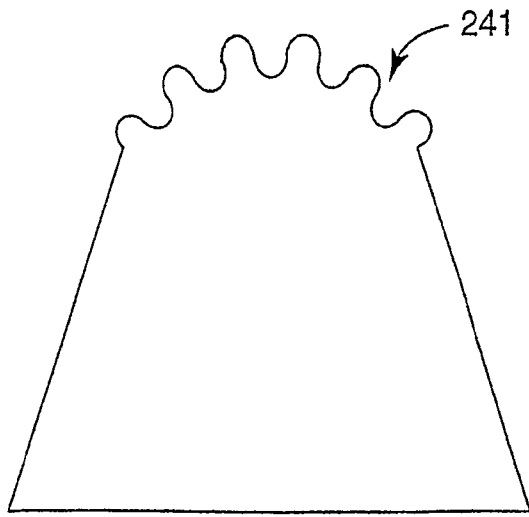


图 24