



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103373011 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 11

(21) 申请号 201310104995. 1

(22) 申请日 2013. 03. 28

(30) 优先权数据

13/450, 823 2012. 04. 19 US

(73) 专利权人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 M·P·科扎 M·S·威伦斯基

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 赵蓉民 张全信

(51) Int. Cl.

B32B 5/26(2006. 01)

(56) 对比文件

EP 0447090 A1, 1991. 09. 18,

US 6060163 A, 2000. 05. 09,

CN 101522518 A, 2009. 09. 02,

CN 101711212 A, 2010. 05. 19,

CN 101524903 A, 2009. 09. 09,

审查员 王镜

权利要求书4页 说明书16页 附图16页

(54) 发明名称

具有纵向变化几何形状的纤维的复合制品

(57) 摘要

本发明的名称是具有纵向变化几何形状的纤维的复合制品。复合制品可包括基体和嵌入基体的多条纤维。每条纤维具有纤维长度和纤维几何形状。至少部分纤维的纤维几何形状可沿着纤维长度改变。

1. 复合制品,包括:

基体;

嵌入所述基体的多条纤维;

每条纤维具有纤维长度、纵轴和纤维几何形状;

在沿着所述纤维长度的任何点上,所述纤维具有在所述纵轴的两侧上的材料;所述纤维几何形状沿着所述纤维长度以这种方式改变:使得至少部分所述纤维包括第一部分和第二部分,所述纤维包括沿所述纵轴的横截面面积的改变和/或沿所述纵轴的横截面形状的改变;以及

所述多条纤维被布置为使得一条纤维的所述第二部分至少部分嵌套,或者被布置为响应于造成所述纤维移动更靠近在一起的力与相同层中和/或邻近层中的邻近的一条纤维的所述第一部分嵌套。

2. 权利要求1所述的复合制品,其中:

所述横截面面积相对于所述纵轴在沿着所述纤维长度的不同位置偏移。

3. 权利要求1所述的复合制品,其中:

所述横截面形状具有贯轴;并且

所述贯轴具有沿着所述纤维长度改变的取向。

4. 权利要求1所述的复合制品,其中:

所述纤维由第一材料和第二材料组成。

5. 权利要求1所述的复合制品,其中所述基体和所述纤维的至少之一由下述至少之一形成:

热塑性材料,其包括下述至少之一:丙烯酸类、碳氟化合物、聚酰胺、聚乙烯、聚酯、聚丙烯、聚碳酸酯、聚氨酯、聚醚醚酮、聚醚酮酮、聚醚酰亚胺;

热固性树脂,其包括下述至少之一:聚氨酯、酚醛塑料、聚酰亚胺、双马来酰亚胺、聚酯、环氧树脂、倍半硅氧烷;

无机材料,其包括下述至少之一:碳、碳化硅、硼;和

玻璃,其包括E-玻璃(铝硼硅酸盐玻璃)、S-玻璃(铝硅酸盐玻璃)、纯二氧化硅、硼硅酸盐玻璃、光学玻璃、陶瓷、玻璃陶瓷。

6. 权利要求1所述的复合制品,其中:

所述纤维是不透明的和基本上光学透明的至少一种;和

所述基体是不透明的和基本上光学透明的至少一种。

7. 权利要求1所述的复合制品,其中所述复合制品包括在下述至少一种之中:挡风玻璃、座舱罩、窗、隔膜、装甲板、结构面板、建筑面板、非结构制品、分层系统。

8. 权利要求1所述的复合制品,其中所述纤维布置在所述基体中,从而沿着所述纤维长度的所述纤维几何形状变化造成所述基体中的裂纹沿着弯曲路径传播;并且

相对于具有沿着所述纤维长度大致不变的纤维几何形状的纤维的复合制品的基体中的裂纹生长,所述弯曲路径使得所述基体中的裂纹生长抑制。

9. 权利要求8所述的复合制品,其中所述弯曲路径至少部分在下述的至少一个中延伸:

纤维层中的基体材料;和

在邻近层之间的基体材料。

10. 权利要求8所述的复合制品,其中所述纤维的所述纤维几何形状以造成下述至少之一增加的方式变化:

耐损伤性;

模式I层间断裂韧性;和

模式II层间断裂韧性;

其中,所述模式I层间断裂韧性表征为对沿着大致垂直于复合制品的邻近层的方向取向的打开力或剥离力的抗性;

所述模式II层间断裂韧性表征为对大致平行于复合制品的邻近层取向的剪切力的抗性。

11. 制造复合制品的方法,包括下述步骤:

提供多条纤维,每条具有纤维长度、纵轴和纤维几何形状,所述纤维具有在沿着所述纤维长度的任何点上在所述纵轴的两侧上的材料,至少一条纤维具有沿着所述纤维长度以这种方式改变的纤维几何形状:使得至少部分纤维包括第一部分和第二部分,所述纤维包括沿所述纵轴的横截面面积的改变和/或沿所述纵轴的横截面形状的改变,所述多条纤维被布置为使得一条纤维的所述第二部分至少部分嵌套,或者被布置为响应于造成所述纤维移动更靠近在一起的力与相同层中和/或邻近层中的邻近的一条纤维的所述第一部分嵌套;和

将所述纤维嵌入基体。

12. 权利要求11所述的方法,进一步包括下述步骤:

沿着所述纤维长度改变所述纤维的横截面形状。

13. 权利要求11所述的方法,进一步包括下述步骤:

沿着所述纤维长度改变所述纤维的横截面面积。

14. 权利要求11所述的方法,进一步包括下述步骤:

使所述纤维的横截面形状相对于其纵轴偏移。

15. 权利要求11所述的方法,进一步包括下述步骤:

形成第一材料和第二材料的所述纤维。

16. 权利要求11所述的方法,进一步包括下述步骤:

以并行布置放置所述纤维以形成层,所述纤维的每条具有一系列的由第一部分隔开的第二部分;和

放置所述纤维以使所述层中的一条纤维的所述第二部分至少部分与所述层中紧邻的一条纤维的所述第一部分嵌套。

17. 复合制品,包括:

基本上光学透明的聚合基体;

嵌入所述基体的多条基本上光学透明的纤维,每条纤维包括:

纤维长度、纵轴和纤维几何形状;

在沿着所述纤维长度的任何点上,所述纤维具有在所述纵轴的两侧上的材料;

所述纤维几何形状沿着至少部分所述纤维长度以这种方式改变:使得至少部分纤维包括第一部分和第二部分,所述纤维包括沿所述纵轴的横截面面积的改变和/或沿所述纵轴的横截面形状的改变;以及

所述纤维的所述第二部分至少部分与相同层中和/或邻近层中的邻近的一条纤维的所述第一部分嵌套。

18. 权利要求17所述的复合制品, 其中:

所述纤维几何形状具有横截面面积; 并且
所述横截面面积沿着所述纤维长度可改变。

19. 权利要求17所述的复合制品, 其中:

所述纤维几何形状具有横截面形状; 并且
所述横截面形状沿着所述纤维长度可改变。

20. 权利要求19所述的复合制品, 其中:

所述纤维几何形状具有横截面面积; 并且
所述横截面面积沿着所述纤维长度基本上不变。

21. 权利要求17所述的复合制品, 其中:

所述纤维具有沿着所述纤维长度延伸的纵轴;
所述纤维几何形状具有横截面面积; 并且
所述横截面面积相对于所述纵轴在沿着所述纤维长度的不同位置偏移。

22. 权利要求17所述的复合制品, 其中:

所述纤维几何形状的改变包括沿着所述纤维长度的一系列所述第一部分和所述第二部分。

23. 权利要求17所述的复合制品, 其中:

所述纤维具有范围从3微米至5000微米的纤维厚度。

24. 使交通工具的复合制品负荷的方法, 包括下述步骤:

提供复合制品作为嵌入基体的多条纤维, 每条所述纤维具有纤维长度、纵轴和纤维几何形状, 所述纤维具有在沿着所述纤维长度的任何点上在所述纵轴的两侧上的材料, 所述纤维几何形状沿着所述纤维长度以这种方式改变: 使得至少部分纤维包括第一部分和第二部分, 所述纤维包括沿所述纵轴的横截面面积的改变和/或沿所述纵轴的横截面形状的改变, 所述多条纤维被布置为使得一条纤维的所述第二部分至少部分嵌套, 或者被布置为响应于造成所述纤维移动更靠近在一起的力与相同层中和/或邻近层中的邻近的一条纤维的所述第一部分嵌套;

使所述复合制品处于包含静态负荷条件的第一状态; 和

使所述复合制品处于在包含动态负荷条件的第二状态。

25. 权利要求24所述的方法, 进一步包含下述步骤:

响应沿着所述纤维长度改变的所述纤维几何形状, 使所述基体中的裂纹沿着弯曲路径传播。

26. 权利要求24所述的方法, 其中:

所述静态负荷条件与基本上不移动的交通工具相关; 和
所述动态负荷条件与运动中的所述交通工具相关。

27. 权利要求17所述的复合制品, 其中:

所述纤维几何形状以半周期方式沿着至少部分所述纤维长度变化;
所述半周期变化包括沿着所述纤维长度以间隔定位的第二部分组, 并且所述第二部分

组可由具有比一个所述第二部分的纤维宽度小的纤维宽度的所述纤维的至少一部分隔开。

具有纵向变化几何形状的纤维的复合制品

技术领域

[0001] 本公开一般涉及复合材料,并且更具体地涉及纤维强化的复合制品,其具有改进的弹道学性能和光学性能。

背景技术

[0002] 复合结构通常包括用纤维强化的基体,其中纤维嵌入基体中。通常设计复合结构以沿着纤维的长度传输负荷。来自一条纤维的负荷可通过穿过基体材料转移至在相同层的另一纤维或至在邻近层的纤维。但是,基体通常比纤维更弱,这样当足够高的负荷横跨基体从一条纤维转移至另一纤维时,基体将破坏。基体的破坏使得纤维在复合结构内移动。

[0003] 在其中复合面板受射弹冲击的弹道学事件期间,纤维在基体内移动的能力可影响复合面板的弹道学性能。例如,基体中纤维移动的能力可影响复合面板对射弹穿透的抵抗性。对于透明的复合面板,纤维相对于基体的移动也可影响复合面板的光学性能。就此而言,在弹道学事件期间,纤维相对于基体的移动可影响由于射弹的冲击而具有降低的光学性能的区域大小。

[0004] 可见,对其中可控制纤维在基体中的移动从而可改进复合结构的弹道学性能和光学性能的复合结构,本领域存在需要。

发明内容

[0005] 通过本公开具体解决和缓解了上述与复合制品相关的需要,在一个实施方式中本公开提供具有基体和嵌入基体中的多条纤维的复合制品。每条纤维具有纤维长度和纤维几何形状。至少部分纤维的纤维几何形状可沿着纤维长度改变。

[0006] 在进一步的实施方式中,公开了制造复合制品的方法。方法可包括提供每条具有纤维长度和纤维几何形状的多条纤维的步骤。方法可进一步包括沿着至少部分纤维的纤维长度改变纤维几何形状的步骤。方法可另外包括将纤维嵌入基体的步骤。

[0007] 也公开了使复合制品如交通工具的复合面板负荷的方法。方法可包括提供复合制品作为嵌入基体的多条纤维,其中每条纤维具有纤维长度和纤维几何形状并且其中纤维几何形状可沿着纤维长度改变。方法可包括使复合制品处于包含静态负荷条件的第一状态。方法也可包括使复合制品处于包含动态负荷条件的第二状态。

[0008] 有利地,纤维几何形状变化可增强纤维和基体之间的机械结合。纤维几何形状变化也可增强相邻纤维之间的机械结合。由纤维几何形状变化提供的机械结合可提供控制纤维相对于基体移动的手段。机械结合也可提供控制紧密相邻纤维的纤维滑动或移动的手段。

[0009] 控制纤维的滑动可提供控制参与冲击事件的纤维的部分纤维长度的手段。通过控制参与冲击事件的纤维长度,可改进纤维的能量吸收能力,其可改进复合制品响应射弹冲击的弹道学性能和/或光学性能。

[0010] 已经讨论的特征、功能和优势可在本公开的各种实施方式中独立地实现或可在其

他实施方式中结合,其进一步的细节可参考下述说明和下面的附图领会。

附图说明

[0011] 当参考附图时,本公开的这些和其他特征将变得显而易见,附图中相同的数值指通篇相同的部件并且其中:

[0012] 图1是包含基体和嵌入基体的多条纤维的实施方式中复合制品的透视图;

[0013] 图2是图1的复合制品的分解透视图并且图解了纤维的多个层;

[0014] 图3是图1一部分复合制品的放大透视图并且图解了基体内纤维层的布置并且进一步图解了沿着每条纤维长度纤维几何形状变化;

[0015] 图4是图3层之一的俯视图,其图解了纤维几何形状沿着纤维长度的变化;

[0016] 图5A是图4纤维之一的俯视图,其图解了包括一系列的第一部分和第二部分的纤维几何形状变化;

[0017] 图5B是取自图5A的纤维的侧视图并且图解了基本上平的纤维横截面形状;

[0018] 图5C是取自图5A的纤维的截面图并且图解了第一部分之一的第一横截面形状;

[0019] 图5D是取自图5A的纤维的截面图并且图解了第二部分之一的第二横截面形状;

[0020] 图6A是在纤维中形成开孔的纤维的可选实施方式的俯视图;

[0021] 图6B是取自图6A的纤维的侧视图并且图解了基本上平的纤维横截面形状;

[0022] 图6C是取自图6A的纤维的截面图并且图解了具有横截面面积的纤维的第一横截面形状;

[0023] 图6D是取自图6A的纤维的截面图并且图解了与图6C中横截面面积具有基本上相同的总横截面面积的纤维的第二横截面形状;

[0024] 图7A是包含一系列的第一和第二部分的纤维可选实施方式的俯视图;

[0025] 图7B是取自图7A的纤维的截面图并且图解了第一部分之一的第一横截面形状;

[0026] 图7C是取自图7A的纤维的截面图并且图解了第二部分之一的第二横截面形状;

[0027] 图8A是具有蛇形的纤维的可选实施方式的俯视图;

[0028] 图8B是取自图8A纤维的侧视图并且图解了基本上平的纤维横截面形状;

[0029] 图8C是取自图8B纤维的截面图并且图解了纤维面心(area centroid)偏离纤维纵轴一侧的横截面形状;

[0030] 图8D是取自图8B的纤维的截面图并且图解了面心在与图8C中显示的面心相对侧偏离纵轴;

[0031] 图9A是具有一系列沿着纤维长度延伸的突出部的纤维可选实施方式的俯视图;

[0032] 图9B是取自图9A的纤维的侧视图并且图解了从纤维的上表面和下表面延伸的突出部;

[0033] 图9C是取自图9B的纤维的截面图并且图解了在突出部之一的位置处的第一横截面形状;

[0034] 图9D是取自图9B的纤维的截面图并且图解了在突出部之间的区域中纤维的第二横截面形状;

[0035] 图10A是具有一系列沿着纤维长度延伸的相对大的突出部和相对小的突出部的纤维可选实施方式的俯视图;

[0036] 图10B是取自图10A的纤维的侧视图并且图解了从纤维的上表面和下表面延伸的相对大的突出部和相对小的突出部；

[0037] 图10C是取自图10B的纤维的截面图并且图解了在相对小的突出部之一的位置处的横截面形状；

[0038] 图10D是取自图10B的纤维的截面图并且图解了在相对大的突出部之一的位置处的横截面形状；

[0039] 图11A是形成螺旋形的纤维的可选实施方式的俯视图；

[0040] 图11B是取自图11A的纤维的截面图并且图解了螺旋形；

[0041] 图11C是形成来回扭曲形状的纤维的进一步可选实施方式的俯视图；

[0042] 图11D是取自图11C的纤维的截面图并且图解了来回扭曲形状；

[0043] 图12A是具有矩形横截面形状的一系列第一和第二部分的纤维可选实施方式的俯视图；

[0044] 图12B是取自图12A的纤维的侧视图并且图解了第一和第二部分；

[0045] 图12C是取自图12B的纤维的截面图并且图解了在第一部分之一的位置处的第一横截面形状；

[0046] 图12D是取自图12B的纤维的截面图并且图解了在第二部分之一的位置处的第二横截面形状；

[0047] 图13A是纤维可选实施方式的俯视图，其具有由第一材料形成的纤维核心和由第二材料形成的一系列的立方形第二部分；

[0048] 图13B是取自图13A的纤维的侧视图并且图解了延伸通过系列立方形第二部分视图的纤维核心；

[0049] 图13C是取自图13B的纤维的截面图并且图解了由第一材料形成的纤维核心；

[0050] 图13D是取自图13B的纤维的截面图并且图解了由第二材料形成的立方形第二部分之一；

[0051] 图14A是具有由第一材料形成的纤维核心和一系列由第二材料形成的球形第二部分的纤维可选实施方式的俯视图；

[0052] 图14B是取自图14A的纤维的截面图并且图解了由第一材料形成的纤维核心；

[0053] 图14C是取自图14A的纤维的截面图并且图解了由第二材料形成的球形第二部分之一；

[0054] 图15是具有以半周期方式变化的纤维几何形状的纤维的侧视图；

[0055] 图16是由纤维相对于邻近层的纤维正交布置的层组成的复合制品的一部分的透视图；

[0056] 图16A是图16复合制品的端视图并且图解了交替层中纤维的第二部分通常与邻近层中纤维的第一部分对齐；

[0057] 图16B是图16A复合制品的端视图，其图解了施加至纤维的法向力，其造成在层中以一个方向取向的纤维与以邻近层的不同方向(例如，垂直)取向的纤维啮合；

[0058] 图17是测试制品的侧视图并且图解了射弹冲击测试制品的前侧；

[0059] 图18是图17测试制品后侧视图并且图解了响应射弹对测试制品前侧的冲击，纤维相对大面积的局部和整体参与，这是由于相对少量的纤维与基体结合和/或纤维与纤维结

合；

[0060] 图19是测试制品后侧视图并且图解了纤维相对小面积的局部和整体参与,这是由于相对于图18显示的实施方式增加量的纤维与基体结合和/或纤维与纤维结合；

[0061] 图20是包含第一层、第二层和复合制品的分层系统的透视图；

[0062] 图21是图20分层系统的分解透视图；

[0063] 图22是图解可包括在制造复合制品的方法中的一个或多个操作的流程图；

[0064] 图23是可在一种或多种实施方式中结合复合制品的飞行器的透视图；和

[0065] 图24是图解使用复合制品的方法的实施方式的流程图。

具体实施方式

[0066] 现参考附图,其中图示是为了图解本公开的优选实施方式和各种实施方式的目的,图1显示复合制品10。复合制品10可制造为包含基体18和嵌入基体18中的多条纤维22的纤维强化的复合面板14。有利地,纤维22具有沿着纤维22的长度变化的纤维几何形状32。纤维几何形状32沿着纤维22的纤维长度34的变化可利于纤维22和基体18之间的机械结合(例如,纤维-基体结合)。纤维几何形状32沿着纤维22的纤维长度34的变化也可利于相同层20中邻近纤维之间和/或不同层20中的纤维22之间的机械结合22(例如,纤维与纤维结合)。

[0067] 纤维-基体机械结合可提供控制纤维22相对于基体18的移动或滑动的手段。纤维与纤维机械结合可提供控制纤维与纤维移动或滑动的手段。通过沿着纤维22长度改变纤维几何形状32,可控制参与冲击事件的纤维长度34的部分。有利地,沿着纤维长度34改变纤维几何形状32可改进减速射弹冲击或进入复合制品10的能力。

[0068] 纤维22和基体18之间滑动的量也可提供控制作为射弹通过复合制品10的距离或穿透性的函数的纤维22减弱的手段。就此而言,本公开有利地提供了技术效果:控制或选择性增加参与弹道学事件的每条纤维22的长度部分,从而每条纤维22中的抗拉应变可被分配遍及纤维22的相对更长长度。通过控制(例如,增加)参与弹道学事件的纤维22的部分长度,可控制(例如,增加)在冲击事件期间由纤维22吸收的总的能量。就此而言,可控制纤维22中的拉伸负荷,作为当纤维22达到极限应变值时防止纤维22过早断裂的手段。

[0069] 此外,通过沿着纤维长度34选择性改变纤维几何形状32,可控制纤维22的相对移动,作为控制纤维参与弹道学冲击事件的时间量的手段,该时间量可与纤维22对于减速射弹和增加可被纤维22吸收的射弹能量的量具有的时间量的增加相关。纤维22相对于基体18和相对于彼此的滑动的控制也可通过由具有适当的极限应变值和/或适当的应变速率响应的材料形成纤维22而受到影响或得以改进,如下面更详细描述。就此而言,纤维22可由具有防止纤维22减弱同时也抵抗或防止复合制品10被射弹穿透的极限应变的材料形成。

[0070] 图1中,显示具有制品表面12的复合制品10。复合制品10形成为具有面板表面16并且包括嵌入基体18中的多条纤维22的复合面板14。纤维22可起到基体18的结构加固的作用并且可改进复合制品10的机械和弹道学性能。就此而言,由于纤维22的增强的抗拉强度和目标弹性模数(例如,刚度),纤维22可提供结构强化,以调制复合制品10的比刚度(比劲度)。在本公开中,从动态或高应变速率性质的角度描述性质,比如强度、应变和刚度。

[0071] 在图2中,显示图1的复合制品10或复合面板14的分解视图并且图解了多个层20。在每个层20中,纤维22以并行70布置放置。每条纤维22具有纤维长度34和纵轴36。每个层20

中纤维22的纤维几何形状32可沿着纤维长度34改变。纤维几何形状32可包括横截面面积38和横截面形状40,其每一个或其二者可沿着纤维长度34改变。每个层20中的纤维22可大致彼此对齐,其中纤维22的纵轴36在给定层20中是大致平行的。但是,在本文公开的任何实施方式中,纤维22可并入基体中的编织层(未显示)中并且不限于在层中彼此以并行关系对齐或在层中彼此以基本平行关系对齐。此外,本文公开的任何纤维22的实施方式可以以织物(未显示)实施而没有基体,并且其中关于织物的射弹穿透抵抗性,纤维与纤维结合可以以与本文所述相似的方式提供优势。

[0072] 在一个实施方式中,一个层20中纤维22的纵轴36可以相对于紧邻的一个层20中纤维22的纵轴36以一角度取向。例如,图2图解一个层20中纤维22的纵轴36相对于紧邻其的层20中的纤维22的纵轴36垂直取向。但是,邻近的一个层20中纤维22的纵轴36可取决于期望的复合制品10的铺层堆叠相对于彼此以任何角度取向。

[0073] 图3是图2复合制品10一部分的放大视图并且图解了数个层20。每个层20包括具有沿着纤维长度34变化的纤维几何形状32的纤维22。如上述,层20可包括纤维22,其相对于紧邻层20的纤维22以任何方向取向。例如,图3图解交叉铺层构造,其中一个层20的纤维22相对于紧邻层20的纤维22垂直取向。应当注意,图3是复合制品10的非限制性实施方式的图解并且不应解释为限制基体18中纤维22的可选布置。例如,层20中的纤维22可以相对于其他层20中纤维22以垂直方位取向,如图3中所图解,或纤维22可以以非垂直方位(例如,15°、22.5°、45°、60°、75°等)取向。

[0074] 图4是纤维22的层20的俯视图,其显示纤维几何形状32沿着纤维22的纤维长度34变化。纤维22的纤维几何形状32可由纤维22在沿着纤维长度34的给定位置处的横截面面积38(图3)和/或由纤维22在沿着纤维长度34的给定位置处的横截面形状表征。但是,纤维几何形状32可由另外的参数表征,包括,但不限于,纤维22的第一部分52和纤维22的第二部分54之间过渡的形状。例如,纤维几何形状32可表征为第一部分52和第二部分54之间圆形的或平滑圆角的过渡,如图4中所显示。可选地,几何形状可表征为第一部分52和第二部分54之间相对尖锐的或更陡峭的过渡,如在图12A-12D的实施方式中显示和下面所描述的。

[0075] 在图4中,纤维几何形状32可以以周期性58方式沿着纤维长度34变化。就此而言,纤维22可包括一系列的第二部分54,其可以基本上均匀的方式分布,在第二部分54之间具有基本均匀的间隔。每对第二部分54可由第一部分52分开。纤维几何形状32的周期性58布置可包括沿着纤维长度34基本上类似的和重复的纤维几何形状32。尽管本公开描述以周期性58方式沿着纤维长度34变化的纤维几何形状32,但可提供纤维22具有以半周期性64(图15)方式变化的纤维几何形状32。例如,纤维几何形状32可以相邻一对第二部分54之间逐渐变大或变小的距离变化,比如纤维22的第二部分54之间的间隔逐渐或渐渐增加或减少。另外,纤维几何形状32可以以重复的模式(例如,图15)沿着纤维22的纤维长度34的任何部分变化。纤维几何形状32也可以以非周期性或随机的(未显示)方式沿着纤维长度34变化。

[0076] 在图4中,每条纤维22显示为基本上类似地配置。纤维22每条具有侧表面30并且被布置以在邻近纤维22之间形成间隙72。当纤维22嵌入在基体18中时,每个间隙72可基本上充满基体18材料。纤维几何形状32沿着纤维22的纤维长度34的变化可改进纤维22与基体18的机械结合。另外,如图4中所显示,纤维22可被布置以便纤维22的第二部分54至少部分嵌套74邻近纤维22的第一部分52。有利地,纤维22的至少部分嵌套关系可改进纤维22的机械

结合(例如,纤维与纤维结合)。如上述,纤维22的机械结合可减少纤维与纤维滑动或移动,其可提供控制参与弹道学事件的部分纤维长度34的手段。就此而言,减少的纤维与纤维滑动可导致更大量的纤维22参与弹道学事件。增加参与弹道学事件的纤维22的量可增加纤维22总的能量吸收能力,其可改进复合制品10的弹道学性能和/或复合制品10的冲击后光学性能,如上所述。

[0077] 参看图5A,显示图4的一条纤维22的俯视图。在显示的实施方式中,纤维几何形状32的变化包含第一部分52和第二部分54以周期性58方式沿着纤维长度34交替。尽管显示为相对于纵轴36具有大致对称的构造,但是考虑可提供纤维几何形状32具有不对称的构造(未显示),其中纤维22在纵轴36一侧的构造不同于纤维22在纵轴36相对侧的构造。纤维22具有纤维宽度44,其可定义为纤维22在沿着纤维长度34任何位置的最大宽度。在本文公开的任何纤维实施方式中,为了清楚,图解的纤维几何形状可被放大或可不放大。

[0078] 图5B是图5A纤维22的侧视图。纤维22可提供为大致平的构造,其中纤维22具有上表面26和下表面28,它们大致彼此平行并且其可限定沿着纤维长度34可大致恒定的纤维厚度42。纤维22的纤维厚度42可定义为相对于纤维宽度44垂直地测量。可以以其中纤维22上表面26和下表面28以彼此非平行关系取向的实施方式提供纤维22。

[0079] 图5C是图5A纤维22的第一部分52的横截面。纤维几何形状32(图5A)具有横截面面积38和横截面形状40(图3)。在图5C中,纤维22的第一部分52具有构成矩形的第一横截面面积38a和第一横截面形状40a。矩形横截面形状具有短的贯轴86和长的贯轴88。图5D图解第二部分54(图5A),其具有第二横截面面积38b和可与矩形第一横截面形状40a类似的第二横截面形状40b。就此而言,图5A-5D表示其中横截面面积38沿着纤维长度34可改变并且横截面形状40沿着纤维长度34基本上恒定(例如,矩形)(图5A)的纤维22的实施方式(图5B)。横截面面积38沿着图5A纤维22的纤维长度34的改变是矩形横截面形状40沿着长的贯轴88纵横比增加的结果。图5A-5D中图解的纤维22的实施方式可利于在平面内方向内(例如,层内)纤维与纤维机械结合。

[0080] 参看图6A,显示的是可选实施方式中一条纤维22的俯视图,其中纤维22包括交替的第一和第二部分52、54。第二部分54可包括开孔66,比如至少部分或完全延伸通过纤维22的洞或缝。有利地,可配置纤维22的第二部分54,以便第一部分52中纤维22的横截面形状可相对于第二部分54中纤维22的横截面形状沿着纤维长度34改变。另外,在图6A显示的实施方式中,第二部分54中纤维22的横截面面积可基本上等于第一部分52中纤维22的横截面面积。纤维22的负荷支撑能力(例如,拉伸负荷)可限于在沿着纤维22长度的任何点的最小横截面面积的负荷支撑能力。在图6A中,纤维22的最小横截面面积可位于第一部分52。通过限制第二部分54的横截面面积基本上等于第一部分52的横截面面积,与纤维22放大的横截面面积相关的任何重量障碍(penalty)可被最小化。

[0081] 图6B是图6A纤维22的侧视图。纤维22可提供为大致平的构造,如上面关于图5A-5D纤维22的实施方式所述。就此而言,图6A-6D中显示的纤维22可具有可沿着纤维长度34大致恒定的纤维厚度42。但是,纤维22可以以其中纤维22具有非恒定厚度的实施方式提供。

[0082] 图6C是图6A纤维22的第一部分52的横截面。在第一部分52的纤维几何形状32包括第一横截面形状40a,其由交叉平行线阴影矩形表示并且其围绕第一横截面面积38a。图6D显示具有第二横截面面积38b和第二横截面形状40b的第二部分54。第二横截面形状40b包

含由两个交叉平行线阴影区域之间的开孔66分开的大致矩形纤维22。第二部分54的第二横截面形状40b包含交叉平行线阴影区域对的总体面积。图6D中交叉平行线阴影区域的总体面积可基本上等于图6C中显示的交叉平行线阴影区域。就此而言,图6A-6D图解了可配置的其中纤维22的横截面面积38沿着纤维长度34基本上恒定(图6A)并且横截面形状40沿着纤维长度34改变的许多纤维实施方式之一。

[0083] 参看图7A,显示具有沿着纤维长度34改变的纤维几何形状32的纤维22的实施方式。纤维几何形状32由彼此交替的一系列第一部分52和第二部分54组成。第一部分52和第二部分54显示为以周期性58方式沿着纤维长度34布置。但是,如上述,纤维几何形状32可以以半周期64方式布置,如图15中显示以及下面描述的。纤维几何形状32也可布置为以非周期性方式变化。

[0084] 如图7B中所显示,纤维22具有构成圆形并且表示纤维22的第一部分52(图7A)的第一横截面面积38a和第一横截面形状40a。图6C图解纤维22的第二部分54(图7A),其具有也构成圆形的第二横截面面积38b和第二横截面形状40b。图7A-7C图解纤维22实施方式,其具有沿着纤维长度34(图7A)改变的横截面面积38(图7C)以及沿着纤维长度34基本上恒定的横截面形状40。图7B-7C中横截面面积38的变化可以是圆形横截面形状40的尺寸放射状均匀增加或放大的结果。

[0085] 在一个实施方式中,纤维22的第二部分54(图7A)可具有的第二横截面面积38b(图7C)不大于第一部分52(图7A)的第一横截面面积38a(图7B)的约50%。但是,可以以其中第二部分54的第二横截面面积38b大于第一部分52的第一横截面面积38a的约50%的实施方式提供纤维22。在本公开中,每个第二部分54的第二横截面面积38b包括、环绕或以其他方式包括第一部分52或纤维核心50的第一横截面面积38a(图7A)。如上述,纤维22的负荷支撑能力(例如,拉伸负荷)由可位于第一部分52的纤维22的最小横截面的负荷支撑能力限定。通过限制第二部分54的尺寸,与纤维22的非负荷支撑部分相关的重量障碍和/或经济障碍可被最小化。

[0086] 有利地,图7A-7C中图解的纤维22实施方式可利于平面内方向内(例如,层内)的纤维与纤维机械结合并且也利于平面外方向内(例如,层之间)的纤维与纤维机械结合。尽管未显示,一个层20中纤维22的第二部分54与紧邻其的层20中纤维22的第一部分52的嵌套啮合可利于纤维22的平面外机械结合。

[0087] 参看图8A,显示具有蛇形78的纤维22实施方式的俯视图。纤维22可具有在沿着纤维长度34的不同位置39可相对于纵轴36偏移的横截面面积38。在一个实施方式中,纤维22可具有沿着纤维长度34大致恒定的纤维宽度44,尽管纤维22可配置具有沿着纤维长度34可大致变化的纤维宽度44。如图8B中所显示,纤维22具有上表面和下表面26、28,其彼此大致平行并且限定可以大致恒定的纤维厚度42。但是,如上述,纤维22可以以其中一个或多个纤维表面24以彼此非平行关系取向的实施方式提供。在一个实施方式中,图8A中显示的多条纤维22可以并行排列(未显示)布置,以形成其中纤维22的偏移76可至少部分彼此嵌套的层以提供纤维与纤维结合。

[0088] 图8C是纤维22(图8B)的截面图,图解了纤维22的矩形横截面面积38。横截面面积38限定可在纤维22的纵轴36的一侧或两侧(图8C)偏移76的面心48。图8D是纤维22的进一步截面图,其图解纤维22的矩形横截面面积38,其具有相对于图8C中显示的面心48的偏移76

在纵轴36一侧上偏移76的面心48。图8A-8D中的纤维22沿着纤维长度34具有基本上恒定的横截面面积38和基本上恒定的横截面形状40(图7C)。尽管偏移76沿着纤维长度34在纵轴36的交替侧是周期性的58(图8A),但是在纵轴36相对侧上的偏移76可为半周期或非周期性的,如上所述。此外,偏移76不限于为在单个方向上比如沿着长的贯轴88的偏移76,如图8C-8D中所显示,而是可以为在一个或多个各种不同方向的偏移76,包括在短的贯轴86方向,或在各种不同方向的任何一个上。

[0089] 参看图9A,显示具有一系列基本上相等尺寸的并且配置沿着纤维长度34形成的突出部81的纤维22实施方式的俯视图。突出部81显示为沿着纵轴36大致居中。但是,突出部81可提供在相对于纵轴36的任何位置。尽管纤维22显示为具有大致直的侧表面30,但纤维22可提供为任何形状,比如图8A中所示的蛇形78或任何其他形状,没有限制。

[0090] 图9B是图9A纤维22的侧视图,其显示沿着纤维长度34大致恒定的纤维厚度42。突出部81显示为以交替方式从纤维22的上表面26和下表面28延伸。但是,突出部81可在上表面和下表面26、28的单个上形成。可选地,突出部81可在上表面和下表面26、28上以非交替模式形成(未显示)。在显示的实施方式中,突出部81每个显示为任选地包括中空部分84,其可开口朝向纤维22的外部,从而突出部81可具有孔,以减少包括纤维22的复合制品10(图4)的总重量。

[0091] 图9C是沿着突出部81对之间的一部分纤维22截取的纤维22的截面图。如交叉平行线阴影区域所指示,纤维几何形状32具有由形成为矩形的第一横截面形状40a限定的第一横截面面积38a。图9D是穿过突出部81之一的纤维22的截面图。纤维几何形状32在所述位置具有第二横截面面积38b和形成拱形的第二横截面形状40b。第二横截面面积38b可大于第一横截面面积38a(图9C)。突出部81可利于与基体18(图4)的机械结合。另外,尽管未显示,在纤维22的一个层20中的突出部81的大小和结构可为嵌套入紧邻层20(图4)中纤维22的突出部81的中空部分84(图9B)内。突出部81的这种嵌套可利于在平面外方向(例如,层20之间)的纤维与纤维机械结合,其可利于参与弹道学事件的纤维22的数量增加。

[0092] 图10A是纤维22的一个实施方式的俯视图,其具有沿着纤维长度34形成的一系列相对大的突出部82和相对小的突出部83。图10B是纤维22的侧视图,其显示在上表面26上形成的相对大的突出部82和在下表面28上形成的相对小的突出部83。图10C是穿过相对小的突出部83之一的纤维22的截面图,其中交叉平行线阴影区域表示以拱形形成的第一横截面面积38a。图10D是穿过相对大的突出部82之一的纤维22的截面图,其中交叉平行线阴影区域表示也以拱形形成的第二横截面面积38b。通过提供纤维22在上表面26和下表面28上不同尺寸的突出部,可提供与基体18和/或其他纤维22的不同水平的机械结合。

[0093] 图11A-11B图解形成螺旋形80的纤维22的实施方式。纤维几何形状32具有横截面形状40,其具有长的贯轴88。当沿着与纤维长度34平行的方向观察纤维22时,横截面形状40的长贯轴88的取向沿着纤维长度34改变。在显示的实施方式中,纤维22的横截面面积38和/或横截面形状40沿着纤维长度34可基本上恒定。但是,纤维22可以以其中横截面面积38和/或横截面形状40可沿着纤维长度34改变(未显示)的实施方式提供。在显示的实施方式中,长的贯轴88的取向以持续的方向改变,比如顺时针方向或逆时针方向,这取决于观察纤维22的方向。纤维22显示为具有螺旋形80,其中长的贯轴88的取向沿着纤维长度34以恒定速度改变。但是,纤维22可被配置为长的贯轴88的取向以变化的或随机的速度改变。长的贯轴

88的取向也可沿着纤维长度34来回交替(图11C-11D)并且不限于以螺旋形80的恒定的顺时针(或逆时针)方向改变。

[0094] 图11C-11D图解形成来回扭曲形状79的纤维22的实施方式。纤维几何形状32具有横截面形状40,其具有当沿着与纤维长度34平行的方向观察纤维22时沿着纤维长度34来回扭曲取向(图11C)的长的贯轴88(图11D)。例如,在显示的实施方式中,贯轴88沿着纤维长度34来回扭曲约90度。但是,纤维22可被配置为贯轴88来回扭曲任何角度量。图11A-11D中的纤维22实施方式沿着纤维长度34可具有基本上恒定的横截面面积38。有利地,因为纤维的负荷支撑能力一般由在沿着纤维长度任何点的最小横截面面积限定,因此图11A-11D的纤维22实施方式基本上恒定的横截面面积38使得否则与纤维沿着纤维长度具有增大的横截面面积相关的任何重量障碍最小化。

[0095] 图12A是纤维22的实施方式的俯视图,其具有沿着纤维长度34基本上恒定的横截面形状40和沿着纤维长度34改变的横截面面积38。纤维22显示为具有大致周期性58变化的纤维几何形状32,形式为沿着纤维长度34横截面形状40和横截面面积38周期性58改变。但是,如上述,纤维22可被配置为横截面形状40和横截面面积38的改变为半周期性的或非周期性的。图12B是纤维22的侧视图,其图解纤维几何形状32沿着纤维长度34的改变。图12C是纤维22的截面图,其具有为大致矩形的第一横截面面积38a和第一横截面形状40a。图12D是取自沿着纤维长度的位置的纤维22的截面图,其具有为大致正方形的第二横截面面积38b和第二横截面形状40b。在显示的实施方式中,第一横截面面积38a和第二横截面面积38b可基本上相等。但是,如上述,横截面面积38可沿着纤维长度34改变。

[0096] 参看图13A,显示由第一材料60和第二材料62构成的纤维22的俯视图。在一个实施方式中,纤维22的第一材料60可包括在纤维22的第一部分52中。纤维22的第一部分52可包括纤维核心50并且其可沿着纤维22的纵轴36延伸。纤维22的第二材料62可包括在纤维22的一个或多个第二部分54中。在一个实施方式中,第二部分54可安装在或以其他方式放置在纤维核心50上。图13B是取自沿着纤维22的纵轴36的纤维22的截面图。显示的是由第一材料60形成的并且具有纤维直径46的纤维核心50。也显示由第二材料62形成并且安装至纤维核心50的多个第二部分54。图13C是取自沿着纤维核心50的截面图并且图解了纤维核心50的第一横截面面积38a和形成为圆形的纤维核心50的第一横截面形状40。

[0097] 图13D是沿着纤维22的第二部分54(图13A)的截面图。在显示的实施方式中,第二部分54具有形成为正方形的第二横截面形状40b。在一个实施方式中,每个第二部分54可形成为由第二材料62形成并且安装(例如,结合)至纤维核心50的纤维珠56。尽管显示为具有正方形,但是纤维珠56可提供为各种横截面形状的任何一种。例如,纤维珠56可提供为球形、立方体、长方体、多角形珠、不规则形珠、大致圆形珠,或各种可选尺寸、形状和构造的任何一种。

[0098] 图14A-14B图解具有纤维珠56的纤维22的实施方式,所述纤维珠56为球形并且其可由安装在由第一材料60形成的纤维核心50上的第二材料62形成。在一个实施方式中,纤维珠56由外正方形和内圆形结合的交叉平行线阴影区域表示并且可具有比由圆形内的交叉平行线阴影区域表示的纤维核心50横截面面积38大的横截面面积38。

[0099] 有利地,由至少两种不同的材料形成纤维22提供调制纤维22与基体18(图4)结合程度的附加手段。例如,第一材料60可与基体18以与第二材料62与基体18的相互作用方式

不同的方式相互作用。就此而言,第一材料60可在第一材料60和基体18之间的结合中产生不同的性质。例如,相对于第二材料62和基体18之间粘性结合的性质,第一材料60可提供第一材料60和基体18之间粘性结合的不同水平的强度、刚度、延展性、断裂应变和其他性质。

[0100] 参看图15,显示纤维22的实施方式,其中纤维几何形状32以半周期64方式沿着纤维长度34可变化。例如,纤维22可包括沿着纤维长度34以间隔定位的第二部分54组。第二部分54组可由具有相对小的纤维宽度44或纤维直径46并且可具有基本上恒定的横截面面积和/或基本上恒定的横截面形状的纤维22部分隔开。第二部分54可以提供为各种不同横截面形状和横截面面积的任何一种,包括本文公开的构造的任何一种。有利地,第二部分54组可由相对恒定的间隔隔开,或间隔可在两个第二部分54组之间变化。第二部分54可沿着纤维长度34调制大小和定位,以提供纤维22与基体的期望水平的机械结合。在一个实施方式中,第二部分54可由与在其上可安装第二部分54的较小直径核心50的材料不同的材料形成。不同材料可提供纤维22和基体18(图3)之间的不同相互作用并且其可提供控制纤维22和基体18之间结合的附加手段。

[0101] 在图15中,可调制或配置纤维几何形状32的半周期64布置,以提供纤维22相对于基体沿着纤维长度34移动的离散的控制。例如,对于其中期望使复合制品10中由于射弹的冲击引起的光学变形的面积最小化的实施方式,第二部分54组可沿着纤维长度34以使参与弹道学事件(例如,射弹冲击)的纤维范围最小化的方式间隔。就此而言,可以以相对小的彼此间隔提供第二部分54组。相反,对于其中期望在射弹的冲击期间使复合制品10的弹道学性能最大化的实施方式中,可以以使参与弹道学事件的纤维范围最大化的方式以彼此相对大的间隔提供第二部分54组。另外,第二部分54的相对尺寸和几何形状可被调制或配置以提供纤维22相对于基体移动的离散的或量化的控制。

[0102] 在本文公开的任何实施方式中,纤维22的横截面形状可提供为各种不同构造的任何一种。例如,纤维22的横截面形状可包括圆形、闭合半圆形、椭圆形、肾形、三角形、正方形、矩形、多边形或各种不同横截面形状的任何一种。此外,在一个实施方式中纤维22可被配置包含沿着纤维长度形成的两个或多个不同的横截面形状。另外,纤维22可提供为任何不规则的或随机的横截面形状并且不限于已知的几何形状。一条或多条纤维22也可提供为大体中空的构造,以便纤维22不限于实心构造。纤维22可任选地包括具有基本上彼此平行的至少一对纤维表面24(图5B、6B、8B、9B、10B)的横截面形状。另外,纤维22可提供为结合基本上平的表面与弯曲表面的横截面形状(未显示)。

[0103] 在本文公开的任何实施方式中,基体18(图4)和/或纤维22(图4)可由任何合适的有机或无机材料、热塑性材料、热固性材料和/或玻璃材料形成,没有限制。例如,包括可用于纤维22的任何一种不同材料的基体18和/或纤维22可由包括下述材料的至少一种的热塑性材料形成:丙烯酸类、碳氟化合物、聚酰胺(尼龙)、聚乙烯、聚酯、聚丙烯、聚碳酸酯、聚氨酯、聚醚醚酮、聚醚酮酮、聚醚酰亚胺、拉伸的聚合物和任何其他合适的热塑性材料。类似地,包括可用于纤维22的任何一种不同材料的基体18和/或纤维22可由可包括任一种下述材料的热固性树脂形成:聚氨酯、酚醛塑料、聚酰亚胺、双马来酰亚胺、聚酯、环氧树脂、倍半硅氧烷和任何其他合适的热固性树脂材料。另外,基体18和/或纤维22可由无机材料形成,包括碳、碳化硅、硼或其他无机材料。甚至进一步,基体18和/或纤维22可由玻璃形成,包括E-玻璃(铝硼硅酸盐玻璃)、S-玻璃(铝硅酸盐玻璃)、纯二氧化硅、硼硅酸盐玻璃、光学玻璃、

陶瓷、玻璃陶瓷和任何其他玻璃材料,没有限制。另外,基体18和/或纤维22可至少部分包含或包括金属材料。

[0104] 在一个实施方式中,尽管纤维22可由基本上不透明的材料形成,但是纤维22(图4)可由基本上光学透明的纤维材料形成。基体18(图4)也可由基本上光学透明的聚合基体材料或基本上不透明的材料形成。纤维22在本文公开的任何实施方式中可形成基于细丝的纤维、单丝纤维、多组分纤维和其他纤维构造。在一个实施方式中,纤维22可具有范围从约三(3)微米至5000微米的纤维厚度42、纤维宽度44和/或纤维直径46。例如,纤维22可具有范围从约三(3)微米至100微米的纤维厚度42、纤维宽度44和/或纤维直径46。在进一步的实施方式中,纤维厚度42、纤维宽度44和/或纤维直径46的范围可从约20微米至50微米。但是,纤维22可提供小于3微米或大于5000微米的纤维厚度42、纤维宽度44或纤维直径46。

[0105] 复合制品10(图4)可被配置为各种不同形状、尺寸和构造的任何一种。就此而言,复合制品10可被配置用于任何运载工具或非运载工具应用。例如,复合制品10可被配置为交通工具比如飞行器的透明体。复合制品10也可构成飞行器的挡风玻璃或座舱罩的任何部分。复合制品10也可被配置用于任何运载工具或非运载工具应用中窗户的任何部分。此外,复合制品10可用于或并入隔膜、装甲板、结构面板、建筑面板、非结构面板或非结构制品、分层系统的任何部分,或用于复合制品10的任何其他应用,没有限制。

[0106] 参看图16,显示具有嵌入基体18中的纤维22并且其中纤维22以并行70布置放置在多个层20中的复合制品10的一部分。每个层20中的纤维22相对于邻近其的层20的纤维22垂直取向。通过配置一个层20中的纤维22与邻近其定位的层20中的纤维22互补,复合制品10可利于纤维22的啮合92。就此而言,每条纤维22的纤维几何形状32可沿着纤维长度34变化,从而纤维22包括相对于彼此交替的第一部分52和第二部分54。当施加基本上垂直或倾斜的力90(图16B)至复合制品10时,一个层20中纤维22的第二部分54可至少部分嵌套入紧邻其定位的层20中的纤维22内。

[0107] 图16A是图16复合制品10的端视图并且显示交替层20中的纤维22大致与紧邻其定位的层20中的纤维22的第一部分52对齐。每个层20中的纤维22可最初位于由紧邻层20中的纤维22的各最上或最下表面限定的平面上方或下方。例如,图16A中最上层20的纤维22的底表面可位于由紧邻下层20中的纤维22的最上表面限定的平面上方。

[0108] 图16B是图16A复合制品10的端视图,图解施加至纤维22的力90。可响应射弹冲击复合制品10而产生力90。可见,力90可造成层20移动更靠近在一起,并且可导致纤维22与紧邻层中纤维22的啮合。就此而言,每个层20中的纤维22的第二部分54可变得至少部分互锁或至少部分与紧邻的纤维22的第一部分52嵌套74。纤维22的啮合92或嵌套可在弹道学事件期间机械结合层20的纤维22,从而相对大量的纤维22可参与弹道学事件。

[0109] 在本文公开的任何实施方式中,由于沿着纤维长度34改变了纤维22的纤维几何形状32引起的纤维22与基体18的机械结合(例如,纤维-基体结合)可导致复合制品10的弹道学性能和/或光学性能改进。另外,相同层20中纤维22彼此的机械结合和不同层20中纤维22的机械结合(例如,平面内纤维与纤维结合和平面外纤维与纤维结合)可导致复合制品10的弹道学性能和/或光学性能的改进。例如,在复合制品10比如复合面板14可受到射弹冲击的弹道学事件期间,纤维22沿着纤维22的长度纵向移动的能力可影响复合面板14的弹道学性能。

[0110] 如上面提到的,基体18中纤维22沿着纤维长度34相对于基体18纵向移动的能力可在纤维22减弱之前改进纤维22纵向延伸的能力。纤维22相对于彼此移动或滑动的能力也可改进纤维22纵向延伸的能力。纤维22纵向延伸的能力可增加在冲击复合面板14期间纤维22吸收射弹能量的能力。纤维22能量吸收能力的增加可通过改善复合面板14对射弹112穿透的抵抗性而改进复合面板14的弹道学性能。

[0111] 对于基本上透明的复合面板14,纤维22相对于基体18的移动和纤维22相对于彼此的移动也可影响复合面板14在受射弹冲击之后的光学性能。例如,纤维22的能量吸收能力的增加可导致冲击部位116(图17)周围面积大小的减少。相反,为纤维22提供相对于基体18和相对于彼此移动能力的增加可降低冲击后复合面板14的光学性能。冲击后复合面板14的光学性能的降低特征可为冲击部位116周围面积大小的增加。

[0112] 参看图17,显示在射弹112对测试制品100的前侧104冲击期间,测试制品100的侧视图。测试制品100可以以与上述复合制品10(图1)的实施方式类似的方式构建,其中多条纤维110嵌入基体108。如上述,纤维110可具有纤维几何形状32(图4),其沿着纤维110的纤维长度34(图4)变化。射弹112对前侧104的冲击出现在制品表面102的冲击部位116。

[0113] 图18显示图17测试制品100的后侧106并且图解了由于相对少量的纤维与基体结合和/或纤维与纤维结合,响应射弹112对图17中测试制品的前侧104的冲击,纤维110相对大面积的局部和整体参与。图18中,纤维110的局部参与122包括在紧接围绕测试制品100背面(即,前侧104)上的冲击部位116的区域中的纤维110部分。纤维110的整体参与124可见大致延伸远离冲击部位116。整体参与124相对大的程度可能是由于响应射弹112对测试制品100前侧104的冲击相对少量的纤维与基体结合和/或纤维与纤维结合。

[0114] 图19是测试制品后侧的视图,其由于相对于图18中出现的结合增加量的纤维与基体结合和/或纤维与纤维结合而具有相对小面积的纤维的局部和整体参与。图19中,增加量的纤维与基体结合和/或纤维与纤维结合可通过增加沿着纤维的纤维长度的纤维几何形状的变化量实现。增加的纤维与基体结合和/或纤维与纤维结合也可通过减少图15中显示的相邻第二部分之间或以半周期64布置的第二部分组之间的间隔实现。

[0115] 图20-21是分层系统94的透视图,其中复合制品10可以与第一层96和第二层98一起以堆叠形式安放。在一个实施方式中,第一层96可由陶瓷和/或玻璃材料或其他材料组成并且可构成分层系统94的受冲击面(未显示)。第二层98可形成为相对高刚度的复合层(未显示)并且可邻近第一层96安放。复合制品10可安放在相对第一层96的第二层98的一侧,使得复合制品10位于分层系统94的背面或后侧。

[0116] 尽管图20-21图解位于分层系统94后侧的单个复合制品10,但是可提供任何数量的复合制品10。此外,尽管图20-21中显示仅仅单个第一层96和单个第二层98,但是可结合任何数量的复合制品10提供任何数量的第一层96和第二层98。甚至进一步,分层系统94可形成为仅包括第一层96和复合制品10。在一个实施方式中,分层系统94可构成装甲板。但是,分层系统94可并入任何制品,而没有限制,并且不限于装甲板。

[0117] 第一层96可由优选地具有相对高硬度和相对高刚度的材料比如单层陶瓷和/或玻璃组成。但是,第一层96可由优选地相对刚性和相对硬的各种可选材料形成。第一层96可被配置作为弹道学应用的受冲击面起作用。例如,第一层96可被配置为被射弹冲击。

[0118] 第二层98可位于邻近第一层96,如图20-21中所显示。第二层98可形成为相对高刚

度复合层(未显示)。第二层98可包括嵌入基体(未显示)的玻璃纤维(未显示)。可选地,第二层98可由一个或多个玻璃层或片构成,比如一个或多个单片玻璃。第二层98也可形成为高刚度复合层(未显示),其至少部分由玻璃纤维(未显示)构成,所述玻璃纤维由高强度和/或高刚度聚合材料比如超高密度聚乙烯形成并且其可嵌入基体(未显示)。第一层96、第二层98和复合制品10的组合共同形成变硬的分层系统94,其为第一层96提供相对高的整体刚度并且改进分层系统94的弹道学性能。

[0119] 参看图22,显示流程图,其图解可在用于制造复合制品10(图1)的方法200中执行的一个或多个操作。方法200的步骤202可包括提供多条纤维110(图18),其中每条纤维22(图5A-13A)具有纤维长度34(图5A-13A)和纤维几何形状32(图5A-13A)。

[0120] 步骤204可包括沿着纤维长度34(图5A-14B)改变纤维22(图5A-13A)的纤维几何形状32(图5A-14B)。例如,可通过包括沿着纤维长度34由第一部分52(图4)分开的一系列的第二部分54(图4)而沿着纤维长度34改变纤维几何形状32。在一个实施方式中,纤维几何形状32可以以周期性58(图4)方式沿着纤维长度34改变。但是,纤维几何形状32也可以以半周期或以非周期性方式改变。

[0121] 可通过沿着纤维长度34(图5A-14B)改变纤维22的横截面形状40(图3)和/或通过沿着纤维长度34改变纤维22(图5A-14B)的横截面面积38(图3)改变纤维几何形状32(图5A-14B)。在进一步的实施方式中,可通过如上述使纤维22的横截面形状40在纵轴36交替侧(图3)偏移或通过改变沿着纤维长度34的横截面形状40的取向而改变纤维几何形状32。在一个实施方式中,纤维22可具有蛇形78(图8A)或为螺旋形80(图10A)或为其他形状。纤维22可由上述一种或多种材料形成,以便获得纤维22和基体18之间不同的相互作用(图3)并且其可影响纤维22和基体18之间的结合。

[0122] 方法200的步骤206可包括以并行70(图3)布置放置纤维22(图5A-14B),以形成层20,比如图1-3和14-14B中显示的层20。但是,纤维可以以相对彼此非平行关系放置。此外,尽管未显示,但是当纤维以相对彼此的各种角度的一个或多个取向时,纤维可提供为编织物。在一个实施方式中,如上述,纤维22可包括一系列的第二部分54(图4),其由第一部分52(图4)相互连接。

[0123] 步骤208可包括布置纤维22,以使纤维22的第二部分54至少部分与层20中紧邻纤维22的第一部分52嵌套74(图4)。例如,图4图解层20中纤维22的放置,以使层20中纤维22的第二部分54至少部分与层20中其紧邻的纤维22的第一部分52嵌套。在未显示的实施方式中,一个层20中纤维22的第二部分54可被配置为至少部分与复合制品10中邻近的一个层20中的纤维22的第一部分52嵌套。

[0124] 步骤210可包括将纤维22嵌入基体18(图4)并且固化或凝固基体18,以形成复合制品10(图4)。有利地,纤维几何形状32沿着纤维22的纤维长度34的变化可利于纤维与基体机械结合和/或纤维与纤维机械结合,作为比如在弹道学事件期间调制纤维相对移动程度的手段。通过调制纤维相对于基体和相对于其他纤维的移动程度,可控制或改进复合制品的弹道学性能和冲击后光学性能。

[0125] 在一个实施方式中,由于使用具有沿着纤维长度34周期性或非周期性变化的纤维几何形状32的纤维22,复合制品10(图1)可配置用于提供增强的结构性能。例如,通过由具有沿着长度变化的横截面面积、横截面形状和/或取向的纤维22形成复合制品10,相对于由

沿着纤维长度具有大体上不改变的几何形状的纤维形成的复合制品的耐损伤性和抗裂纹生长性,可改进复合制品10的耐损伤性和抗裂纹生长性。

[0126] 有利地,在本公开的复合制品10(图1)中,沿着纤维长度34的纤维几何形状32的变化可导致基体18材料中一些量的裂纹偏移。就此而言,纤维几何形状32的改变可造成复合制品10的基体18中的裂纹沿着弯曲路径传播而不是沿着大致直的路径传播。相对于具有纤维几何形状沿着纤维长度大体上不改变的常规纤维的常规复合制品的基体中的裂纹生长,沿着弯曲路径传播可导致基体18中裂纹生长的抑制。常规纤维的这种不变的纤维几何形状可包括基本上连续的或恒定的横截面形状,基本上连续的或恒定的横截面面积和/或基本上连续的或恒定的横截面形状的取向。常规纤维也可由沿着纤维长度基本上恒定的材料类型形成。

[0127] 在一个实施方式中,本文公开的复合制品10(图1)可包括这样的纤维22,其具有以造成基体裂纹沿着弯曲路径传播通过一个层20或通过多个层20的方式改变的纤维几何形状32。就此而言,相对于具有大体上不改变的纤维几何形状的常规纤维的常规复合制品,纤维几何形状沿着纤维长度34的变化可改进复合制品10的层内(例如一层内)韧性和/或层间(例如,邻近层之间)韧性。层内韧性的改进可表示对层20内基体裂纹传播的抗性的大体增加和/或改进的在纤维-基体界面剥离处裂纹传播的抗性。层间韧性的改进可表示对相邻层20分层的抗性的大体增加。在一个实施方式中,纤维22的纤维几何形状32可以以造成模式I层间断裂韧性增加和/或模式II层间断裂韧性增加的方式改变。模式I层间断裂韧性可表征为对沿着大致垂直于复合制品10的邻近层20的方向取向的打开力或剥离力的抗性。模式II层间断裂韧性可表征为对大致平行于复合制品10的邻近层20取向的剪切力的抗性。

[0128] 在本文公开的复合制品10中,可配置纤维22,以使改变的几何学可以以改进复合制品的耐损伤性的方式抑制裂纹生长或裂纹传播。耐损伤性可测量为冲击后压缩强度(compression-after-impact strength)的增加和/或开孔压缩强度(open-hole compression strength)的增加。冲击后压缩强度的增加可表示在物体相对低速冲击复合制品之后复合制品10残留强度的提高。低速冲击的非限制性例子可包括由于坠落的工具引起的冲击或当使用时飞行残片对复合制品10的冲击。开孔压缩强度的增加可表示载入压缩时复合制品10抗弯强度的增加。

[0129] 参看图24,显示在应用中比如交通工具中(未显示)执行复合制品10(图1)的方法400。使用复合制品10的方法400可包括步骤402,如上述,其提供复合制品10作为嵌入基体18(图1)的多条纤维22(图1),其中每条纤维22具有纤维长度34(图1)和纤维几何形状32(图1)并且其中纤维几何形状32沿着纤维长度34改变。

[0130] 图24的方法400可进一步包括步骤404,其使复合制品10(图1)比如复合面板14(图1)在基本上不移动的交通工具中处于第一状态。复合面板14可经历静态负荷条件(未显示)。在一个实施方式中,交通工具可包括在地上的飞行器,比如当停在航站大门时。参看图23,显示飞行器300的透视图,其可结合如本文公开的复合制品10(图1)的一种或多种实施方式。飞行器300可包括机身302,其具有一对机翼304和尾部308,尾部308可包括垂直平衡器312和水平平衡器310。飞行器300可进一步包括控制表面306和推动装置314。飞行器300可以是可结合如本文所描述一种或多种复合制品10的各种交通工具之一的一般代表。

[0131] 在一个实施方式中,复合制品10(图1)可包括复合面板14(图1),其可以是至少部

分透明的和/或至少部分不透明的。在静态负荷条件下,在复合面板14上的负荷可限于由于作用于复合面板14质量(mass)的重力引起的负荷。负荷也可包括由于将复合面板14安装至交通工具引起的压缩负荷。静态负荷也可包括由于将复合面板14安装在交通工具中或由于其他现象比如邻近结构的差温加热或由于其他原因引起的作用在复合面板14上的拉伸负荷、剪切负荷和/或扭转负荷。

[0132] 图24的方法400可进一步包括步骤406,其使复合面板14(图1)经历第二状态,其中交通工具可以处于运动中和/或复合面板14可经历动态负荷条件(未显示)。例如,交通工具可包括在起飞期间在跑道上运动中的飞行器300(图23)。在动态负荷条件下,复合面板14上的负荷可包括压缩负荷、拉伸负荷、剪切负荷、扭转负荷的任何一种,或其任意组合。负荷也可包括由于射弹或飞行残片冲击而作用在复合面板14上的局部负荷。如上述,复合面板14的纤维几何形状32的纵向变化可利于组成复合面板14的一层或多层20(图1)中纤维22(图1)和基体18之间的机械结合(例如,纤维-基体结合)和/或邻近纤维22之间的机械结合(例如,纤维与纤维结合)。机械结合可提供控制纤维与基体移动和/或纤维与纤维移动的手段,其可增加减速射弹冲击复合面板14的能力。

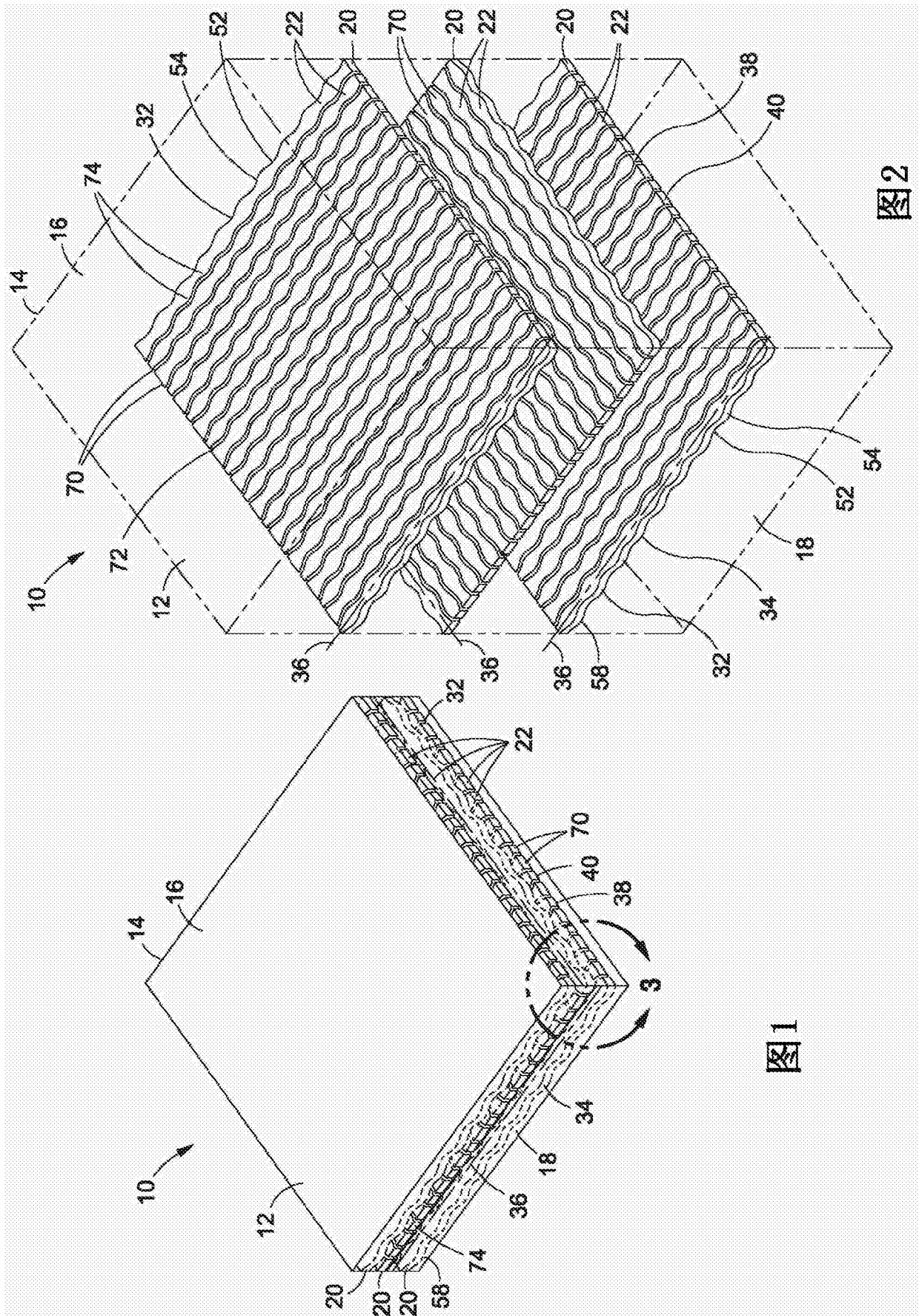
[0133] 图24的方法400可进一步包括步骤408,其由于复合面板14中纤维22的纤维几何形状32的纵向变化,使得基体18中的任何裂纹(未显示)沿着弯曲路径(未显示)传播。就此而言,弯曲路径的方向可由纤维22的纤维几何形状32的变化限定。裂纹传播的弯曲路径可改进复合面板14的层内(例如一层内)断裂韧性和/或层间(例如,邻近层之间)断裂韧性。就此而言,当复合面板14受到相对低速的冲撞的冲击,比如由于工具的冲击,或在起飞或落地期间运动中飞行器300(图23)的情况下跑道残片或沙砾的冲击,弯曲裂纹传播可提高复合面板14的冲击后压缩强度。此外,弯曲裂纹传播可提高复合面板14的开孔压缩强度,导致在压缩负荷下复合面板14抗弯强度的增加。

[0134] 根据本公开的一个方面,提供复合制品,其包括基体、嵌入基体的多条纤维,每条纤维具有纤维长度和纤维几何形状,并且纤维几何形状沿着纤维长度改变。有利地,纤维由第一材料和第二材料组成。有利地,基体和纤维的至少一个由下述的热塑性材料、热固性树脂、无机材料的至少一种形成,热塑性材料包括下述至少一种:丙烯酸类、尼龙、碳氟化合物、聚酰胺、聚乙烯、聚酯、聚丙烯、聚碳酸酯、聚氨酯、聚醚醚酮、聚醚酮酮、聚醚酰亚胺、拉伸的聚合物;热固树脂包括下述至少一种:聚氨酯、酚醛塑料、聚酰亚胺、双马来酰亚胺、聚酯、环氧树脂、倍半硅氧烷;无机材料包括下述至少一种:碳、碳化硅、硼和玻璃,玻璃包括E-玻璃(铝硼硅酸盐玻璃)、S-玻璃(铝硅酸盐玻璃)、纯二氧化硅、硼硅酸盐玻璃、光学玻璃、陶瓷、玻璃陶瓷。有利地,纤维是不透明的和基本上光学透明的至少一种并且基体是不透明的和基本上光学透明的至少一种。有利地,复合制品包括在下述至少一种之中:挡风玻璃、座舱罩、窗、隔膜、装甲板、结构面板、建筑面板、非结构制品、分层系统。有利地,纤维布置在基体中,从而沿着纤维长度的纤维几何形状变化造成基体中的裂纹沿着弯曲路径传播;并且相对于具有沿着纤维长度大致不变的纤维几何形状的纤维的复合制品的基体中的裂纹生长,弯曲路径使得基体中的裂纹生长抑制。有利地,弯曲路径至少部分在纤维层中的随后基体材料;和在邻近层之间基体材料的至少一个中延伸。有利地,纤维的纤维几何形状以造成增加下述至少之一增加的方式变化:耐损伤性;模式I层间断裂韧性;和模式II层间断裂韧性。

[0135] 根据本发明进一步的方面,提供制造复合制品的方法,包括下述步骤:提供每条具有纤维长度和纤维几何形状的多条纤维,至少一条纤维具有沿着纤维长度改变的纤维几何形状;和将纤维嵌入基体中。有利地,形成纤维包括第一材料和第二材料。有利地,进一步的步骤包括以并行排列布置纤维以形成层,每条纤维具有一系列由第一部分隔开的第二部分;和放置纤维以使层中一条纤维的第二部分至少部分与紧邻一层的一条纤维的第一部分嵌套。

[0136] 根据本发明进一步的方面,提供用于复合制品的纤维,其包括纤维长度和纤维几何形状;并且纤维几何形状沿着至少部分纤维长度改变。有利地,纤维几何形状具有横截面面积;并且横截面面积沿着纤维长度可改变。有利地,纤维几何形状具有横截面形状;并且横截面形状沿着纤维长度可改变。有利地,纤维几何形状具有横截面面积;并且横截面面积沿着纤维长度基本上恒定。有利地,纤维具有沿着纤维长度延伸的纵轴;纤维几何形状具有横截面面积;并且横截面面积相对于纵轴在沿着纤维长度的不同位置偏移。有利地,纤维几何形状的变化包含沿着纤维长度的一系列的第二部分。有利地,纤维具有范围从约3微米至5000微米的纤维厚度。

[0137] 本公开另外的修改和改进对本领域技术人员而言可以是明显的。因此,本文描述和图解的部件的具体组合旨在仅仅表示本公开的某些实施方式并且不意欲用于限制本公开精神和范围内的可选实施方式或设备。



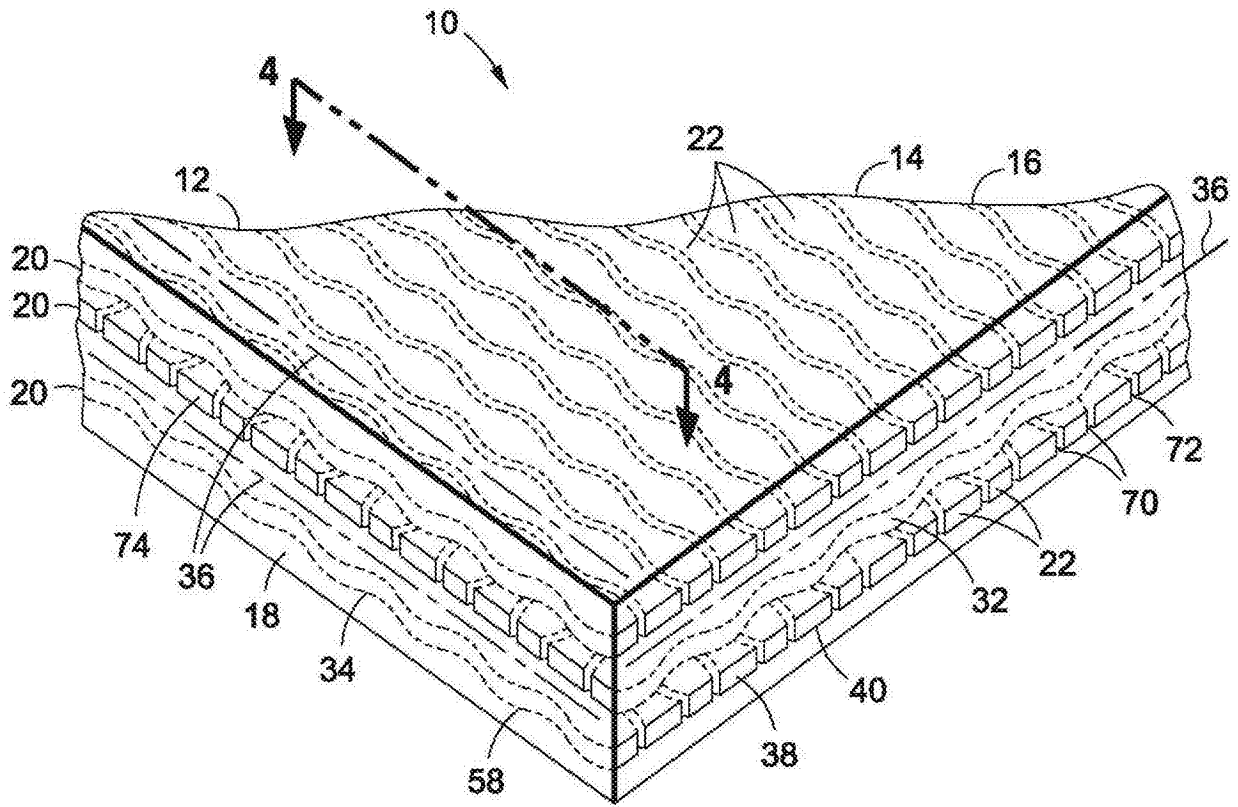


图3

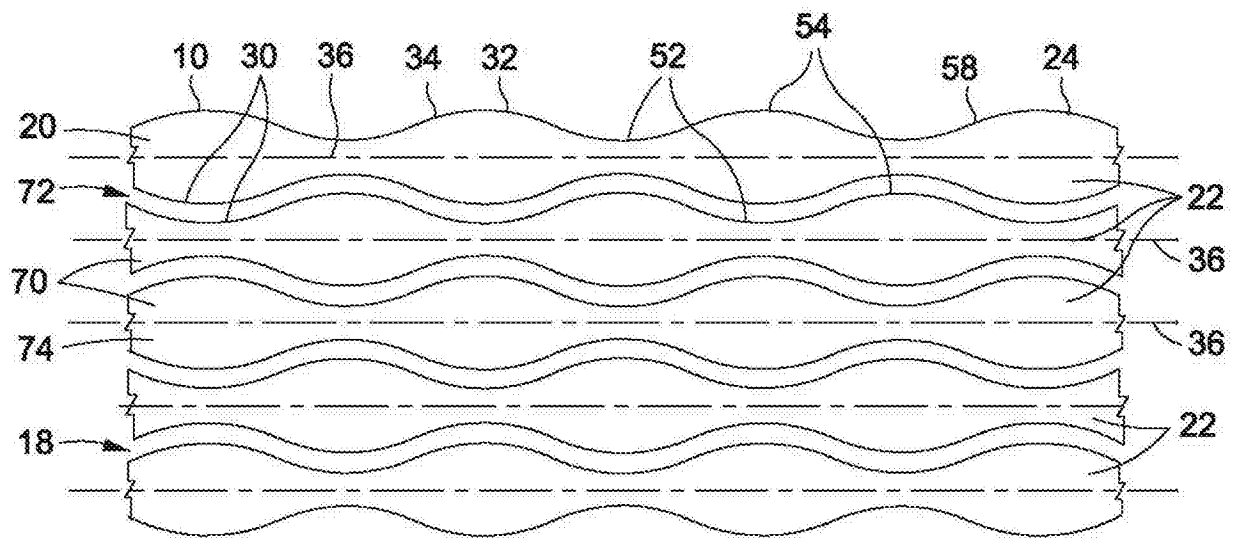
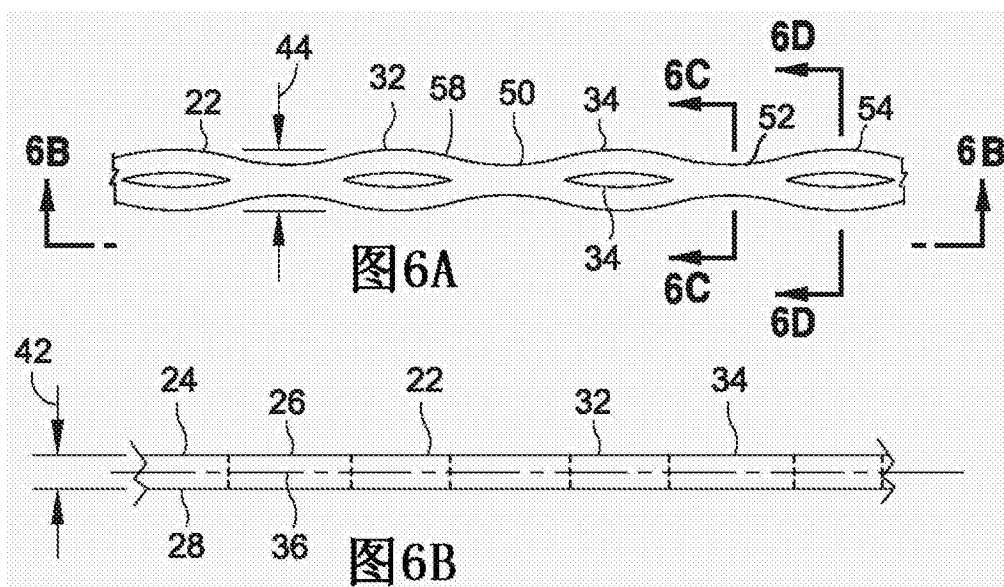
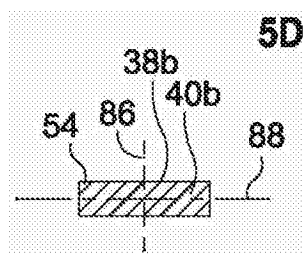
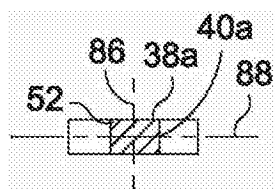
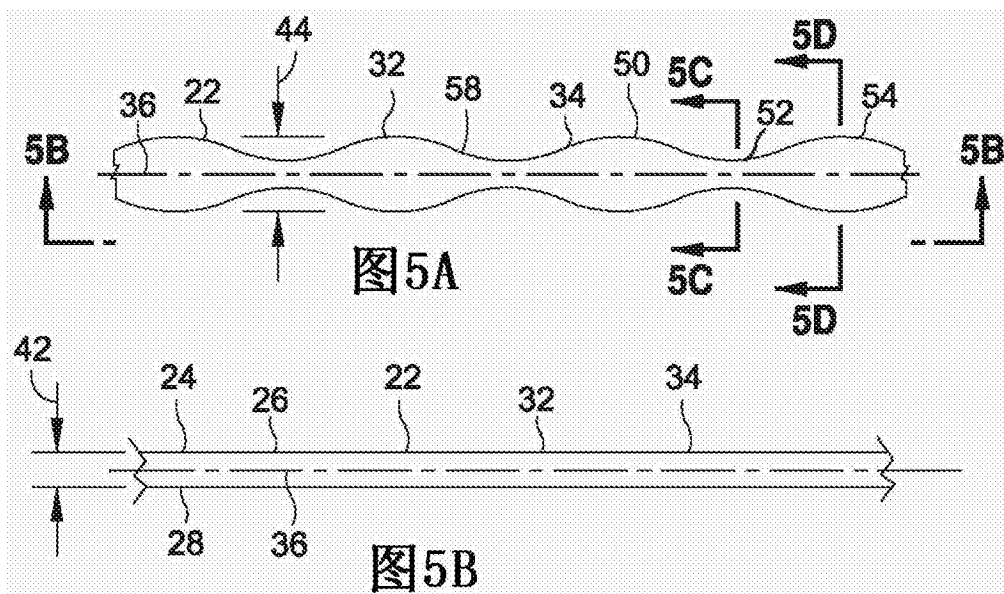


图4



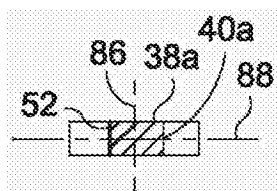


图6C

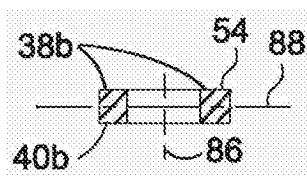


图6D

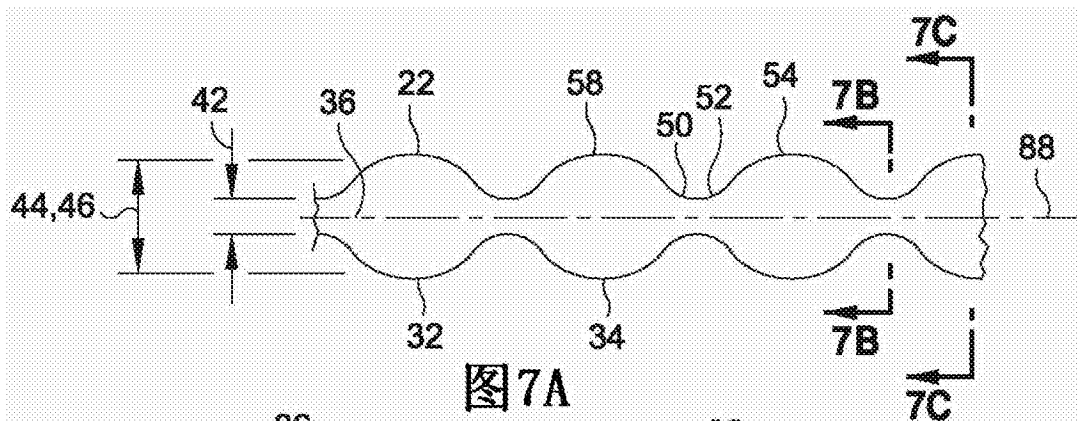


图7A

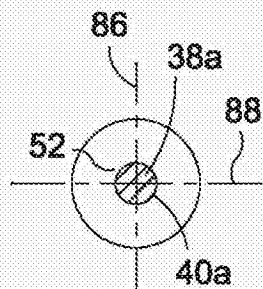


图7B

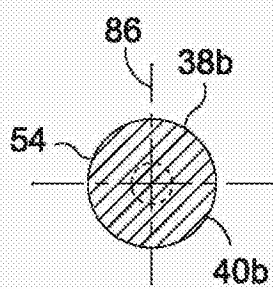


图7C

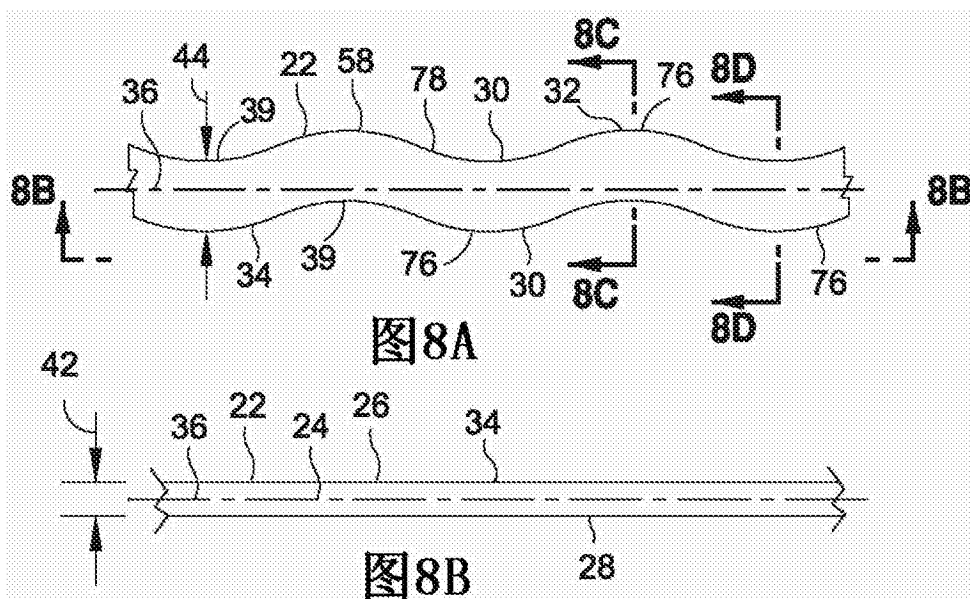


图8A

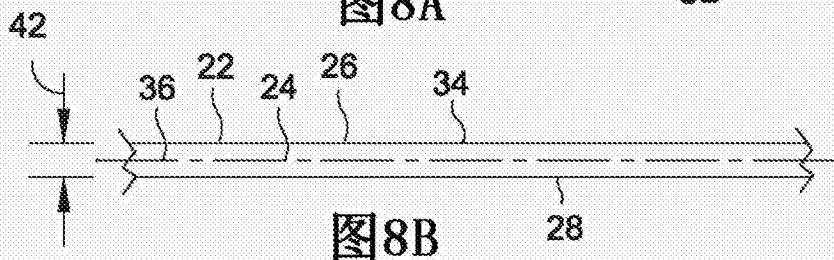


图8B

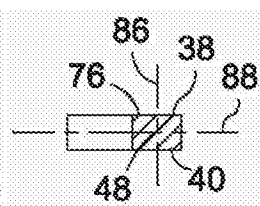


图8C

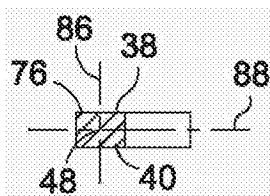


图8D

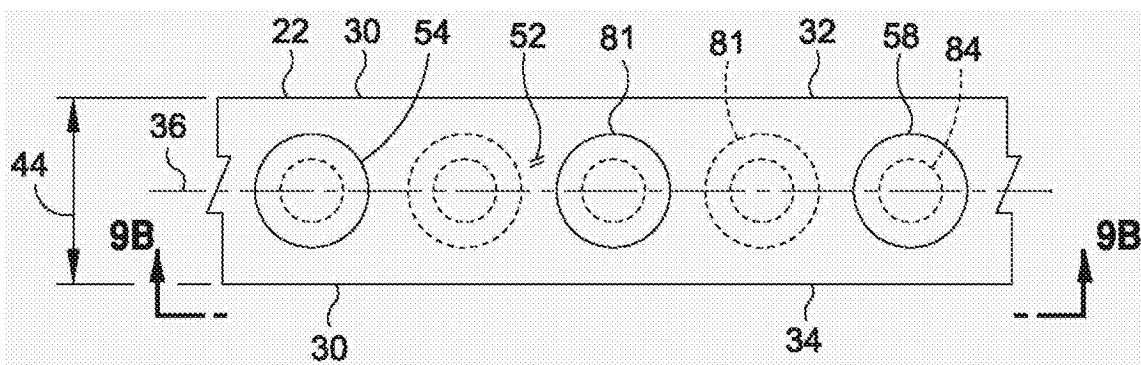


图9A

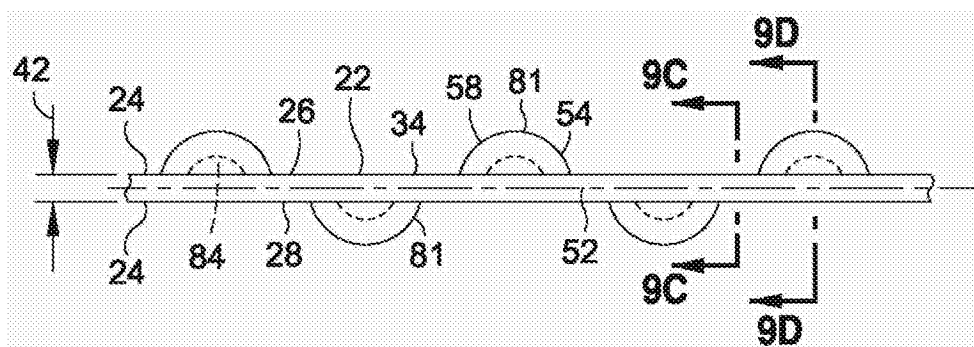


图9B

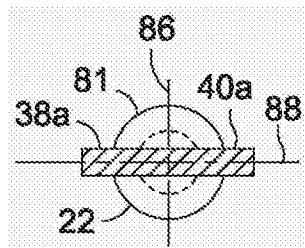


图9C

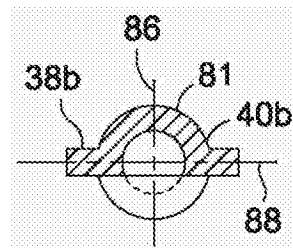


图9D

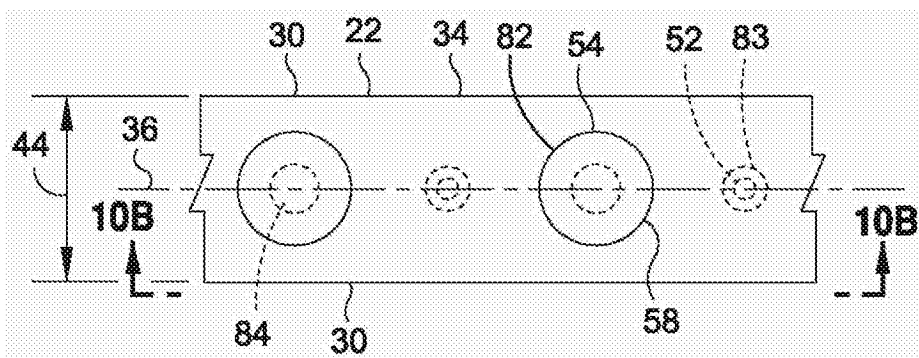


图10A

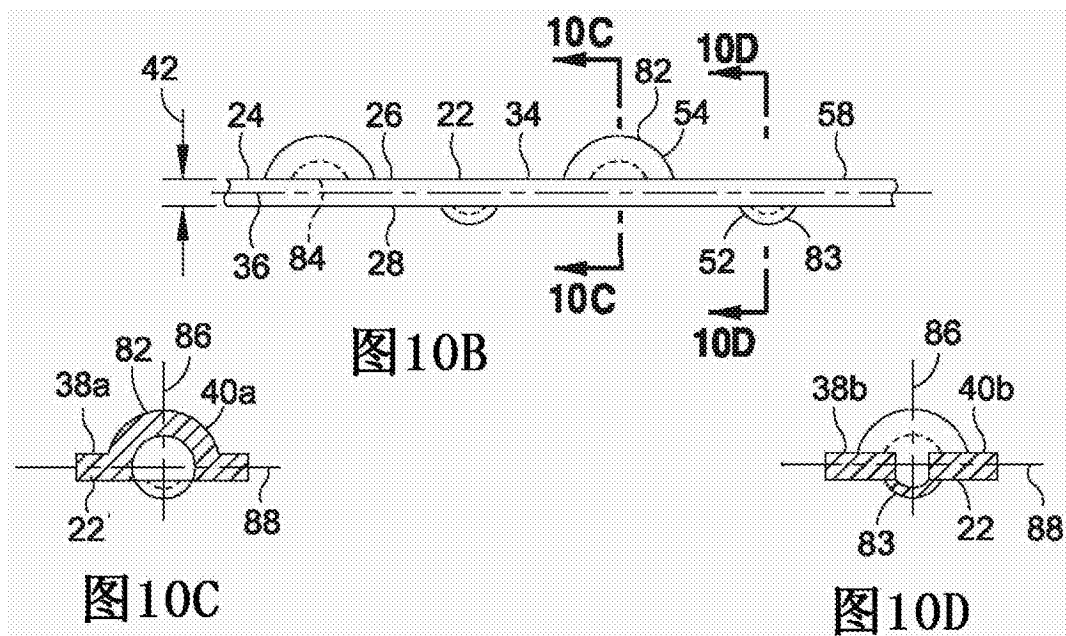


图10B

图10C

图10D

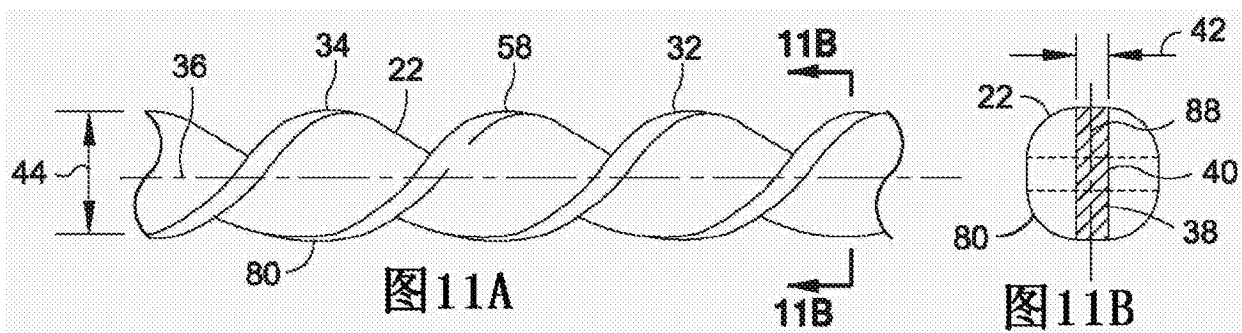


图11A

图11B

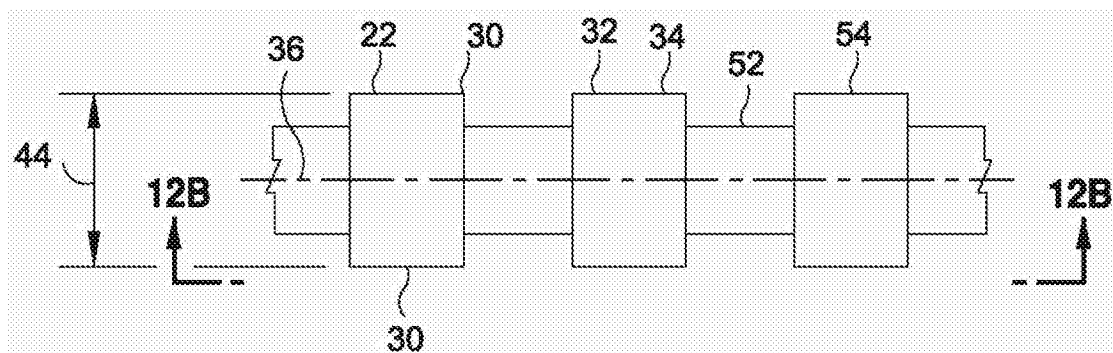
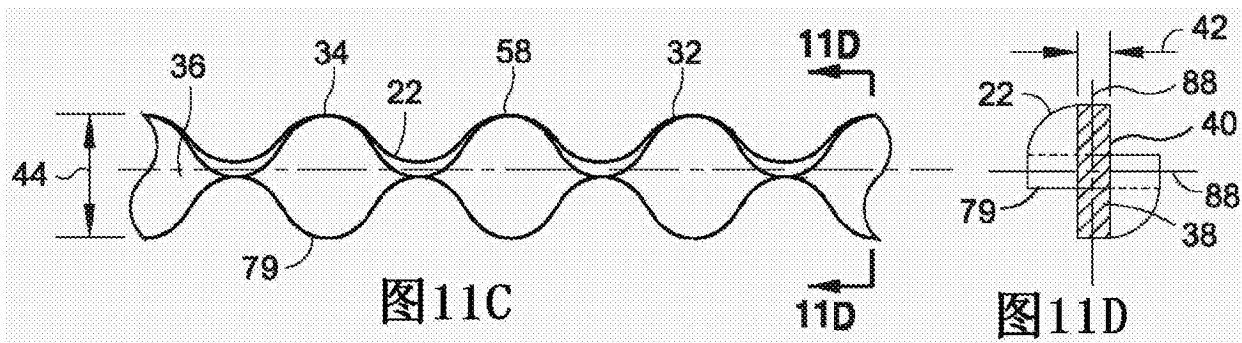


图12A

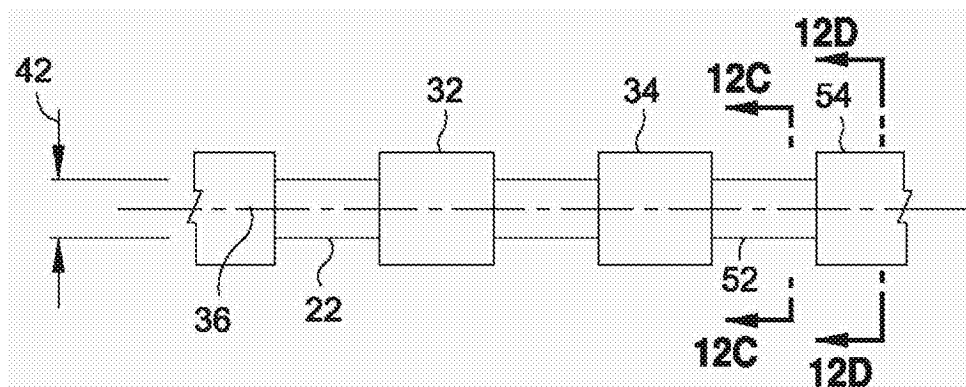


图12B

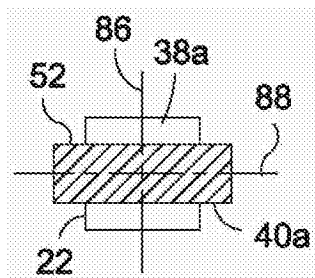


图12C

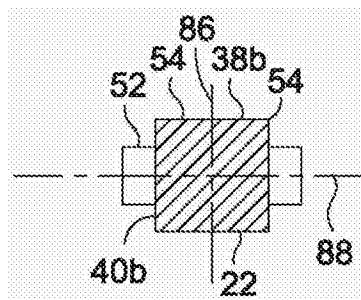


图12D

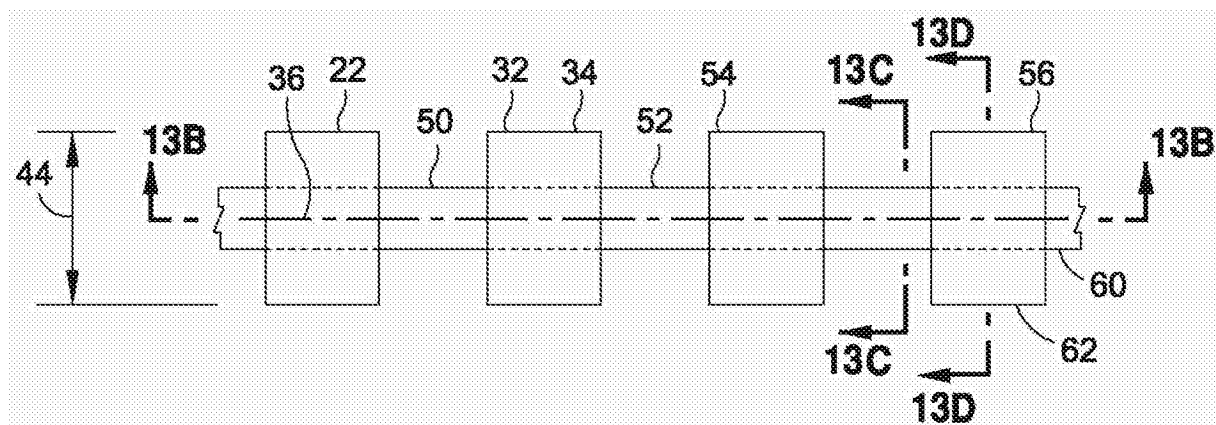


图13A

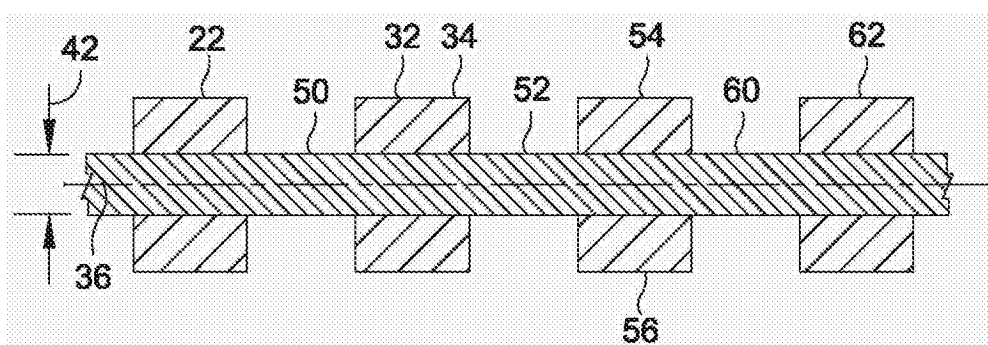


图13B

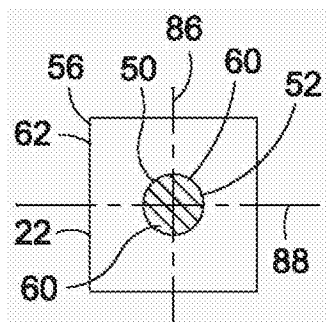


图13C

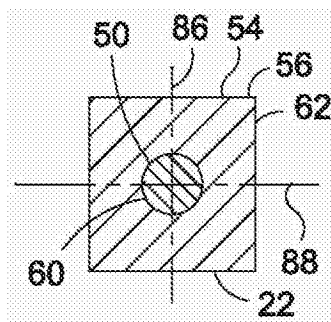


图13D

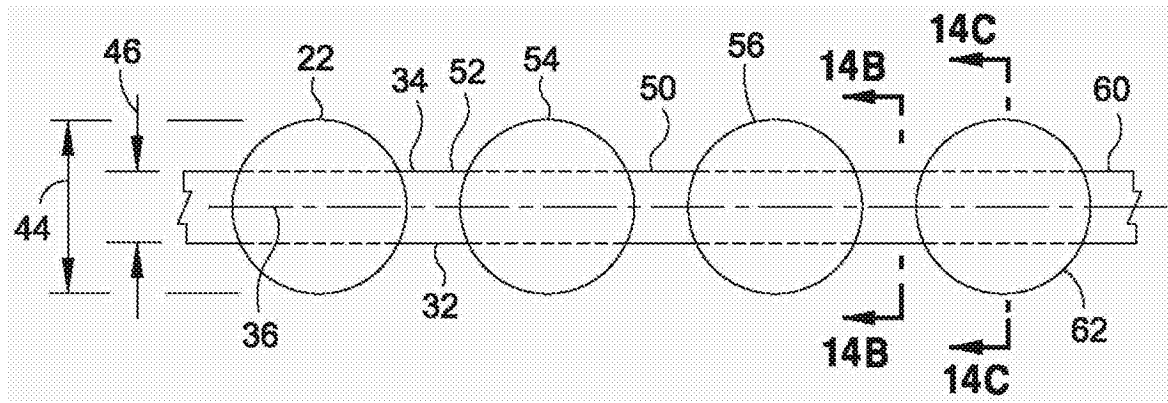


图14A

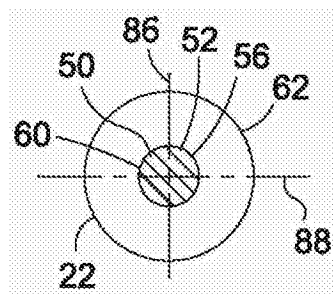


图14B

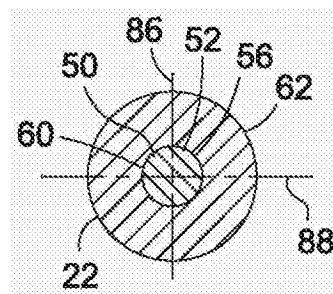


图14C

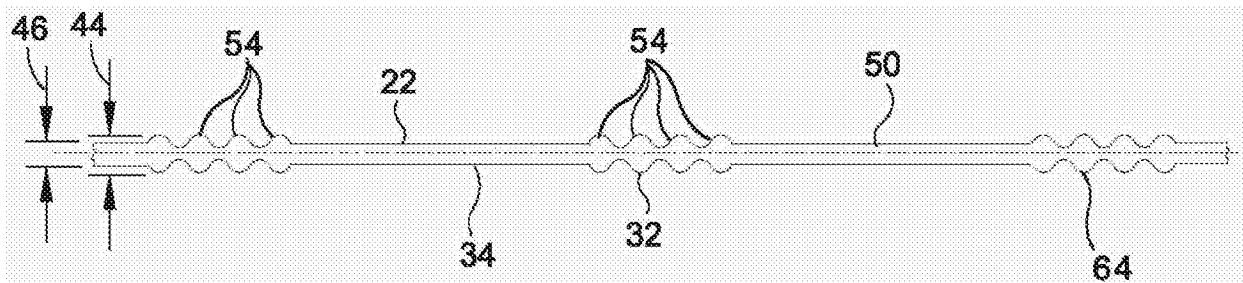


图15

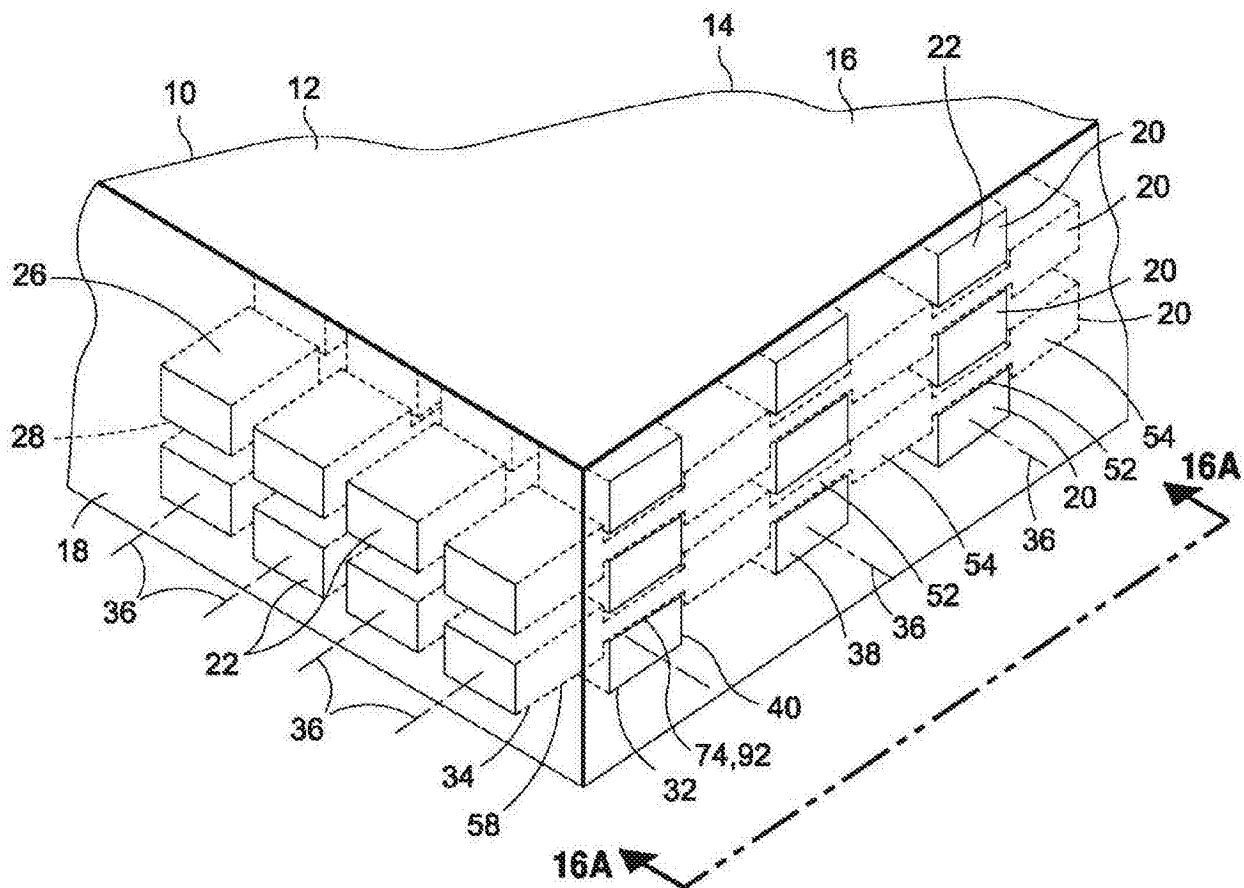


图16

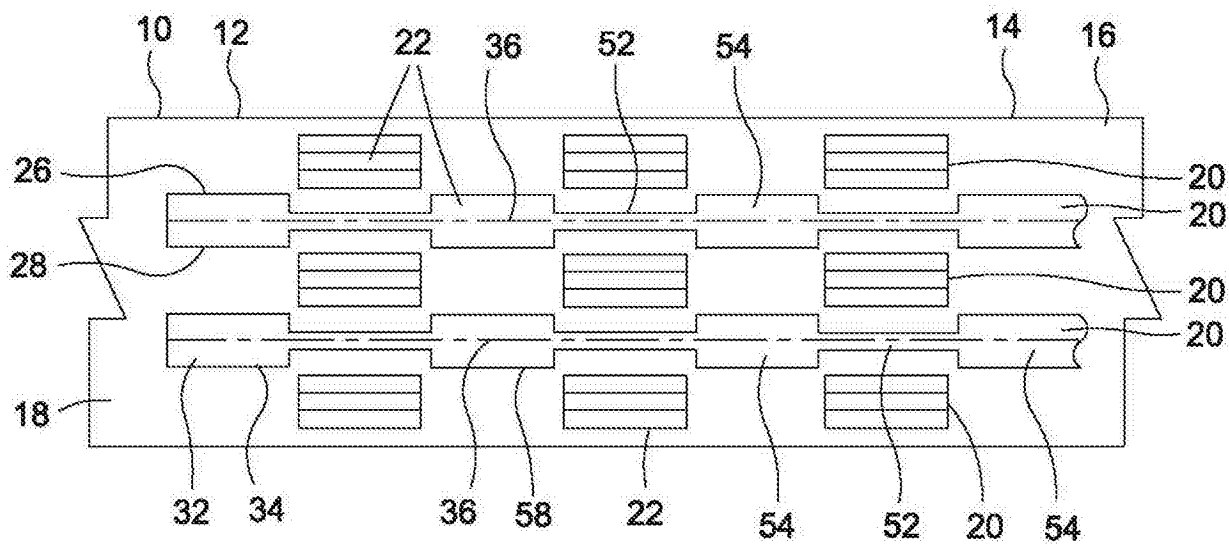


图16A

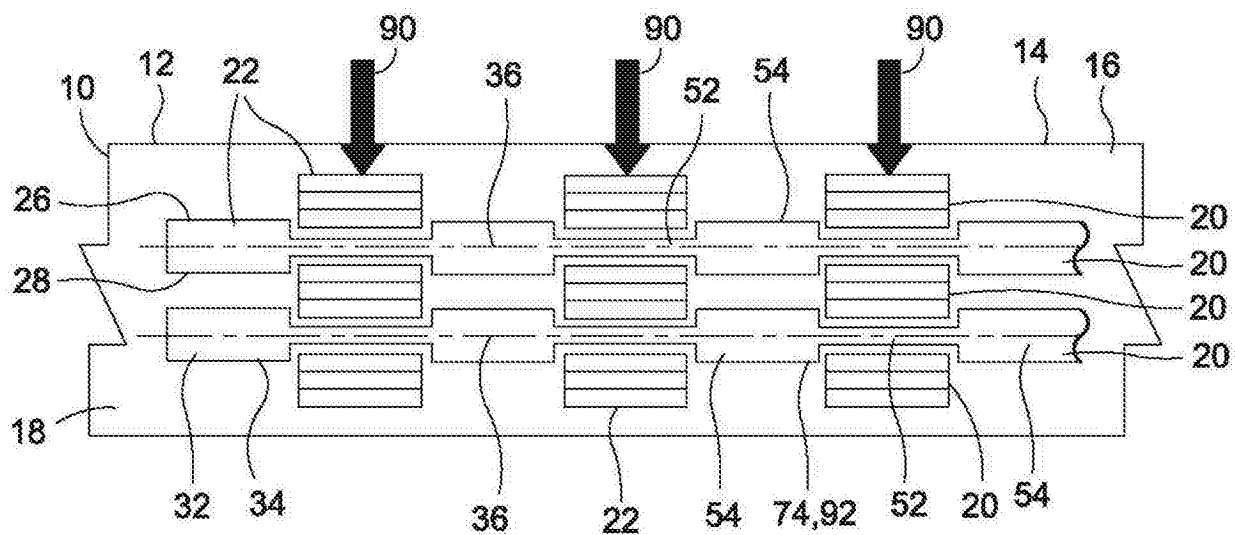


图16B

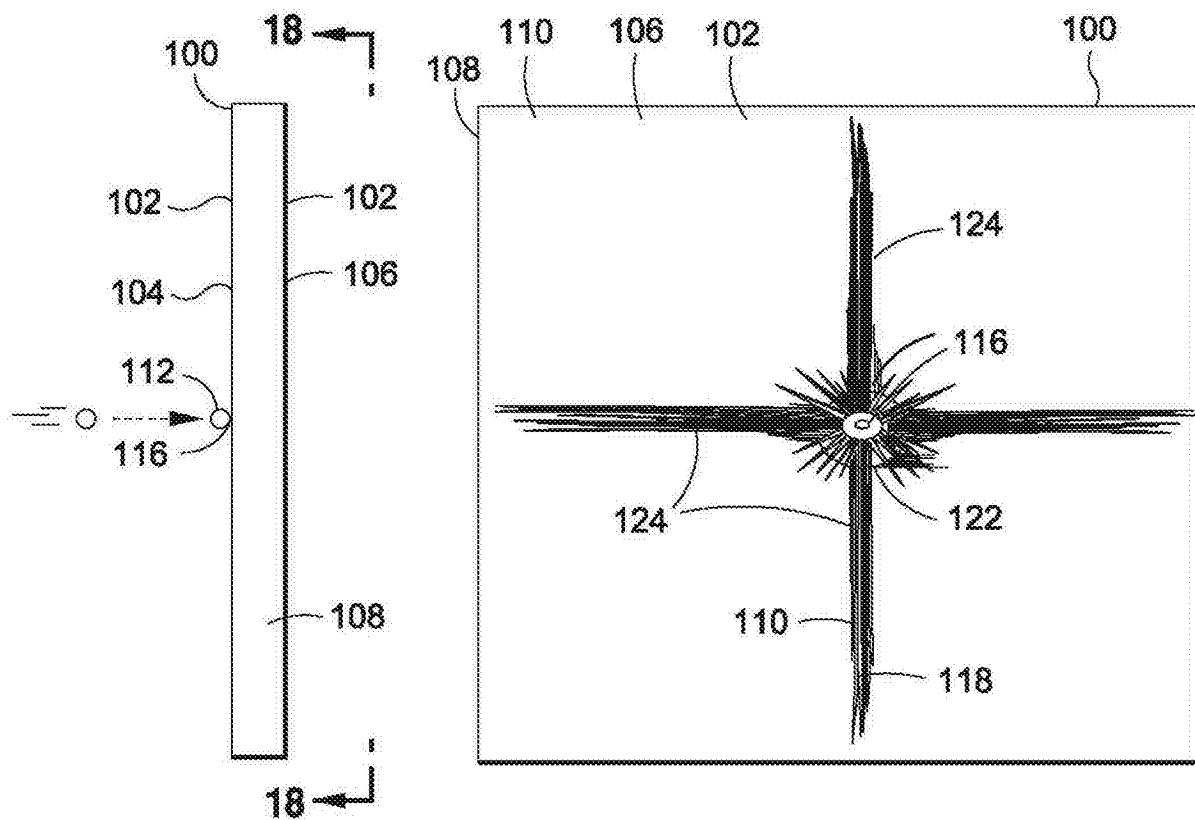


图18

图17

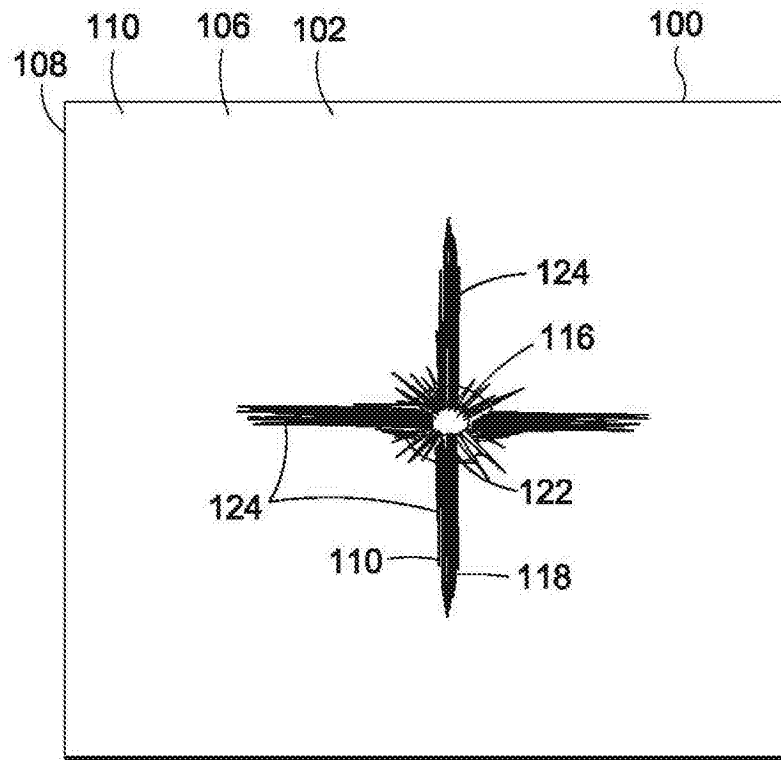
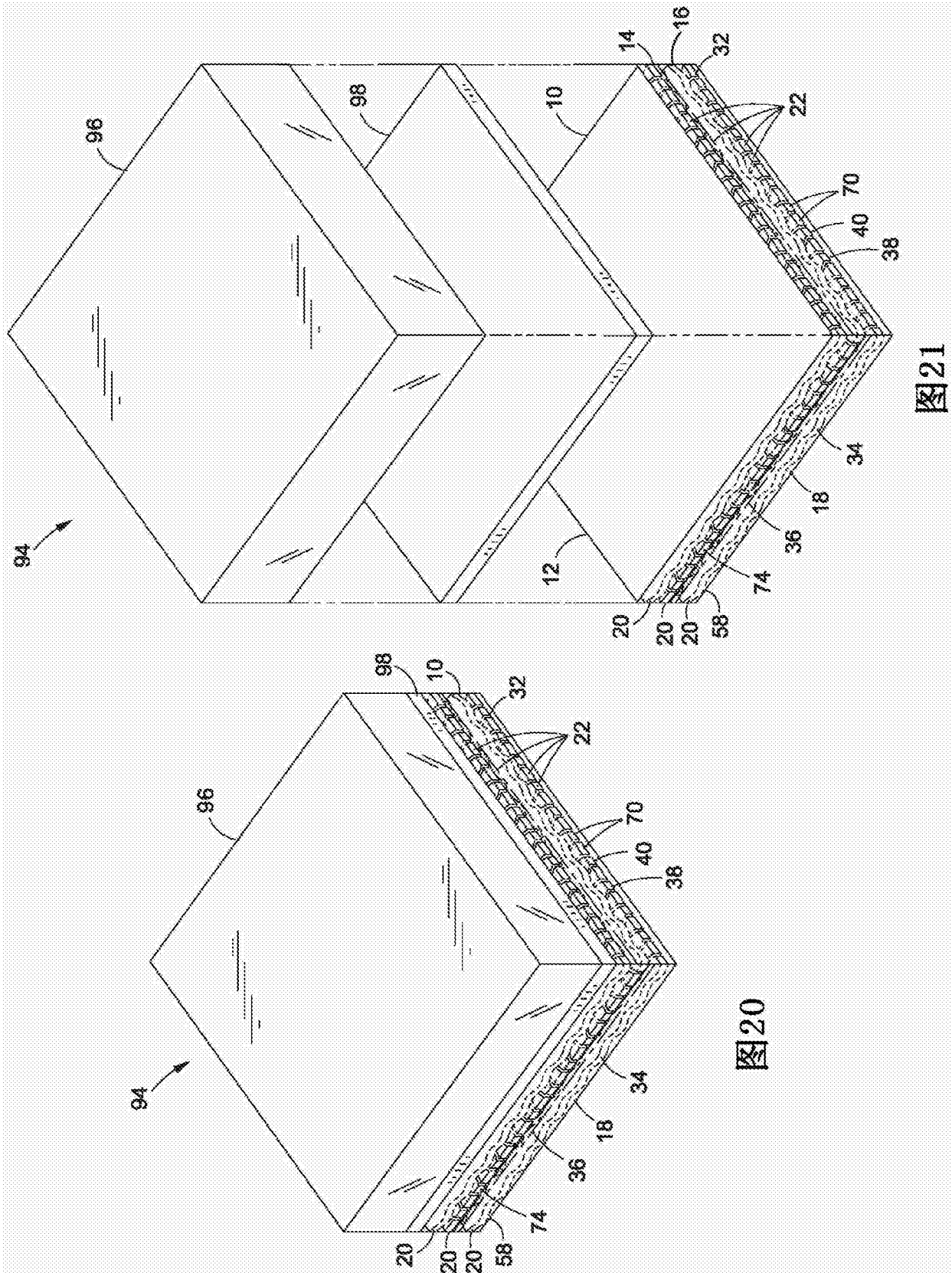


图19



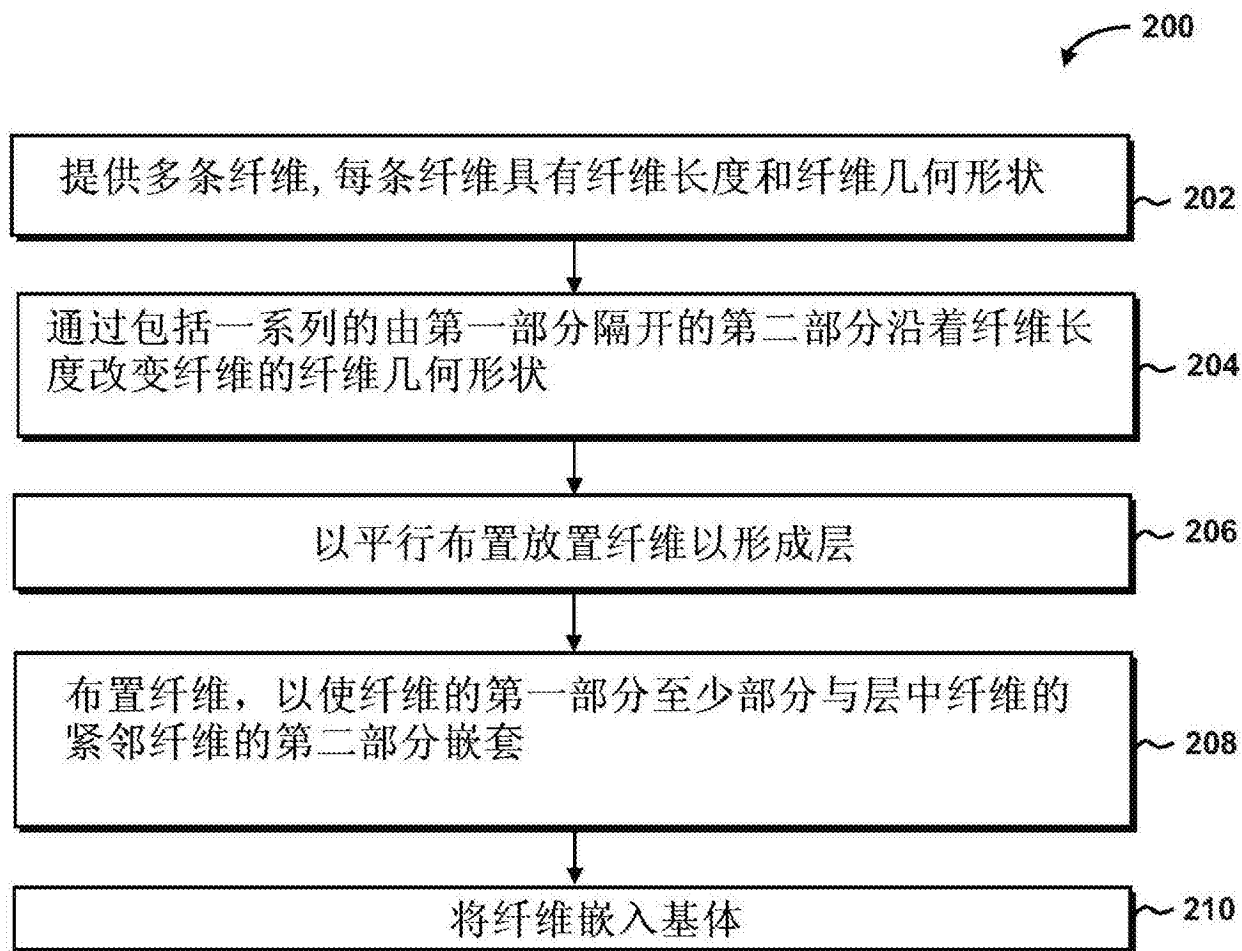


图22

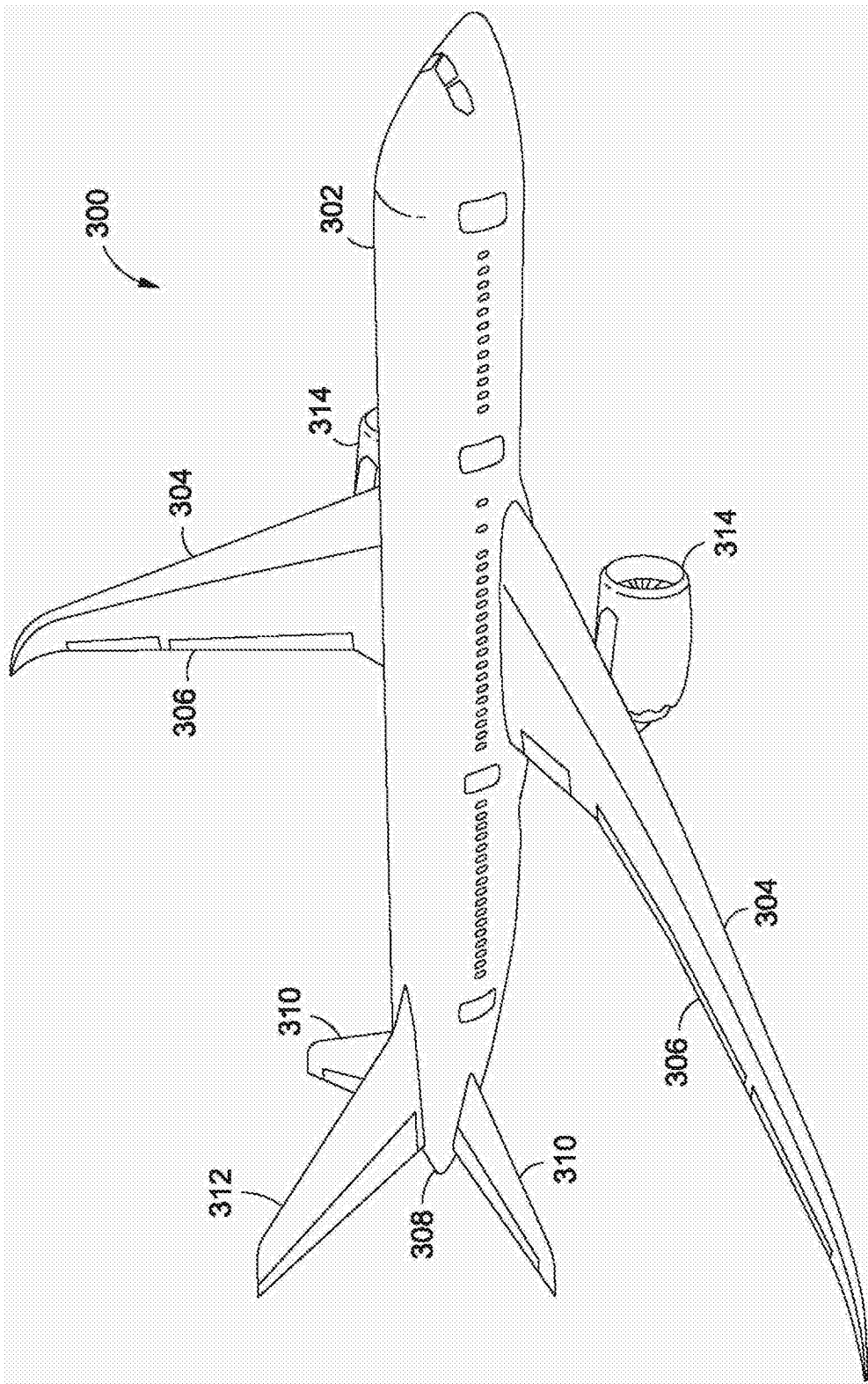


图23

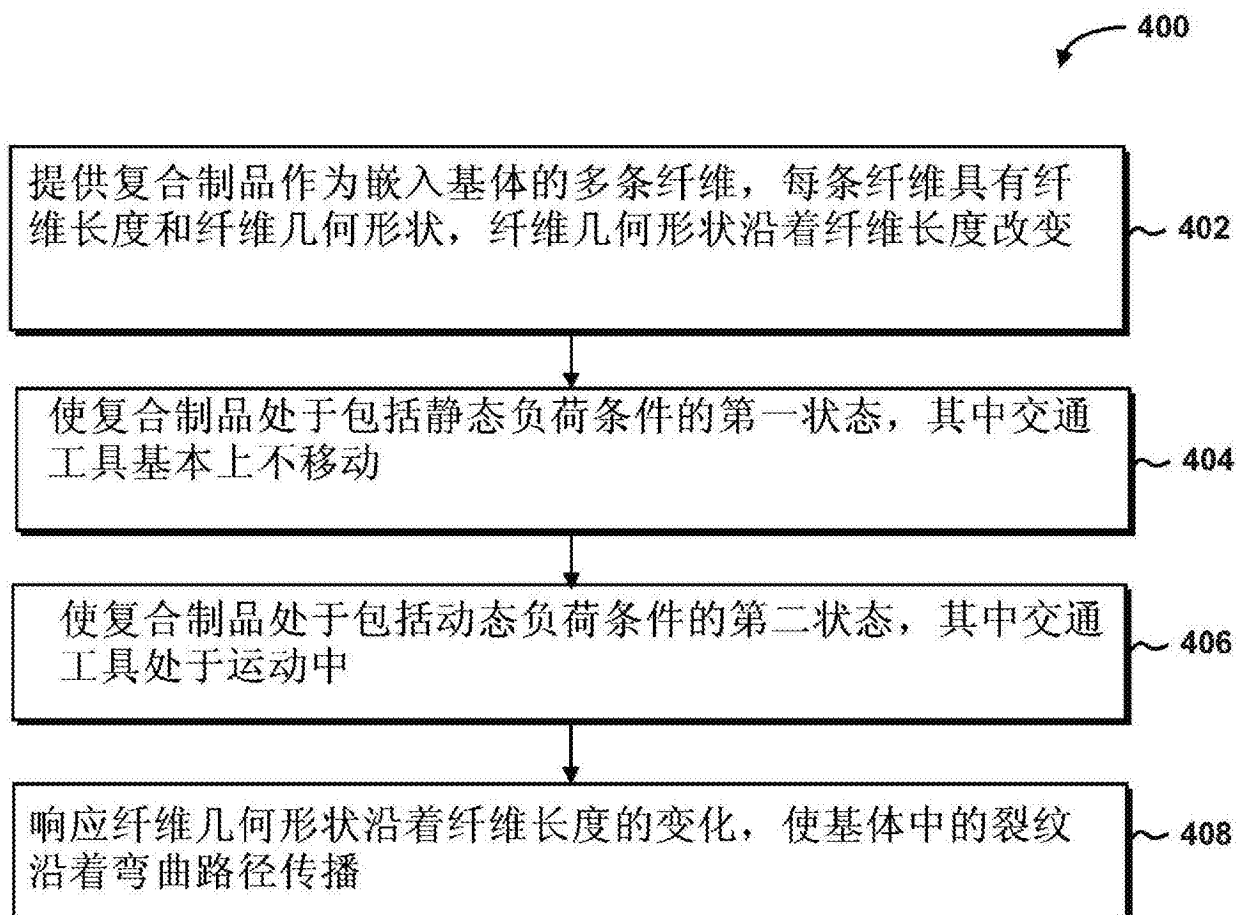


图24