



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104114857 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 22

(21) 申请号 201380009573. 4

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 02. 14

F03D 1/06 (2006. 01)

(30) 优先权数据

12155874. 6 2012. 02. 17 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 08. 15

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2013/052961 2013. 02. 14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/120946 EN 2013. 08. 22

(71) 申请人 LM WP 专利控股有限公司

地址 丹麦科灵

(72) 发明人 D. 拉马钱德兰 J. 马德森

R. 拉贾马尼

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
司 72001

代理人 谭佐晞 胡斌

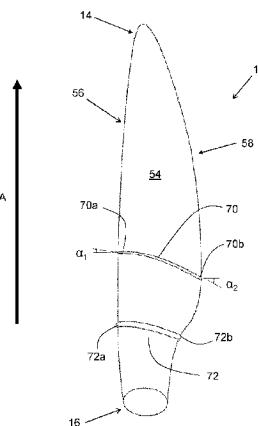
权利要求书2页 说明书9页 附图13页

(54) 发明名称

具有定形失速栅或偏流器的风轮机叶片

(57) 摘要

本发明描述了一种风轮机叶片，其中至少一个失速栅设在叶片表面上，其中失速栅布置成使得其与叶片的弦成一定角度地延伸。失速栅用于使叶片上的空气流转向，以改善风轮机性能。失速栅可靠叶片的根部端提供，用于使空气流朝叶片的根部端偏转来防止贴附的空气流的分离。此外或作为备选，失速栅可布置为靠叶片末梢端提供的偏流器，以增大末梢区中的空气流来提高性能和 / 或干扰末梢涡旋的形成。



1. 一种用于具有大致水平的转子轴的风轮机的转子的风轮机叶片，所述转子包括毂，所述叶片在安装到所述毂上时从所述毂大致沿径向延伸，所述叶片具有带末梢端和根部端的纵向方向，以及横向方向，所述叶片还包括：

成形轮廓，其包括压力侧和吸力侧，以及前缘和后缘，其中弦具有在所述前缘和后缘之间延伸的弦长，所述弦设在沿所述横向方向布置的弦平面上，所述成形轮廓在由入射空气流冲击时生成升力，

所述风轮机还包括设在所述风轮机叶片的表面上的至少一个失速栅，所述至少一个失速栅的至少一个区段沿所述叶片的横向方向与所述弦平面成 + / - 15 到 60 度之间的角度延伸，所述至少一个失速栅用于引导在所述叶片的所述成形轮廓上的贴附的流，其中所示至少一个失速栅从邻近所述前缘的第一端延伸至邻近所述后缘的第二端。

2. 根据权利要求 1 所述的风轮机叶片，其特征在于，在所述叶片的表面上方的所述至少一个失速栅的高度为所述至少一个失速栅的位置处的所述叶片的弦长的至少 1.5%。

3. 根据权利要求 1 或权利要求 2 所述的风轮机叶片，其特征在于，所述至少一个失速栅的至少第一区段与所述弦线成角度  $\alpha$  延伸，其中所述角度  $\alpha$  为相对所述弦线成大约 + / - 15 到 60 度之间。

4. 根据权利要求 1 至权利要求 3 中任一项所述的风轮机叶片，其特征在于，所述至少一个失速栅与所述弦成角度  $\alpha$  从所述第一端延伸至所述第二端，其中角度  $\alpha$  从所述第一端处的大约 0 度变成所述第二端处的大约 + / - 30 到 60 度。

5. 根据任何前述权利要求所述的风轮机叶片，其特征在于，所述至少一个失速栅从所述风轮机叶片的表面与所述表面成恒定角度  $\beta$  地突出，其中所述角度  $\beta$  选自 45 到 135 度之间的范围。

6. 根据权利要求 1 至权利要求 4 中任一项所述的风轮机叶片，其特征在于，所述至少一个失速栅从所述风轮机叶片的表面与所述表面成角度  $\beta$  地突出，其中所述角度  $\beta$  从所述第一端处的大约 0 度变成所述第二端处的大约 45 到 180 度之间。

7. 根据任何前述权利要求所述的风轮机叶片，其特征在于，所述至少一个失速栅的至少一个区段包括具有弯曲部分的截面。

8. 根据权利要求 7 所述的风轮机叶片，其特征在于，所述至少一个失速栅包括邻近所述叶片的表面的底座端，以及远离所述表面的末梢端，其中所述至少一个失速栅的至少一个区段包括所述底座端与所述末梢端之间的弯曲部分，其中所述弯曲部分的切角  $\theta$  在靠所述底座端的第一角度与靠所述末梢端的第二角度之间变化，其中所述第一角度大致垂直于所述风轮机叶片的表面，并且其中所述第二角度大致平行于所述风轮机叶片的表面。

9. 根据任何前述权利要求所述的风轮机叶片，其特征在于，所述至少一个失速栅由若干独立区段形成。

10. 根据任何前述权利要求所述的风轮机叶片，其特征在于，所述至少一个失速栅包括沿所述失速栅的长度设在所述失速栅的第一端与所述失速栅的第二端之间的至少一个间隙，其中所述间隙用于平衡跨所述至少一个失速栅的压力，以降低由所述至少一个失速栅引起的阻力效应。

11. 根据任何前述权利要求所述的风轮机叶片，其特征在于，所述风轮机叶片包括靠所述叶片的根部端提供的至少一个失速栅，所述至少一个失速栅从邻近所述前缘的第一端延

伸至第二端,以及其中在自所述叶片的根部端的方向上,所述至少一个失速栅的至少一个区段与所述弦线大致成锐角地从所述第一端朝所述第二端延伸。

12. 根据任何前述权利要求所述的风轮机叶片,其特征在于,所述至少一个失速栅的所述第一端突出超过所述前缘,所述第一端形成前缘偏导器,以将所述风轮机叶片的前缘处的空气流引向所述根部端。

13. 根据权利要求 12 所述的风轮机叶片,其特征在于,所述前缘偏导器从所述第一端朝所述叶片的根部端延伸,所述前缘偏导器与延伸超过所述前缘的标称弦线成锐角地延伸。

14. 根据任何前述权利要求所述的风轮机叶片,其特征在于,所述风轮机叶片包括靠所述叶片的末梢端设在所述吸力侧上的用作偏流器的至少一个失速栅,其中所述至少一个偏流器从邻近所述前缘的第一端延伸至第二端,并且其中所述至少一个偏流器的至少一个区段相对所述弦成大致锐角地朝所述末梢端延伸,以将所述成形轮廓上的层流引向所述末梢端。

15. 一种风轮机,其具有至少一个如权利要求 1 至权利要求 14 中任一项所述的风轮机叶片。

## 具有定形失速栅或偏流器的风轮机叶片

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种具有定形失速栅 (stall fence) 或偏流器 (flow diverter) 的风轮机叶片。

### 背景技术

[0002] 在风轮机叶片中,空气流的错流 (cross-flow) 有时从叶片的根部端沿风轮机叶片的长度传播。此类错流起到负面影响叶片性能的作用,特别是通过造成空气流与叶片表面分离,从而影响叶片升力。

[0003] 已知的是提供横切纵轴线贯穿风轮机叶片的表面延伸的隔层或失速栅,以防止此类错流的形成。此类风轮机叶片的实例可在美国专利第 7,585,157 号中看到。

[0004] 尽管该系统通过提供叶片的相邻区段之间的隔层来防止错流沿叶片长度传播,但在风轮机叶片旋转期间,在旋转期间生成的离心力起到沿叶片的长度朝末梢端推动空气流的作用。这导致朝叶片的后缘紧随失速栅形成低压区域,导致了流分离,且因此导致叶片性能的降低。

[0005] 本发明的一个目的在于提供一种具有凸出部件的风轮机叶片,其提供优于现有的失速栅系统的改善的性能。

### 发明内容

[0006] 因此,提供了一种用于具有大致水平的转子轴的风轮机的转子的风轮机叶片,所述转子包括毂,叶片在安装到毂上时从所述毂大致沿径向延伸,叶片具有带末梢端和根部端的纵向方向,以及横向方向,该叶片还包括:

成形轮廓,其包括压力侧和吸力侧,以及前缘和后缘,其中具有弦长的弦线在前缘和后缘之间延伸,其中弦线布置在弦平面上,该成形轮廓在由入射空气流冲击时生成升力,

该风轮机还包括设在所述风轮机叶片的表面上的至少一个失速栅,所述至少一个失速栅的至少一个区段沿所述叶片的横向方向与所述弦线或所述弦平面成 + / - 15 到 60 度之间的角度地延伸,优选在 + / - 20 到 45 度之间,进一步优选在 + / - 30 到 40 度之间,所述至少一个失速栅用于在所述叶片的成形轮廓上引导贴附的流。

[0007] 将成角度的平面部件用作失速栅允许了叶片的表面上的空气流朝叶片的特定区段引导,以改善叶片性能,例如,增大升力、减小阻力等。如果失速栅提供成靠叶片的根部端,则失速栅用于防止错流,以及充当靠叶片的根部端的压缩器,以增大叶片的根部端处的压力。在失速栅的外侧上,压力将减小,且因此延迟沿叶片的外侧区段的流分离。如果失速栅靠叶片的末梢端提供,则失速栅可充当偏流器来使更多空气流朝末梢区段移动,在末梢区段处,对性能的好处更大。

[0008] 作为优选,所述至少一个失速栅从邻近所述前缘的第一端延伸至邻近所述后缘的第二端,作为优选,其中所述第一端位于距所述前缘所述弦的长度的 0 到 5% 内,作为优选,其中所述第二端位于距所述后缘所述弦的长度的 0 到 5% 内。

[0009] 当失速栅大致在叶片的前缘与后缘之间延伸时,这允许了引导贴附的流流过叶片外形的大致整个弦长度。至少一个失速栅可布置成大致沿叶片的根部端的方向延伸,形成定形的根部端失速栅。此外或作为备选,至少一个失速栅可布置成大致沿叶片的末梢端的方向延伸,形成导流器。

[0010] 作为优选,叶片的表面上方的所述至少一个失速栅的高度为所述至少一个失速栅的位置处的叶片的弦长的至少 1.5%,进一步优选为弦长的至少 2%。

[0011] 失速栅选择成具有可阻止沿叶片的错流的高度和 / 或使叶片外形上的贴附流转移或转向的高度。一方面,失速栅具有沿失速栅的长度的恒定高度。在备选方面中,失速栅在前缘与后缘之间沿失速栅的长度而高度增大。

[0012] 作为优选,所述至少一个失速栅的至少第一区段与所述弦平面成角度  $\alpha$  地延伸,其中所述角度  $\alpha$  与所述弦平面成大约 + / - 15 到 60 度之间,其中所述至少第一区段沿成形轮廓的弦范围的至少 30% 延伸,优选沿至少 50%,进一步优选沿至少 70%。

[0013] 在该实施例中,失速栅的区段与弦平面成特定角度地延伸叶片的弦长度的至少一部分。

[0014] 作为优选,所述至少一个失速栅与所述弦平面成角度  $\alpha$  从所述第一端延伸至所述第二端,其中所述角度  $\alpha$  为与所述弦平面成大约 + / - 15 到 60 度之间。

[0015] 在该实施例中,整个失速栅提供成与叶片的弦成一定角度,使得可实现叶片的空气流的连续偏导。

[0016] 作为优选,所述至少一个失速栅与所述弦平面成一定角度  $\alpha$  从所述第一端延伸至所述第二端,其中角度  $\alpha$  从所述第一端处的大约 0 度变至所述第二端处的大约 + / - 30 到 60 度,优选 + / - 45 度。

[0017] 在该实施例中,失速栅与叶片的弦所成的角度随沿失速栅的长度的距离变化。失速栅具有靠叶片的前缘成大约 0 度的角度  $\alpha$ ,以减小对靠叶片前缘的空气动力性能的任何影响。在失速栅的第二端处的角度  $\alpha$  可选择成提供空气流的最大偏导,具有对空气动力性能的最小影响。第二端处的角度  $\alpha$  可选自以下的任一者:大约 15 度、30 度、45 度。

[0018] 在优选实施例中,角度  $\alpha$  在所述第一端与所述第二端之间线性地变化。

[0019] 这提供了角度  $\alpha$  沿失速栅的长度的恒定变化率。在备选实施例中,角度  $\alpha$  的变化率可沿失速栅的长度从靠失速栅的第一端的低变化率(例如,0 到 5%)变成靠失速栅的第二端的较高的变化率(例如,5 到 50%)。

[0020] 作为优选,所述至少一个失速栅从所述风轮机叶片的表面以与所述表面成恒定角度  $\beta$  地突出,其中所述角度  $\beta$  选自 45 到 135 度之间的范围中。

[0021] 失速栅的突出角度可为任何适合的角度,且不限于相对于叶片的表面成 90 度。

[0022] 作为备选,所述至少一个失速栅从所述风轮机叶片的表面以与所述表面成角度  $\beta$  地突出,其中所述角度  $\beta$  从所述第一端处的大约 0 度变至所述第二端处的大约 45 到 180 度之间,优选 90 到 180 度之间,优选 90 到 135 度之间,作为备选,45 到 90 度之间。

[0023] 失速栅可定形成或包括扭曲,以在使叶片的表面上的流转向时提供改善的性能。

[0024] 作为优选,所述角度  $\beta$  在所述第一端与所述第二端之间线性地变化。

[0025] 此外或作为备选,所述至少一个失速栅的至少一个区段包括具有弯曲部分的截面。

[0026] 失速栅的弯曲区段允许空气流在风轮机叶片的表面更有效地转向。

[0027] 作为优选，所述至少一个失速栅包括邻近所述叶片的表面的底座端，以及远离所述表面的末梢端，其中所述至少一个失速栅的至少一个区段包括所述底座端与所述末梢端之间的弯曲部分，其中所述弯曲部分的切角  $\theta$  在靠所述底座端的第一角度与靠所述末梢端的第二角度之间变化，其中所述第一角度大致垂直于风轮机叶片的表面，并且其中所述第二角度大致平行于风轮机叶片的表面。作为优选，所述第一角度与风轮机叶片的表面成 45 到 135 度之间。作为优选，所述第二角度与风轮机叶片的表面成 135 到 215 度之间。

[0028] 作为优选， $\theta$  沿叶片的根部端的方向测量。在一个实施例中， $\theta$  在与风轮机叶片的表面成大约 90 到 180 度之间变化。在该实施例中，弯曲区段的末梢端大致指向风轮机叶片的末梢端的方向。

[0029] 在备选实施例中， $\theta$  在与风轮机叶片的表面成大约 90 到 0 度之间变化。在该实施例中，弯曲区段点的末梢端大致指向风轮机叶片的根部端的方向。

[0030] 在优选实施例中，所述至少一个失速栅的所述至少一个区段沿所述失速栅的整个高度在所述底座端与所述末梢端之间弯曲。

[0031] 恒定的弯曲部件用于提供导管来引导空气流流过叶片。

[0032] 作为备选，所述至少一个失速栅的所述至少一个区段包括设在所述失速栅的底座端处的大致直的部分，以及设在所述失速栅的末梢端处的弯曲部分，所述大致直的部分具有与所述风轮机叶片的表面所成的恒定角度  $\beta$ ，所述弯曲部分具有变化的切角  $\theta$ 。

[0033] 作为备选，失速栅的仅一部分可沿失速栅的高度弯曲。这可增大在失速栅的末梢或末梢端上引导空气流的难度。

[0034] 在一个实施例中，至少一个失速栅可由若干独立区段形成。作为优选，所述区段可组装来形成单个连续的失速栅。作为备选，所述区段可彼此间隔地设在所述风轮机叶片上，所述间隔的区段用于形成失速栅阵列，所述阵列形成实质的失速栅或偏流器。

[0035] 在另一个实施例中，至少一个失速栅包括沿失速栅的长度提供在所述失速栅的第一端与所述失速栅的第二端之间的至少一个间隙，其中所述间隙用于平衡跨至少一个失速栅的压力，以降低由至少一个失速栅引起的阻力效应。

[0036] 在一个实施例中，所述间隙由设在所述至少一个失速栅中的贯穿通道形成。

[0037] 作为备选，所述失速栅由设在风轮机叶片的表面上的多个分立的失速栅构件形成，所述分立的失速栅构件与标称的失速栅外形大致共线，其中至少一个间隙由相邻的分立失速栅构件之间的间隔形成。

[0038] 相邻分立失速栅构件可相对于标称失速栅外形偏移，以提供延伸穿过标称失速栅的宽度的区段以及标称失速栅的长度的区段的间隙。

[0039] 作为优选，风轮机叶片包括设在风轮机叶片的表面上的多个失速栅。此外或作为备选，所述至少一个失速栅可设在风轮机叶片的压力侧的至少一个区段上。

[0040] 作为优选，所述至少一个失速栅靠所述叶片的根部端设在所述吸力侧上，其中所述至少一个失速栅从邻近所述前缘的第一端延伸至第二端，其中在自叶片的根部端的方向上，至少一个失速栅的至少一个区段与所述弦线成大致锐角地从所述第一端朝所述第二端延伸。

[0041] 由于失速栅的至少一个区段靠叶片的根部端与弦线成角度地布置，则叶片轮廓上

的贴附的流将被引向叶片的根部端,从而在叶片旋转期间延迟流分离。选取锐角意味着自叶片的根部端的方向相对于叶片的弦线成 0 到 90 度之间的角度。

[0042] 作为优选,所述至少一个失速栅与所述表面成角度  $\beta$  从所述风轮机叶片突出,其中所述至少一个失速栅大致沿风轮机叶片的根部端的方向突出。

[0043] 作为优选,所述至少一个失速栅设在所述吸力侧上,在距所述根部端所述风轮机叶片的长度的 0 到 50% 内。

[0044] 定形的失速栅定位在根部端的半个叶片中,首先防止沿叶片的长度的长度方向的空气流,且然后防止由叶片的根部端处的叶片相对较厚的截面引起的叶片的根部端处的流分离。

[0045] 作为优选,所述至少一个失速栅的所述第一端位于所述吸力侧上,在距所述前缘所述弦的长度的 0 到 5% 内。

[0046] 作为备选,其中所述至少一个失速栅的所述第一端突出超过所述前缘,所述第一端形成前缘偏导器,以将所述风轮机叶片的前缘处的空气流引向所述根部端。

[0047] 当失速栅布置成突出超过叶片的前缘时,至少一个前缘偏导器的存在有助于减少沿叶片的长度的向外流。

[0048] 作为优选,所述前缘偏导器从所述第一端朝所述叶片的根部端延伸,所述前缘偏导器与延伸超过所述前缘的标称弦线成锐角延伸。

[0049] 当前缘偏导器成角度提供时,前缘偏导器提供流朝叶片的根部端的进一步转向,减小了叶片根部端处的流分离效果。

[0050] 作为优选,所述至少一个失速栅的所述第二端位于所述吸力侧内,在距所述后缘所述弦长度的 0 到 5% 内。

[0051] 在该实施例中,失速栅延伸穿过叶片的大致整个弦长度。

[0052] 作为优选,风轮机叶片包括靠所述叶片的末梢端设在所述吸力侧上的至少一个偏流器,其中所述至少一个偏流器从邻近所述前缘的第一端延伸至第二端,其中所述至少一个偏流器的至少一个区段与所述弦成大致锐角朝所述末梢端延伸,以将所述成形轮廓上的层流引向所述末梢端。

[0053] 偏流器用于增大朝叶片的外区域的空气流,以通过改变叶片末梢涡旋来改善叶片性能。

[0054] 作为优选,所述至少一个偏流器从所述风轮机叶片的表面与所述表面成角度  $\beta$  地突出,其中所述至少一个偏流器大致沿风轮机叶片的末梢端的方向突出。

[0055] 还提供了一种风轮机叶片,其具有从风轮机叶片的表面突出的平面部件,优选失速栅或偏流器,其中所述平面部件的至少一部分包括大致弯曲的截面外形。

[0056] 在此系统中,可大致在叶片的后缘与前缘之间延伸的平面部件通过添加如上文关于定形或成角度的平面部件系统所述的弯曲截面来加强。

[0057] 提供了一种用于叶片的突出的平面部件,其可提供成相对于叶片的弦平面具有角度  $\alpha$ ,且相对于叶片表面具有角度  $\beta$ ,平面部件布置成使得  $\alpha$  和 / 或  $\beta$  的值在平面部件的第一端与第二端之间变化,优选以沿平面部件的长度的至少 30% 的线性变化。

[0058] 此外或作为备选,还提供了一种具有设在所述叶片的表面上的平面部件的风轮机叶片,平面部件大致在所述风轮机叶片的前缘与后缘之间延伸,其中所述平面部件的至少

一部分包括弯曲截面。

[0059] 将理解的是，平面部件（例如，偏流器或失速栅）的具有弯曲截面的特征可与平面部件的布置特征（设置成与风轮机叶片的弦平面成锐角）分开实施。

[0060] 还提供了一种具有至少一个如上文所述的风轮机叶片的风轮机。

## 附图说明

[0061] 现在仅通过参照附图举例的方式来描述本发明的实施例，在附图中：

图 1 示出了风轮机；

图 2 示出了根据本发明的风轮机叶片的示意图；

图 3 示出了图 2 的叶片的翼型外形的示意图；

图 4 示出了根据本发明的第一实施例的具有至少一个失速栅的风轮机叶片的平面视图；

图 5 示出了在由入射空气流冲击时的图 4 中的风轮机叶片的平面视图；

图 6 示出了根据本发明的第二实施例的具有至少一个失速栅的风轮机叶片的平面视图；

图 7 示出了根据本发明的第三实施例的具有至少一个失速栅的风轮机叶片的平面视图；

图 8 示出了根据本发明的第四实施例的具有至少一个失速栅的风轮机叶片；以及

图 9 示出了根据本发明的风轮机叶片的失速栅的一系列截面视图。

## 具体实施方式

[0062] 将理解的是，本发明的不同实施例共有的元件在附图中提供有相同的参考标号。

[0063] 图 1 示出了根据所谓的“丹麦构想”的常规现代逆风风轮机 2，其具有塔架 4、机舱 6 和具有大致水平的转子轴的转子。转子包括毂 8 和从毂 8 沿径向延伸的三个叶片 10，各个叶片 10 均具有最接近毂的叶片根部 16 和最远离毂 8 的叶片末梢 14。转子具有表示为 R 的半径。

[0064] 图 2 示出了风轮机叶片 10 的示意图。风轮机叶片 10 具有常规风轮机叶片形状，且包括最接近毂的根部区 30、最远离毂的成形区或翼型区 34，以及在根部区 30 与翼型区 34 之间的过渡区 32。当叶片安装在毂上时，叶片 10 包括面对叶片 10 的旋转方向的前缘 18，以及面对前缘 18 的相反方向的后缘 20。

[0065] 翼型区 34（也称为成形区）具有相对于生成升力理想的或几乎理想的叶片形状，而根部区 30 由于结构考虑具有大致圆形或椭圆形的截面，其例如使得将叶片 10 更容易且更安全地安装在毂上。根部区 30 的直径（或弦）沿整个根部区域 30 通常为恒定的。过渡区 32 具有从根部区 30 的圆形或椭圆形 40 逐渐地变至翼型区 34 的翼型外形 50 的过渡外形 42。过渡区 32 的弦长通常随离毂的距离 r 增大而大致线性地增大。

[0066] 翼型区 34 具有翼型外形 50，其中弦在叶片 10 的前缘 18 与后缘 20 之间延伸。弦的宽度随离毂的距离 r 增大而减小。

[0067] 应当注意的是，叶片的不同区段的弦一般不位于共同平面中，因为叶片可扭转和/或弯曲（即，预先弯曲），从而提供具有对应的扭转和/或弯曲行程的弦平面，这是最常见的

情况,以便补偿取决于离毂的半径的叶片的局部速度。

[0068] 图3示出绘有各种参数的风轮机的典型叶片的翼型外形50的示意图,这些参数通常用于限定翼型件的几何形状。翼型外形50具有压力侧52和吸力侧54,在使用期间,即,在转子旋转期间,一般分别面朝上风(或逆风)侧和下风(或顺风)侧。翼型件50具有弦长为c的弦60,弦60在叶片的前缘56与后缘58之间延伸。翼型件50具有厚度t,其限定为压力侧52与吸力侧54之间的距离。翼型件的厚度t沿弦60变化。与对称外形的偏离由弧线62给出,弧线62为贯穿翼型外形50的中线。中线可通过从前缘56到后缘58绘出内切圆来找到。中线沿着这些内切圆的中心,且与弦60的偏离或距离称为弧f。不对称性还可通过使用称为上弧和下弧的参数来限定,其分别限定为离弦60和吸力侧54和压力侧52的距离。

[0069] 翼型外形通常特征为以下参数:弦长c、最大弧f、最大弧f的位置df、最大翼型厚度t,其为沿中间弧线62的内切圆的最大直径,最大厚度t的位置dt,以及鼻部半径(未示出)。这些参数通常限定为与弦长c的比。作为优选,根据本发明的风轮机叶片超过40米长。

[0070] 参看图4,示出了根据本发明的风轮机叶片10的实施例。第一失速栅70和第二失速栅72从叶片10的吸力侧54的表面突出,第一失速栅70和第二失速栅72从邻近叶片前缘56的相应的第一端70a,72a延伸至邻近叶片后缘58的相应的第二端70b,72b。

[0071] 第一失速栅70和第二失速栅72提供为失速栅或隔层,其从叶片表面延伸以防止或阻止沿叶片10的如由箭头A指出的纵向方向的空气流。第一失速栅70和第二失速栅72靠叶片10的根部区定位,优选距根部端16叶片的纵向长度的50%内。

[0072] 此外,第一失速栅70和第二失速栅72布置成自叶片根部端16的方向与叶片外形的弦平面成锐角地从所述第一端70a,72a朝所述第二端70b,72b延伸,弦平面为垂直于如箭头A指出的叶片10的纵轴线的平面。第一失速栅70和第二失速栅72沿叶片10的根部端16的方向成锐角地从前缘56处的所述第一端70a,72a朝后缘58处的所述第二端70b,72b延伸。

[0073] 当叶片10在风轮机2上旋转时,旋转的离心效应有效地将径向空气流朝叶片10的末梢端14推动,这引起根部侧流分离以朝末梢端14转移。

[0074] 参看图5,靠叶片10的根部端16提供成角度的失速栅70,72用于使空气流(由箭头F指出)在根部区中叶片10上偏转,以克服离心力将空气流朝叶片10的根部端16引导。因此,成角度的失速栅70,72用于抵消由转子叶片产生的径向压力梯度,且减小朝叶片10的末梢端14移动的流分离。空气流朝根部端16的这样转向用于调节贯穿叶片的压力,从而延迟空气流分离,且提高叶片升力和相关联的性能。定形的失速栅可进一步用于使叶片的根部端处的湍流涡旋(以G指出)最小化,从而通过减小阻力改善性能。

[0075] 在第一方面中,第一和/或第二失速栅或失速栅70,72与风轮机叶片10的弦平面所成的角度 $\alpha$ 可沿第一和/或第二失速栅70,72的长度变化。例如,在图4的实施例中,第一失速栅70的角度 $\alpha$ 从失速栅的第一端70a处的第一值 $\alpha_1$ 变成失速栅的第二端70b处的第二值 $\alpha_2$ 。作为优选, $\alpha_1$ 为大约0度,而 $\alpha_2$ 在大约30到60度之间。因此,失速栅70变成在叶片后缘56处与叶片10的弦平面大致共线,且朝后缘58相对偏离弦平面。这允许了失速栅70的形状沿失速栅70的长度变化,以便使叶片10的后缘56处的叶片性能影

响最小化（由于最小化的距叶片的弦线的偏离），同时在叶片后缘 58 处提供了空气流的实质的转向。

[0076] 在图 4 的实施例中，由失速栅 70, 72 所成的角度  $\alpha$  大致沿失速栅的长度变化，但将理解的是，也可实施备选构造。在第一方面中，失速栅 70, 72 中的至少一个可与弦平面成恒定角度  $\alpha$  地延伸。此外或作为备选，至少一个失速栅可以恒定的角度  $\alpha$  沿失速栅的长度的至少 30%，优选至少 50%，进一步优选至少 70% 延伸。 $\alpha$  可选择为沿叶片 10 的根部端 16 的方向与弦平面成任何适合的角度，例如，30 到 60 度之间。

[0077] 参看图 6，以 10a 指示根据本发明的风轮机叶片的另一个实施例。在该实施例中，第一偏流器 80 和第二偏流器 82 提供为从叶片 10 的吸力侧 54 的表面突出的失速栅，第一偏流器 80 和第二偏流器 82 从邻近叶片前缘 56 的相应第一端 80a, 82a 延伸至邻近叶片后缘 58 的相应第二端 80b, 82b。

[0078] 第一偏流器 80 和第二偏流器 82 布置成沿叶片末梢端 14 的方向与叶片外形的弦平面成锐角地从所述第一端 80a, 82a 朝所述第二端 80b, 82b 延伸。因此，第一偏流器 82 和第二偏流器 82 从叶片表面突出，以使叶片上的空气流沿向外的方向朝叶片 10a 的末梢端 14（沿箭头 T 的方向）偏转。第一偏流器 80 和第二偏流器 82 靠叶片 10a 的末梢区定位，优选在距末梢端 14 叶片的纵向长度的 50% 内。

[0079] 通过沿向外的方向推动空气流，叶片 10a 能够获得靠叶片末梢端 14 的提高的叶片升力性能的优点，从而改善总体的轮机性能。

[0080] 正如图 4 的实施例那样，第一偏流器 80 和第二偏流器 82 大体上与风轮机叶片 10a 的弦平面成角度  $\alpha$  延伸。在图 6 的实施例中， $\alpha$  为沿叶片末梢端 14 的方向从叶片 10a 的弦平面测量的锐角。

[0081] 在第一方面中，第一偏流器 80 和 / 或第二偏流器 82 与风轮机叶片 10 的弦平面所成的角度  $\alpha$  可沿偏流器 80, 82 的长度变化。例如，在图 6 的实施例中，第一偏流器 80 的角度  $\alpha$  从偏流器的第一端 80a 处的第一值  $\alpha_1$  变成偏流器的第二端 80b 处的第二值  $\alpha_2$ 。作为优选，沿叶片末梢端 14 的方向， $\alpha_1$  为大约 0 度，而  $\alpha_2$  在大约 30 到 60 度之间。

[0082] 因此，偏流器 80 变成在叶片后缘 56 处与叶片 10 的弦平面大致共线，且朝后缘 58 相对偏离弦平面。正如图 4 的实施例，这允许了偏流器 80 的形状沿偏流器的长度变化，以便使叶片 10 的后缘 56 处的叶片性能的影响最小化（由于最小化的距叶片弦线的偏离），同时在叶片后缘 58 处提供了空气流的实质转向。

[0083] 在备选实施方式中，偏流器 80, 82 中的至少一个可沿叶片末梢端 14 的方向与弦平面成恒定角度  $\alpha$  地延伸。此外或作为备选，至少一个偏流器可以恒定角度  $\alpha$  沿偏流器的长度的至少 30%，优选至少 50%，进一步优选至少 70% 延伸。 $\alpha$  可选择为沿叶片 10 的末梢端 14 的方向与弦平面成任何适合的角度，例如，30 到 60 度之间。

[0084] 在图 4 和 6 的实施例中，失速栅 70, 72 或偏流器 80, 82 形式的失速栅布置成使得相应的第一端 70a, 72a, 80a, 82a 邻近叶片前缘 56，且相应的第二端 70b, 72b, 80b, 82b 邻近叶片的后缘 58。将理解的是，可提供失速栅的任何适合布置，例如，相应的第一端 70a, 72a, 80a, 82a 可设在前缘 56 的 0 到 5% 内，和 / 或相应的第二端 70b, 72b, 80b, 82b 可设在后缘 58 的 0 到 5% 内。

[0085] 在备选实施例中，失速栅 70, 72, 80, 82 可沿风轮机叶片外形的弦范围的仅一部分

延伸,例如,自前缘起测量的外形的弦长度的大约 0 到 70% 之间,自后缘起测量的外形的弦长度的 0 到 70% 之间,或自前缘起测量的外形的弦长度的 15% 到 85% 之间。

[0086] 在本发明的另一个增强方案中,失速栅 70, 72, 80, 82 的相应第一端 70a, 72a, 80a, 82a 可突出超过风轮机叶片 10 的前缘 56。参看图 7(a) 和 (b),示出了具有带第一失速栅 90 和第二失速栅 92 的风轮机叶片 10 的风轮机 2 的毂 8 和机舱 6 区段的放大视图,所述第一失速栅 90 和第二失速栅 92 提供成靠风轮机叶片 10 的根部端 16。突出的失速栅 90, 92 的相应的第一端 90a, 92a 突出叶片 10 的前缘 56,使得从叶片的根部端 16 向外的空气流和 / 或由于毂 8 的存在而偏转的流(如箭头 F 指出)偏导并被引向叶片根部端 16,从而防止了沿叶片长度的进一步错流,导致了沿叶片 10 的长度的贴附流的随后分离。

[0087] 在图 7(a) 中,如图 4 的以上实施例所述,突出的失速栅 90, 92 示为沿叶片外形的弦长度的一部分延伸,优选沿叶片根部端 16 的方向与叶片的弦平面成一定角度。

[0088] 在图 7(b) 中,如图 4 的以上实施例所述,突出的失速栅 90, 92 示为沿叶片外形的大致整个弦长度延伸,优选沿叶片根部端 16 的方向与叶片的弦平面成一定角度。此外,突出的失速栅 90, 92 的相应的第二端 90b, 92b 可突出超过叶片 10 的后缘 58,以便提供更大范围的流转向。

[0089] 在本发明的另一个增强方案中,失速栅 70, 72, 80, 82, 90, 92 可包括限定在部件中的通道、间隔或间隙,以提供部件两侧之间的空气压力的流通,以减小或改进由失速栅或任何其它特征生成的可对叶片性能有负面影响的任何可能的阻力效应。

[0090] 参看图 8,示出了本发明的实施例,其中第一失速栅 70 和第二 72 提供为两个分开的区段,第一失速栅 70 提供为靠叶片前缘 56 定位的第一失速栅区段 74 和靠叶片后缘 58 定位的第二失速栅区段 75,而第二失速栅 72 提供为靠叶片前缘 56 定位的第一失速栅区段 76 和靠叶片后缘 58 定位的第二失速栅区段 77。区段布置成使得间隙 78 限定在相应的第一失速栅区段 74, 76 与相应的第二失速栅区段 75, 77 之间,此间隙 78 允许一部分空气流在第一失速栅 70 和第二失速栅 72 的侧部之间流通或泄漏,以提供侧部之间的压力平衡,且从而减小了与定形失速栅相关联的任何负面升力特性。此外,将失速栅提供为分开发区段的组件提供了改善的制造和组装的容易度,例如,在对现有风轮机叶片改装此类定形失速栅的情况下。

[0091] 在本发明的另一个方面中,失速栅的截面可定形成提供风轮机叶片的改善的性能。图 9 示出了用于与本发明的任何实施例一起使用的几种可能的失速栅截面,失速栅 100 具有设在风轮机叶片 10 的表面 102 处的底座端 100a,以及远端 100b。

[0092] 图 9(a) 示出了从风轮机叶片的表面 102 突出的失速栅 100,其中失速栅 100 与叶片表面 102 成直角  $\beta$  突出。

[0093] 图 9(b) 示出了从风轮机叶片的表面 102 突出的失速栅 100,其中失速栅 100 与叶片表面 102 成钝角  $\beta$  突出。图 9(c) 示出了从风轮机叶片的表面 102 突出的失速栅 100,其中失速栅 100 与叶片表面 102 成锐角  $\beta$  突出。

[0094] 作为优选,失速栅布置成使得部件的末梢端 100b 沿期望的流转向的方向突出,例如,使得沿叶片根部端 16 的方向测量失速栅 70, 72 与叶片表面 102 成锐角  $\beta$  突出。类似地,作为优选,沿叶片末梢端 14 的方向测量,偏流器 80, 82 与叶片表面 102 成锐角  $\beta$  突出(或沿叶片根部端 16 的方向测量的成钝角  $\beta$  突出)。作为优选,失速栅 100 与所述表面

102 成恒定角度  $\beta$  突出, 其中所述角度  $\beta$  选自 + / - 45 到 135 度的范围。

[0095] 图 9(d) 示出了从风轮机叶片的表面 102 突出的失速栅 100, 其中失速栅 100 包括弯曲截面。在图 9(d) 中, 失速栅 100 弯曲, 使得底座端 100a 与叶片表面 102 大致垂直, 同时末梢端 100b 大致平行于叶片表面 100, 即, 失速栅 100 的切角  $\theta$  在所述底座端 100a 处的大约 90 度与所述末梢端 100b 处的大约 180 度之间变化。然而, 将理解的是, 可实施其它截面弯曲形状。

[0096] 提供失速栅的定形截面允许了空气流由失速栅的更有效转向。

[0097] 在本发明的另一个增强方案中, 失速栅 70, 72, 80, 82, 90, 92 的截面形状可在所述失速栅的相应第一端与第二端之间变化。

[0098] 在第一方面中, 失速栅 100 可沿失速栅的长度定形, 使得角度  $\beta$  从失速栅的第一端处的大约 0 度 (即, 其中失速栅不突出风轮机叶片的表面) 变成失速栅的第二端处的大约 35 到 180 度之间 (即, 其中失速栅可定形成使空气流转向, 而沿失速栅的长度具有提高有效性)。作为优选, 失速栅定形成使得失速栅的末梢端大致指向失速栅的第二端处的期望的流方向, 即, 朝失速栅实施例中的根部端, 以及朝偏流器实施例的末梢端。

[0099] 在另一个方面中, 失速栅 100 可定形成具有弯曲截面, 其中失速栅的弯曲的程度可在失速栅的第一端与第二端之间变化。弯曲区段可变化, 以便具有靠叶片的前缘的最小弯曲, 且因此减小前缘处的失速栅的空气动力影响, 和靠后缘的更显著弯曲, 从而具有朝叶片的后缘的增大的转向效果。

[0100] 在另一个方面中, 失速栅可包括第一相对较直的部分, 例如, 设在失速栅的底座端处, 以及第二相对弯曲的部分, 例如, 设在失速栅的末梢端处。

[0101] 将理解的是, 用于叶片的突出失速栅可提供为具有相对于叶片的弦平面的角度  $\alpha$ , 以及相对于叶片表面的角度  $\beta$ , 失速栅布置成使得值  $\alpha$  和 / 或  $\beta$  在失速栅的第一端与第二端之间变化, 优选为沿失速栅的长度的至少 30% 线性变化。此外或作为备选, 突出的失速栅可设有具有切角  $\theta$  的至少一个弯曲区段, 失速栅布置成使得值  $\theta$  在失速栅的第一端与第二端之间变化, 优选沿失速栅的长度的至少 30% 的线性变化。

[0102] 将理解的是, 任何前述实施例的元件的数目或元件的任何组合可设在单个风轮机叶片上, 例如, 图 4 的实施例的失速栅 70, 72 可与图 6 的实施例的偏流器组合。

[0103] 本发明不限于本文所述的实施例, 且可在不脱离本发明的范围的情况下改变或改动。

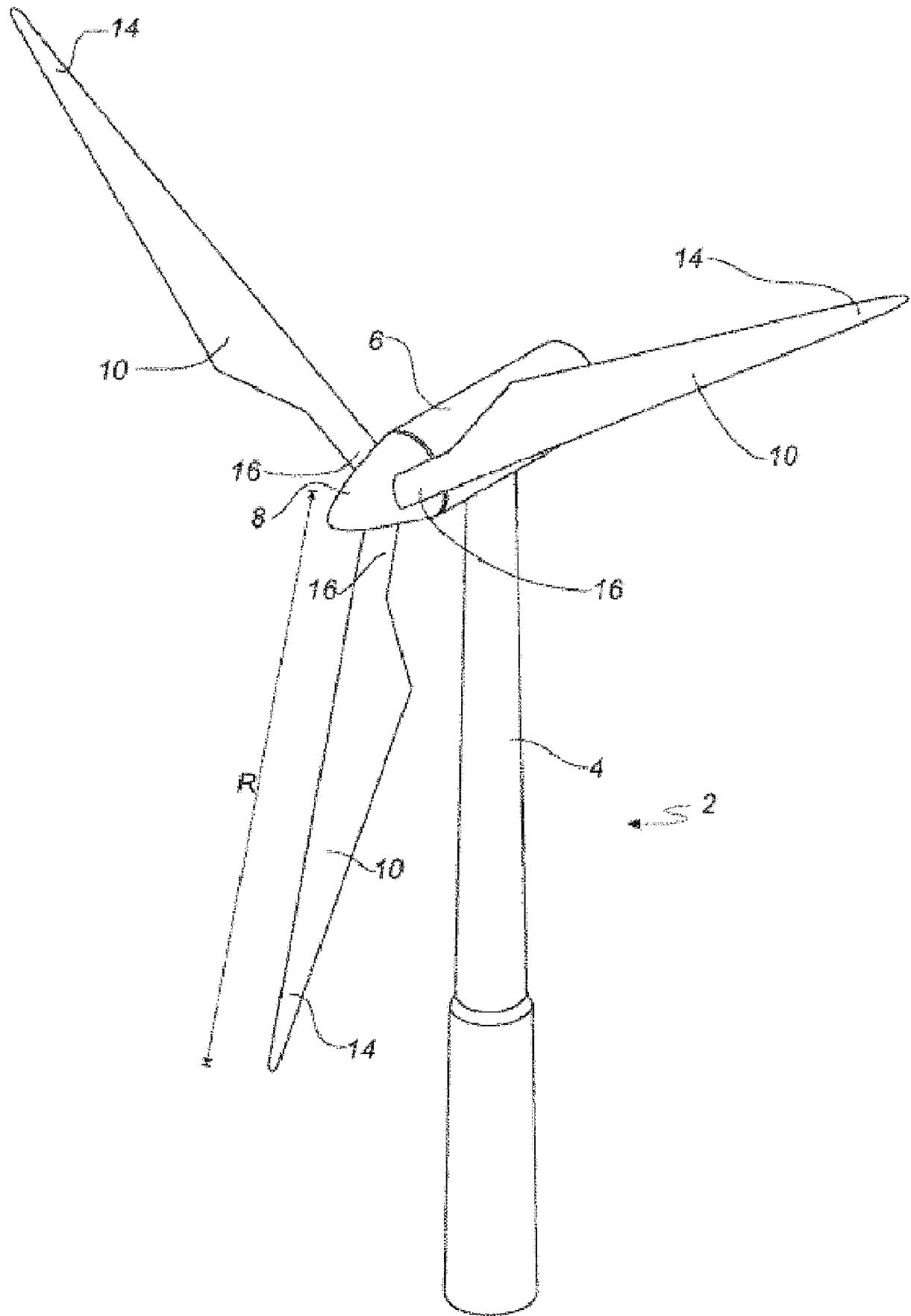


图 1

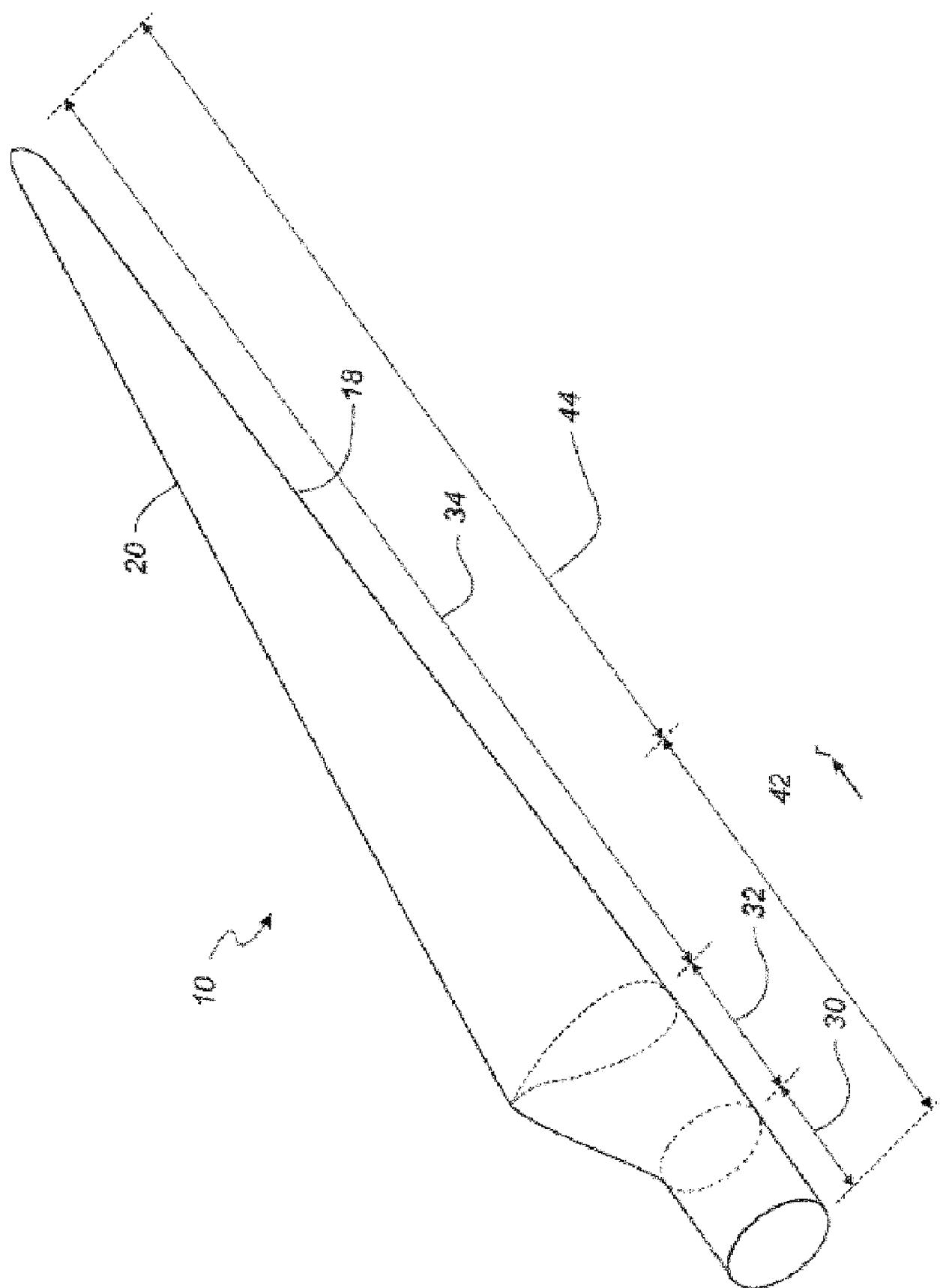


图 2

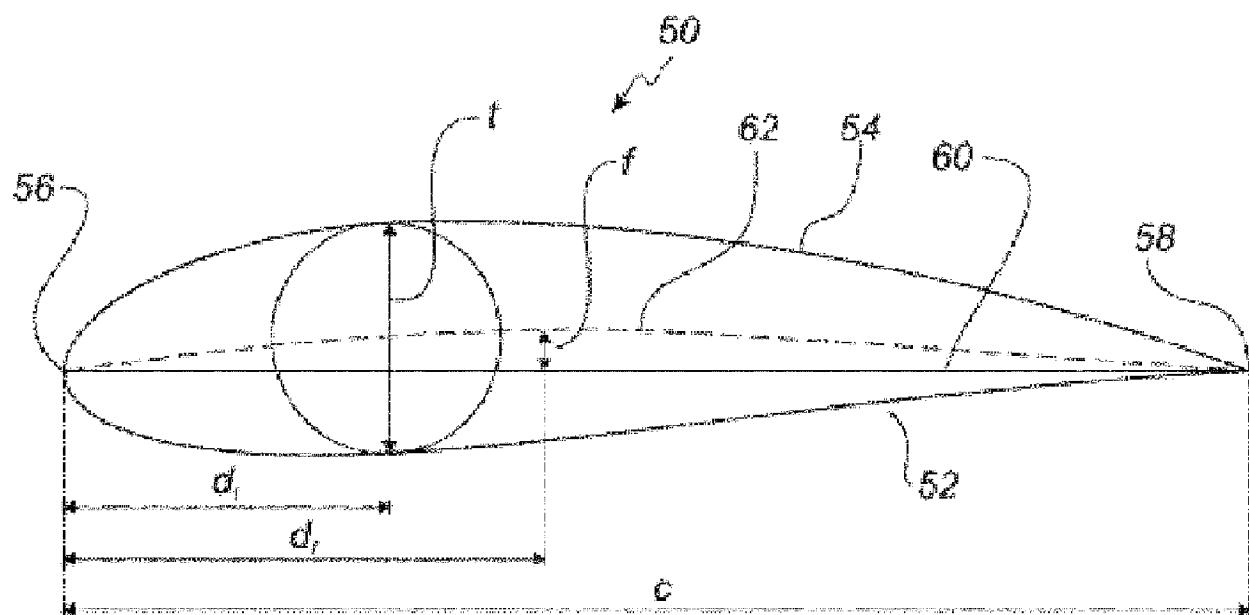


图 3

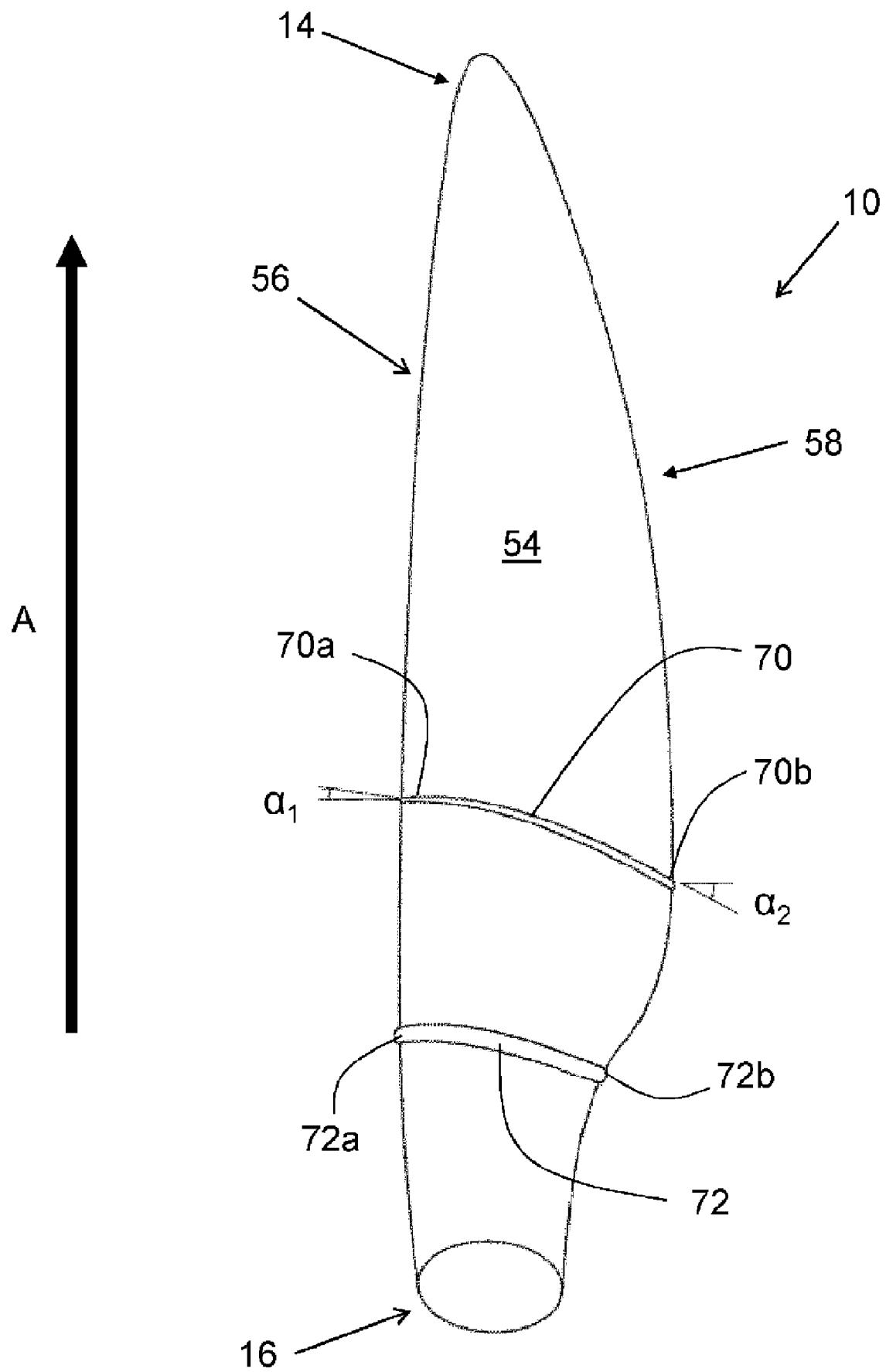


图 4

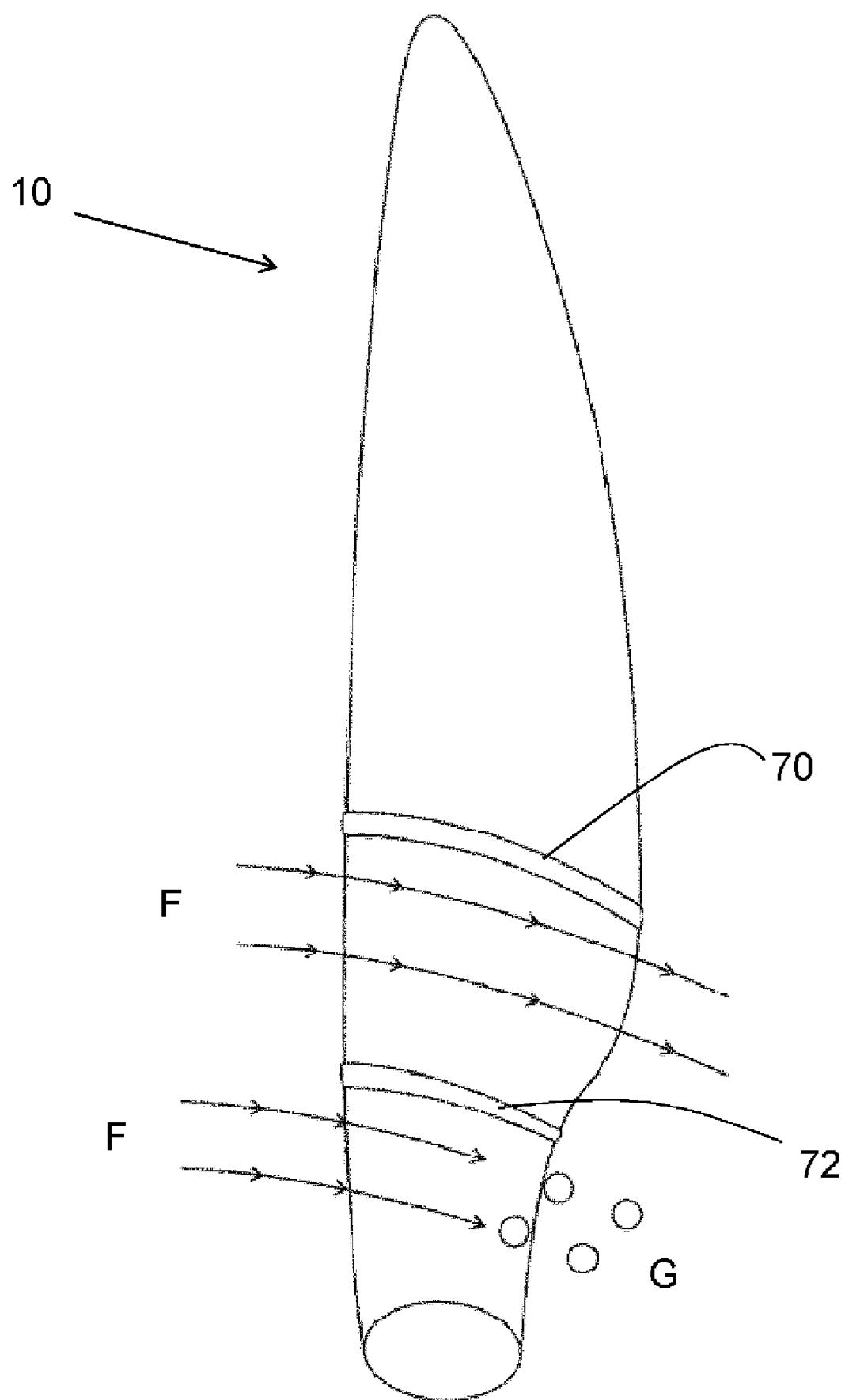


图 5

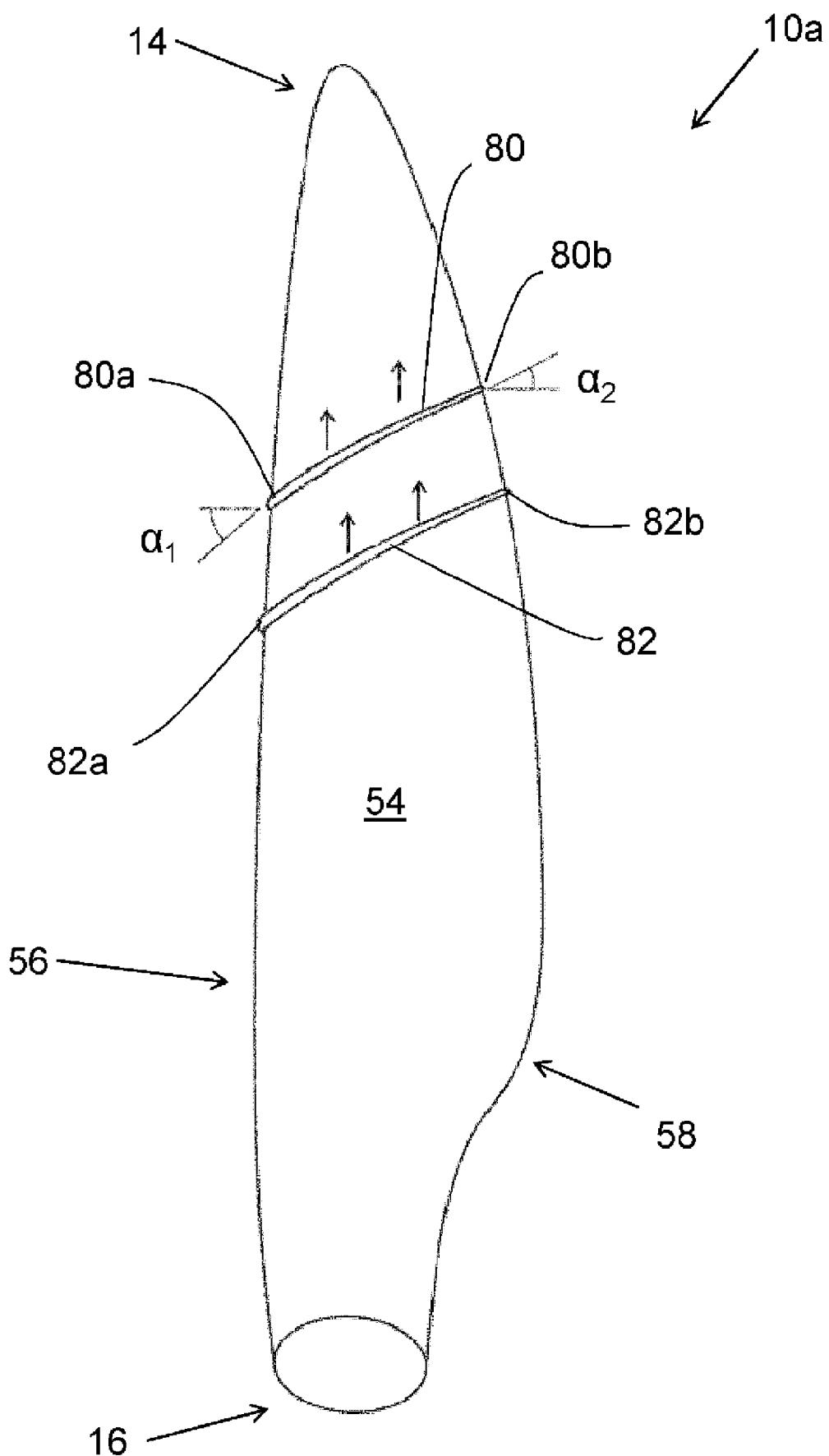


图 6

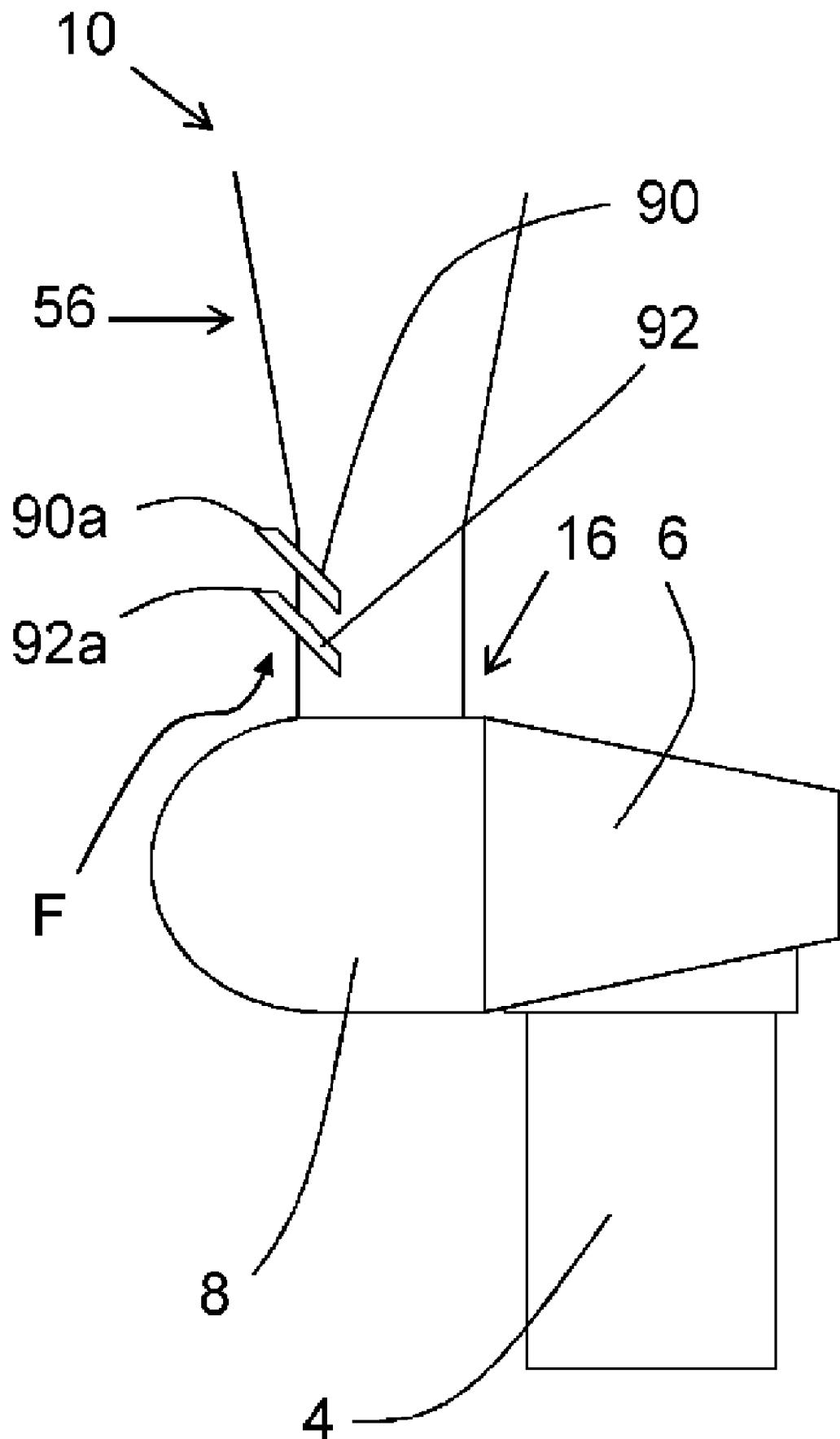


图 7(a)

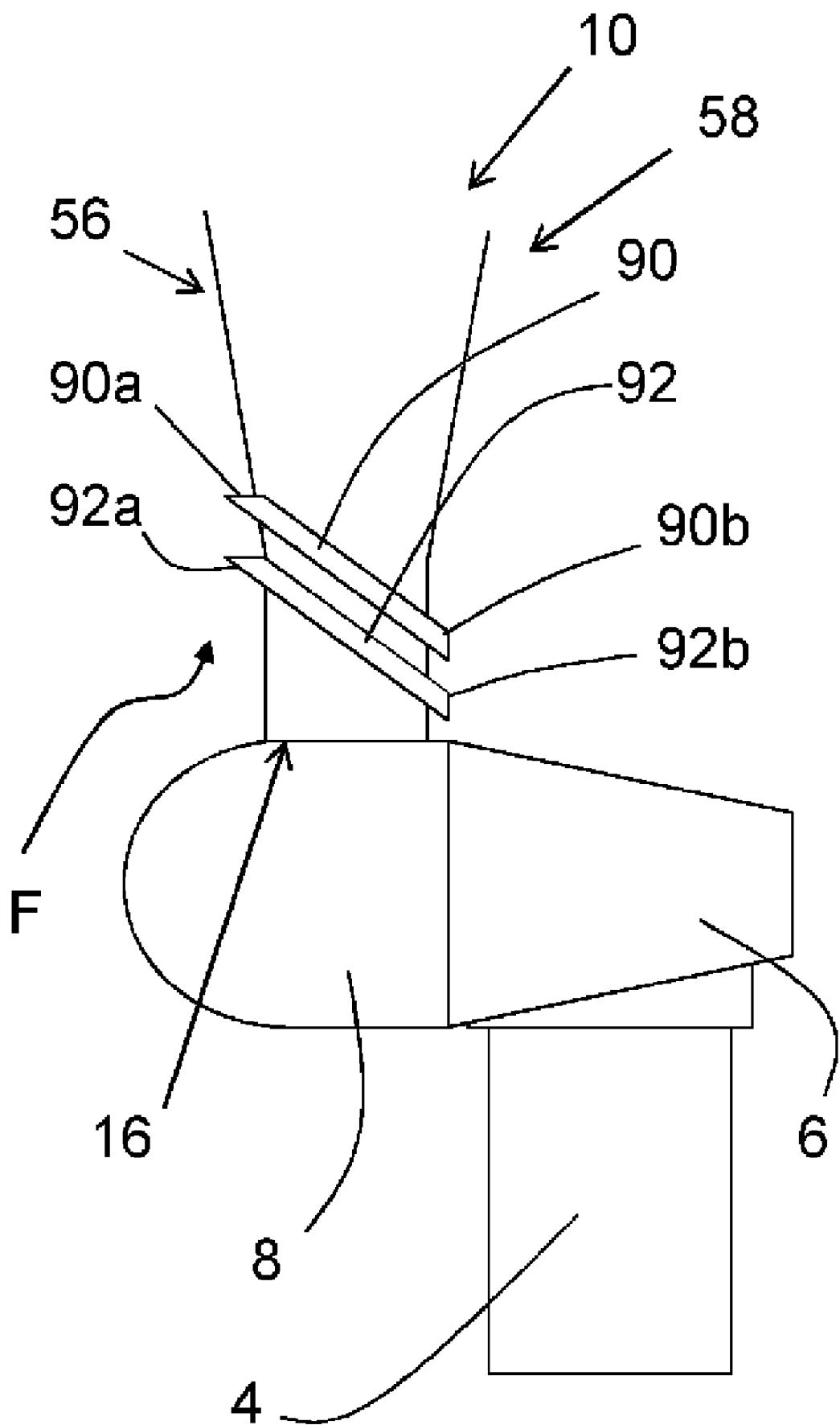


图 7(b)

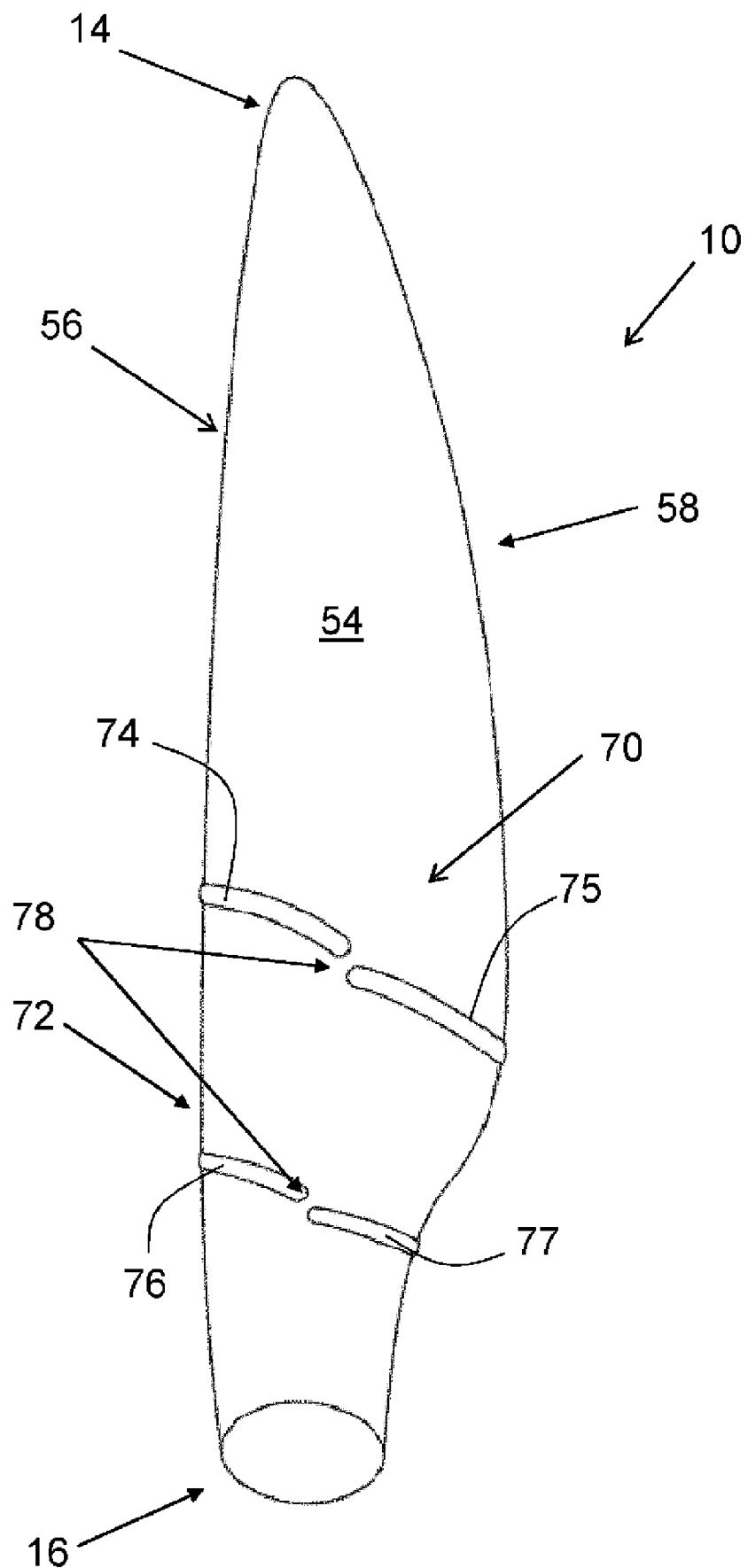


图 8

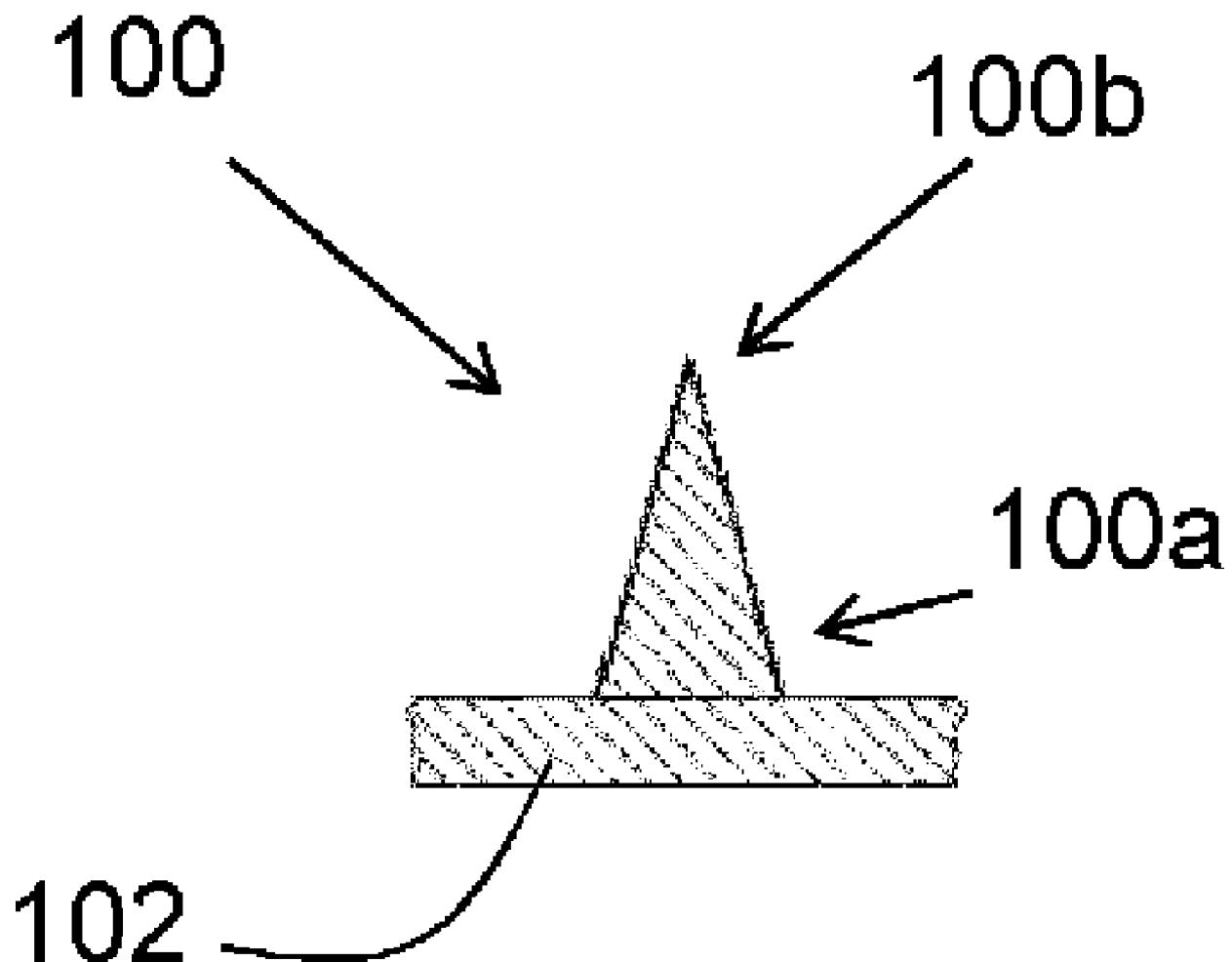


图 9(a)

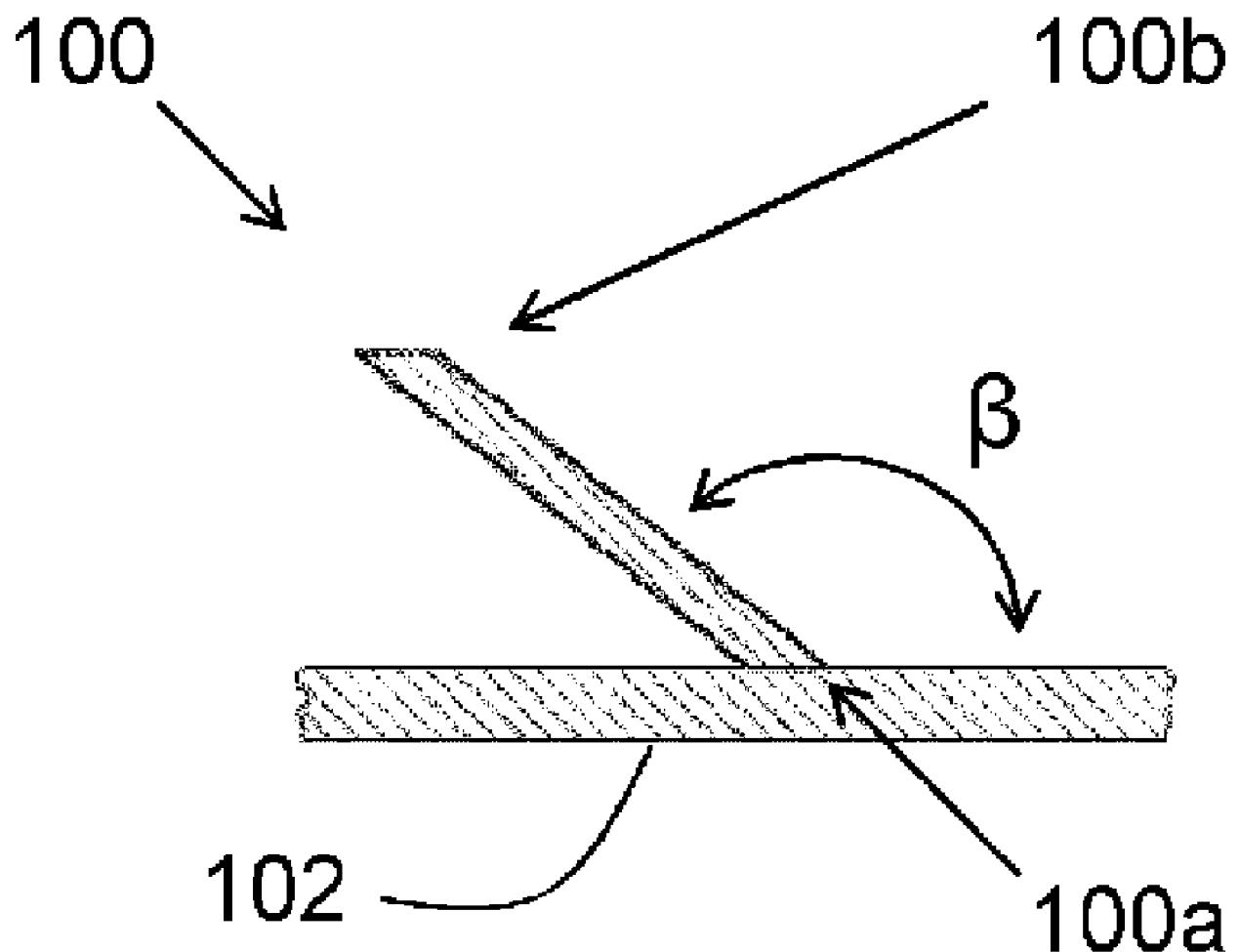


图 9(b)

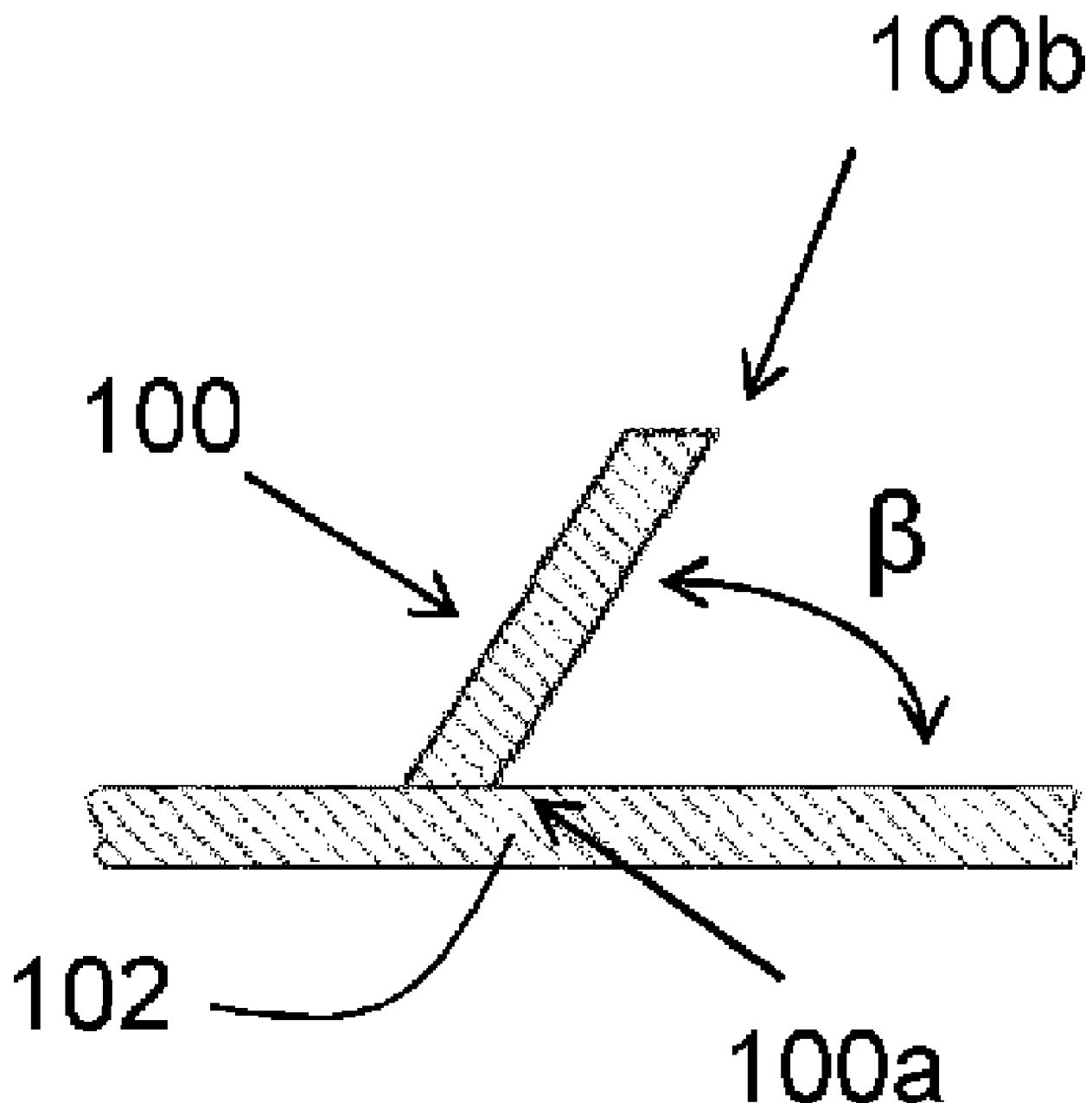


图 9(c)

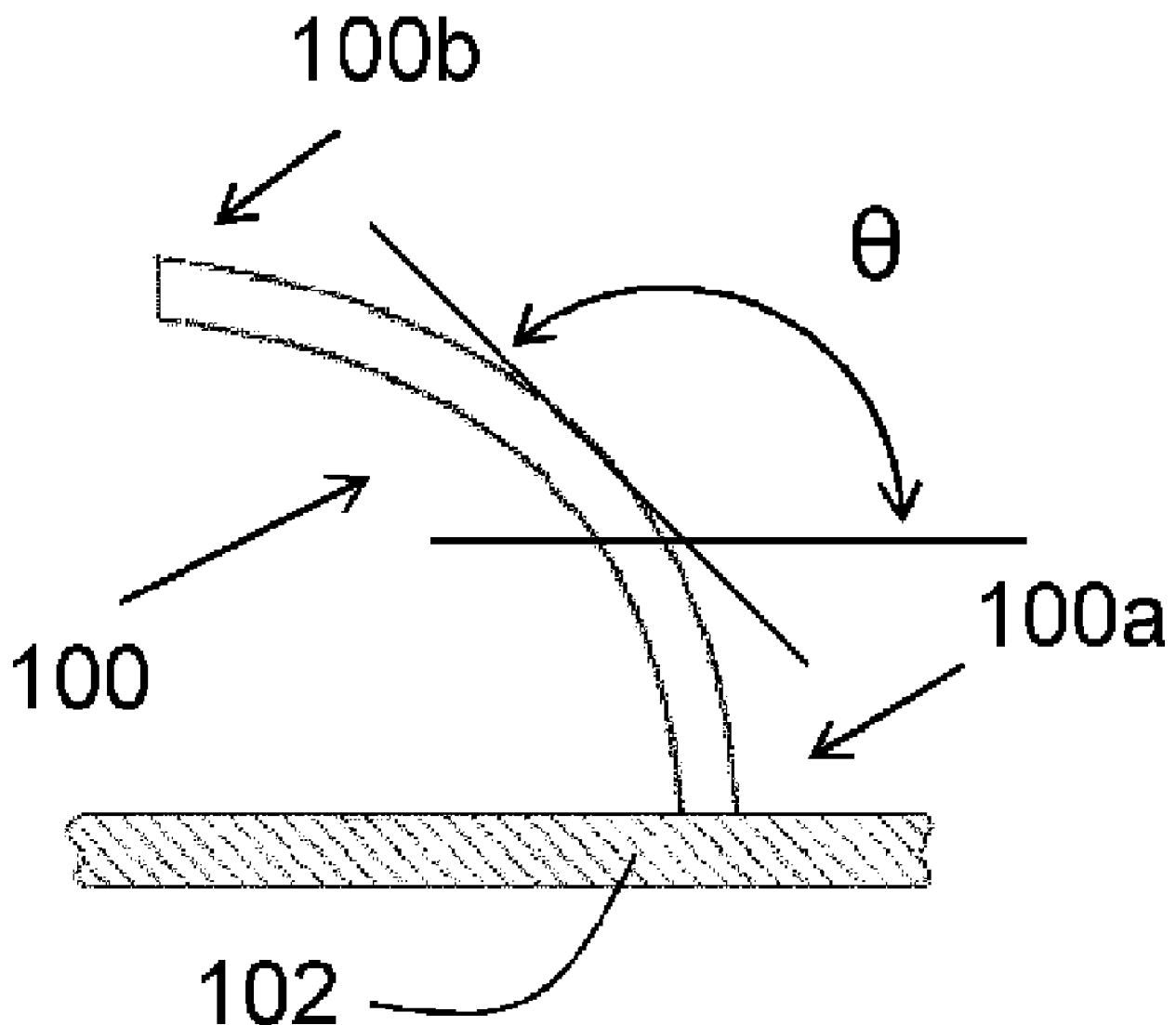


图 9(d)