

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02B 6/42 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02821649.0

[45] 授权公告日 2007 年 2 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 1302307C

[22] 申请日 2002.11.8 [21] 申请号 02821649.0

[30] 优先权

[32] 2001.11.8 [33] US [31] 60/337,007

[86] 国际申请 PCT/US2002/035982 2002.11.8

[87] 国际公布 WO2003/041129 英 2003.5.15

[85] 进入国家阶段日期 2004.4.29

[73] 专利权人 希普雷公司

地址 美国马萨诸塞

[72] 发明人 诺尔·A·黑克斯

[56] 参考文献

US5121457 1992.6.9

US5864425A 1999.1.26

US6205274B1 2001.3.20

US5163113A 1992.11.10

US4981334A 1991.1.1

CN1212489A 1999.3.31

US5390271A 1995.2.14

CN1209880A 1999.3.3

审查员 张 陟

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 朱黎明

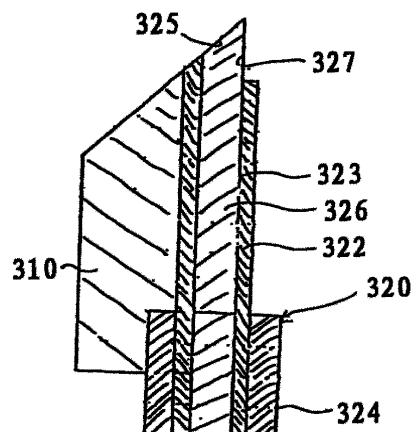
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 7 页

[54] 发明名称

光纤终端

[57] 摘要

提供一种光纤终端和制造光纤终端的方法。光纤终端配置成在纤芯与外部光学元件之间形成光的耦合，而光的方向不同于纵轴方向。具体地说，光纤终端允许光以基本垂直于光纤纵轴的角度耦合到光纤中。



1. 一种光纤终端，用于光纤与光学元件的对准，包括：
光纤夹持件，用于终接光纤的一端以形成光纤连接器；
至少一条光纤，它有远端，近端和纤芯，远端设置在光纤夹持件的外部，而近端保留在光纤夹持件中，有光反射面的光纤近端设置成与光纤纵轴成一角度，用于偏转来自纤芯通过光纤侧面的光，所述光纤还包括放置成接收从光反射面偏转的光的透射面，所述透射面包括一个平面的侧壁部分；和
光纤夹持件上设置的对准特征，用于光纤近端与光学元件的对准。
2. 按照权利要求1的光纤终端，其特征在於透射面包含纤芯的平面侧壁部分。
3. 按照权利要求2所述的光纤终端，其特征在於透射面的取向可以接收从反射面偏转的正入射光。
4. 按照权利要求2所述的光纤终端，其特征在於透射面包含纤芯的缺口部分。
5. 按照权利要求1至4中任何一个所述的光纤终端，其特征在於反射面包含纤芯的平面侧壁部分。
6. 按照权利要求1至4中任何一个的光纤终端，其特征在於对准特征包括：夹持件表面上设置的定位爪。
7. 按照权利要求1至4中任何一个所述的光纤终端，其特征在於光纤夹持件包括：单晶硅。
8. 按照权利要求1至4中任何一个所述的光纤终端，包括：反射面上设置的保护涂层，用于防止全内反射在反射面上受抑。
9. 按照权利要求1至4中任何一个所述的光纤终端，其特征在於光纤包括：预定宽度的大宽度部分和邻接的相对较小宽度的小宽度部分，且其中波导夹持件包括：容纳小宽度部分的槽和容纳大宽度部分的袋。
10. 按照权利要求1至4中任何一个所述的光纤终端，其特征在於反射面的取向可以使沿光纤纵轴方向入射到反射面上的光发生全内反射。
11. 一种制造光纤终端的方法，包括以下步骤：
提供有对准特征和凹形区的光纤夹持件，对准特征设置在光纤夹持件的正面，而在正面的凹形区用于容纳光纤；
把光纤的终端固定到光纤夹持件的凹形区；
通过光纤夹持件对准特征与夹具对准元件的对准，联接光纤夹持件与夹具和固定光纤夹持件的正面与夹具的匹配面；与光纤纵轴有选取的角度抛光光纤的固

定终端以形成光反射面，光反射面的取向可以偏转来自纤芯通过光纤侧面的光；
和

与光纤纵轴有选取的角度抛光光纤的固定终端以便在光纤的近端形成透射面，透射面的取向可以接收从光反射面偏转的光。

12. 按照权利要求 11 所述的方法，其特征在于提供有对准特征的光纤夹持件的步骤包括步骤：提供包括定位爪的对准特征。

13. 按照权利要求 11 所述的方法，其特征在于抛光步骤包括步骤：以某个角度抛光光纤的终端，可以使反射面上发生全内反射。

光纤终端

技术领域

本发明一般涉及光纤终端，具体涉及通过光纤侧面允许光耦合到纤芯的光纤终端。

背景技术

不断增长的高速话音和数据通信要求导致越来越依靠光通信，具体地说，光纤通信。在许多情况下，利用光信号作为运载工具以高速传输信道信息优于利用诸如微波传输线，同轴电缆和双扭传输线的媒体中其他电磁波长/频率传输信道信息。光媒体的优点是高信道容量（带宽），更强的抗电磁干扰能力，和较低的传播损耗。事实上，高速光通信系统的信号速率通常是在约每秒几吉比特（Giga/sec）至约几十 Giga/sec 的范围内。

一种在诸如光纤网络的光通信系统中传输信息的方法是借助于光纤阵列。最终，光纤需要按照这样的方式进行终接，允许光纤连接到其他的光学元件，例如，光源或接收器。通常，被连接的光学元件位于架装板上。当光纤联网设备中框架空间变得密集时，框架中板与板之间的空间变得越来越小，与密集排列板的连接就变得越来越困难。连接器不再能够放置成面向板表面，因此，光纤的光轴垂直于板表面，因为光纤必须弯曲成有很小的弯曲半径，以便适合于插入在密集排列的板之间。通过在板边缘上进行连接，可以避免很小的弯曲半径。然而，边缘连接可能受到多种限制。连接到板边缘不仅限制可能的光信道数目，而且还被迫形成沿相反方向的连接，这对于大多数优选的数据通信光源和接收器是最自然的，例如，垂直腔表面发射激光器（VCSEL）和 PIN 光电二极管阵列。这些优选的光源和接收器是表面平面器件，与较旧的边缘发射技术比较，它们更广泛地用于联网的应用中。表面平面器件需要限定它们垂直光输入/输出取向的连接。垂直

取向带来上述的连接问题，因为面朝上连接在板与板之间密度很大的架装中是不可能的。虽然可以引入附加的元件以实现光从垂直方向到水平方向的弯曲，但是即使添加一个光弯曲元件仍然增大装置的复杂性，这是由于要求光路对准两个接口而不是一个接口。此外，添加光弯曲元件还增加产量损失和成本。

所以，需要一种相对简单和不太昂贵的光纤终端，它具有表面平面器件的电连接优点，而不会在机上组装中引入额外的元件。

发明内容

响应于以上的需要，本发明提供用于光路连接光纤与光学元件的光纤终端，包括：光纤夹持件，用于终接光纤的一端以形成光纤连接器；和至少一条光纤，它有远端，近端和纤芯，远端设置在光纤夹持件的外部，而近端保留在光纤夹持件中，有光反射面的光纤近端设置成与光纤纵轴有一角度，可以偏转来自纤芯通过光纤侧面的光。光反射面的取向可以方便地与光纤纵轴有一角度，从而提供光沿光纤纵轴方向入射到反射面上的全内反射。光纤终端还可以包括：透射面，放置成接收从光反射面偏转的光。具体地说，光反射面和透射面中的一个或两个面可以包含纤芯的平面侧壁部分。此外，光纤终端可以包含对准特征，例如，定位爪，用于定位与选取光学元件对准的光纤近端。

本发明还提供制造光纤终端的方法，包括以下步骤：提供光纤夹持件，它有设置在光纤夹持件正面的对准特征和在正面处容纳光纤的凹形区；把光纤的终端固定到光纤夹持件的凹形区；通过光纤夹持件对准特征与夹具对准元件的对准，联接光纤夹持件与夹具和固定光纤夹持件正面与夹具匹配面；以及抛光光纤的固定终端，使它与光纤纵轴有选取的角度，从而提供有定向的光反射面，可以偏转来自纤芯通过光纤侧面的光。抛光步骤可以包括步骤：抛光光纤的终端成一角度，使反射面上的光发生全内反射。该方法还可以包括步骤：与光纤纵轴成选取的角度抛光光纤的固定终端，从而在光纤近端形成透射面，它的取向可以接收从光反射面偏转的光。

附图说明

通过结合附图的阅读,可以更好地理解以上本发明内容和以下详细描述的本发明优选实施例,其中:

图 1 表示按照本发明光纤终端的透视示意图;

图 2 表示沿剖面线 2-2 切割的图 1 中光纤终端的侧向剖面示意图;

图 3 表示图 1 中光纤终端的正面示意图;

图 4 表示按照本发明另一种光纤终端结构的侧向剖面示意图;

图 5 表示夹具和与夹具对准的光纤夹持件的侧向示意图,用于抛光纤芯侧壁上的反射面;

图 6A 表示夹具和与夹具固定的光纤夹持件的侧向示意图,用于抛光纤芯侧壁上有缺口的透射面;

图 6B 表示夹具和与夹具固定的光纤夹持件的侧向示意图,用于抛光纤芯侧壁上倾斜的透射面;和

图 7 表示图 2 中光纤的终端处纤芯的放大示意图。

具体实施方式

现在参照附图,具体参照图 1-3,描述按照本发明的光纤终端 100,其中用相同的数字代表相似的元件。光纤终端 100 配置成在纤芯 26 与外部光学元件之间提供光的耦合,光的方向不是沿纵轴 21 的方向。如此处所说明的,术语“光”包括可以在纤芯 26 内传播的任何波长电磁辐射,它包括可见光谱之外的那些波长。光纤终端 100 包含纤芯 26 的反射面 25,它与光纤 20 的纵轴 21 成倾斜方向。可以方便地选取反射面 25 的倾斜角,使入射到反射面 25 上的光发生偏转,从而允许光以基本垂直于光纤 20 纵轴 21 的角度射入或射出光纤 20。因此,光纤终端 100 形成光纤 20 的终端连接器,允许光以基本垂直于光纤 20 纵轴 21 的角度与光纤 20 耦合。

现在更详细地参照图 1-3,光纤终端 100 包括:光纤夹持件 10,它配置成容纳一条或多条光纤 20 的终端 23。如此处所示,光纤 20 有包层 22 围绕的中央纤芯 26,而包层 22 被护套 24 覆盖。作为举例,光纤 20 可以是单模光纤,它有 8 微米直径的纤芯 26,125 微米直径的包层 22,和 250 微米直径的护套 24。

夹持件 10 包括：有一个或多个光纤槽 16 和一个光纤袋 18 的正面 11，分别容纳光纤 20 的小宽度部分和邻接光纤 20 的较大宽度部分。光纤 20 的小宽度部分可以是光纤 20 的无护套部分，它包含包层 22 和纤芯 26。光纤 20 的较大宽度部分可以包含光纤 20 的护套 24。光纤 20 可以是单光纤绞合或光纤带，在后者的情况下，制成的光纤袋 18 可以容纳光纤带。

光纤槽 16 的尺寸能够使光纤 20 的无护套部分放入到光纤槽 16 中，因此，无护套部分是在光纤夹持件 10 正面 11 的平面之下。此外，可以选取光纤槽 16 有这样的形状，在包层 22 与光纤槽 16 之间形成两点接触。光纤槽 16 与无护套光纤部分之间的两点接触有助于光纤槽 16 内光纤 20 的精确定位，从而改进光纤槽 16 中各个光纤 20 的对准。例如，光纤槽可以有 V 形横截面，其侧壁相对于正面 11 的平面倾斜以形成两点接触。或者，光纤槽 16 可以有适合于保留无护套部分的其他形状。例如，这种形状可以包括：U 形横截面。利用合适的粘合剂，例如，环氧树脂，可以使光纤 20 固定到光纤槽 16 中，或者，若光纤 20 已经金属化，则可以利用焊剂固定光纤 20。

各个光纤槽 16 之间可以有制造方法允许密集排列的选取距离，为了使直线排列的光纤终端 100 宽度上有最大的光纤堆集密度。或者，如图 3 所示，各个光纤槽 16 之间可以有预定的距离，在紧邻光纤槽 16 的附近形成正面 11 的平坦区 17，从而给光纤袋 18 内的光纤护套 24 预留空间。

光纤夹持件 10 可以有这样的配置，正面 11 可以设置在光学元件之上，例如，VCSEL 或 PIN 光电二极管阵列，使光纤 20 可以与光学元件进行光路耦合。在这种情况下，正面 11 可以包含一个或多个对准特征 12，用于光纤夹持件 10 与选取光学元件的对准。对准特征 12 是在相对于光纤 20 终端 23 的选取位置上，因此，光纤夹持件 10 可以方便地具有连接器的功能，用于光纤 20 终端 23 与选取光学元件的对准。对准特征 12 可以采用有对准元件 14 的定位爪或锥形坑 13 的形式，例如，如图 3 所示设置的球或棍。或者，对准特征 12 可以包含穿过光纤

夹持件 10 厚度的通孔。此外，对准特征 12 可以采用凸块的形式，它是从光纤夹持件 10 的正面 11 向外延伸。例如，凸块可以采用销钉的形式。光纤终端 100 还可以包含光纤终端 100 与选取光学元件联接的结构。联接结构可以包括设置在光纤终端 100 正面 11 上的磁铁或机械方式啮合选取元件上互补匹配结构的夹子。此外，联接结构可以包括提供偏向力的弹簧，它推动光纤终端 100 的正面 11 朝向选取的光学元件。

光纤夹持件 10 可以由具有足够结构强度的合适材料制成，且其中可以形成有上述尺寸的对准特征。例如，一种特别合适的材料是各向异性晶体材料，例如，单晶硅，可以利用各向同性或各向异性过程进行蚀刻以形成光纤槽 16 和凹坑 13。具体地说，利用氢氧化钾溶液通过掩模蚀刻<100>取向的硅，可以制成有 V 形横截面的光纤槽 16。或者，可以通过掩模蚀刻<100>取向的硅以形成有侧壁的对准特征，该侧壁垂直于光纤夹持件 10 的正面 11。除了蚀刻过程以外，可以利用其他的铣削过程，例如，深度反应离子蚀刻（DRIE），靠模，浇铸，冲压，电铸的铸模过程或它们的组合。光纤夹持件 10 的其他合适材料包括：例如，陶瓷，金属，玻璃，玻璃填充聚合物，以及它们的组合。

为了给沿基本垂直于光纤 20 纵轴 21 的光纤 20 提供光路耦合，在光纤 20 的终端 23 形成一个或多个倾斜的表面 25。垂直光耦合可以是来自纤芯 26 的光沿基本垂直于光纤 20 纵轴 21 的方向射出。垂直光耦合还可以是来自基本垂直于光纤 20 纵轴 21 方向的光射入到纤芯 26。为了便于说明，以下的描述涉及这样的情况，其中光沿纵轴 21 方向传播到光纤 20 的终端 23，并从光纤 20 射出。然而，本领域专业人员容易理解，以上描述的结构同样适用于来自基本垂直于光纤 20 纵轴 21 方向的光射入到纤芯 26。

现在参照图 2，光纤 20 的终端 23 包含倾斜的反射面 25，它延伸到至少跨越部分的纤芯 26。倾斜的反射面 25 可以有这样的取向，从光纤 20 射出的光基本垂直于光纤终端 100 的正面 11。反射面 25 设置成与光纤 20 的纵轴 21 有 $\alpha > 0$ 的倾斜角，如图 7 所示。倾斜角 α 是光

纤 20 纵轴 21 与反射面 25 法线之间的夹角。可以选取倾斜角 α 有这样的数值,入射到反射面 25 上的光被反射到选取的方向,该方向基本垂直于光纤 20 的纵轴 21。具体地说,反射面 25 可以是倾斜角为 α 的平面,使光在反射面 25 上形成全内反射。若选取的倾斜角 α 满足条件 $\sin(\alpha) \geq n_2/n_1$, 其中 n_1 是纤芯 26 的折射率,而 n_2 是与反射面 25 邻接的纤芯 26 以外的折射率,则发生全内反射。通常,反射面 25 附近纤芯 26 以外的介质是空气,空气的折射率 $n_2=1$ 。因此,若 $\sin(\alpha) \geq 1/n_1$, 则发生全内反射。例如,纤芯 26 的折射率为 1.45,发生全内反射的 α 值大于或等于 45° 。

在反射面 25 上可以有任选的涂层 28,用于防止诸如灰尘的外来物质接触反射面 25 和通过反射面 25 偏转光射出光纤 20。涂层 28 的折射率应当低于纤芯 26 的折射率,因此,在反射面 25 上可以发生全内反射。涂层 28 的厚度与涂层 28 内倏逝波的穿透深度相比应当足够地大,因此,涂层 28 上外来物质的存在不会抑制反射面 25 上全内反射超出可接受的量。若涂层 28 加到反射面 25 上,则必须选取考虑到涂层 28 存在的倾斜角 α ,通常,涂层 28 的折射率大于 1。例如,若所加涂层 28 的折射率大于 1,则发生全内反射要求的倾斜角值大于 $n_2=1$ 情况下的倾斜角值。作为保护反射面 25 的一个附加选择,可以在反射面 25 上加一个外罩,用于防止外来物质落到反射面 25 上。这种外罩可以密封光纤终端,并可以包括上述的联接结构。

择一地或附加地,涂层 28 可以提供或增强反射面 25 的反射性质。例如,涂层 28 可以是在反射面 25 上形成反射镜的金属或多层薄膜。在反射面 25 的反射性质基本或完全是由涂层 28 确定的情况下,不需要选取与发生全内反射所要求角度有关的倾斜角。

反射面 25 允许光通过光纤 20 的侧面射出。因此,与反射面 25 邻近区域的光纤 20 侧面应当允许光传输通过。在这种情况下,至少在光纤 20 的终端 23 侧面,必须去掉护套 24 (如果不透明)以允许光的传输。此外,如图 2 和 4 所示,可能需要去掉纤芯 26, 326 的透射面 27, 327 附近的包层 23, 323, 便于光传输通过纤芯 26, 326 的透射面

27, 327。透射面 27, 327 设置在相对于反射面 25, 325 的附近位置, 用于接收从反射面 25, 325 反射的光。例如, 透射面 27, 327 通常设置在反射面 25, 325 的相对位置, 便于反射面 25, 325 反射的光传输到纤芯 26, 326 之外。

具体地说, 如图 2 所示, 透射面 27 可以是设置在纤芯 26 侧壁 23 上的平面。此外, 特别理想的是, 提供平坦的透射面 27 以减小圆柱形侧壁 23 对光透射通过圆柱形侧壁 23 产生的任何聚焦效应。透射面 27 可以有相对于光纤 20 纵轴 21 的透射面角 β 。可以选取这样的透射面角 β , 使反射面 25 上反射的光垂直入射到透射面 27 上。例如, 若选取的倾斜角为 46° , 则透射面夹角可以是 1° 。此外, 可以组合地选取透射面角和倾斜角, 使光以基本垂直于光纤 20 纵轴 21 的角度通过透射面 27 射出光纤 23。例如, 倾斜角可以是 45° , 而透射面角可以是 0° 。在透射面角为 0° 的情况下, 纤芯 26 上的平坦透射面 27 可能要求纤芯 26 有缺口。

按照本发明的另一个方面, 提供一种制造光纤终端的方法, 例如, 图 1 所示的光纤终端 100。在制造光纤终端 100 的一个特别方便方法中, 本发明利用抛光技术在纤芯 26 上形成反射面 25 和透射面 27。

该方法包括步骤: 提供有多个光纤槽 16 和至少一个对准特征 12 的光纤夹持件 10。在光纤夹持件 10 上还可以设置任选的光纤袋 18。该方法还包括: 光纤制备步骤, 制备用于插入到光纤夹持件 10 中的光纤 20。光纤制备可以包括步骤: 在光纤 20 的终端 23 去掉所需光纤 20 长度的护套 24, 从而形成无护套的小宽度光纤部分和邻接相对大宽度的有护套光纤部分。按照该方法, 制备的光纤 20 放置在光纤夹持件 10 中。无护套的小宽度光纤部分 20 放置在光纤槽 16 中, 而邻接相对大宽度的有护套光纤部分 20 放置在光纤袋 18 中, 如果有光纤袋 18。利用合适的粘合剂, 例如, 环氧树脂, 可以把光纤 20 固定到光纤夹持件 10。粘合剂可以密封和围绕光纤 10, 以便更牢固地把光纤 20 联接到光纤夹持件 10。或者, 可以使光纤 10 金属化, 利用合适的焊剂, 例如, 镍金焊剂, 可以使金属化的光纤 20 保留在光纤槽 16 中。

作为制成反射面 25 的部分过程，光纤夹持件 10 可以联接到夹具 50，如图 5 所示，因此，光纤夹持件 10 的正面 11 与夹具 50 的匹配面 55 面对面接触。最初，光纤夹持件 10 可以有长方体形状，虽然也可以利用其他的形状。夹具 50 上可以有对准元件 52，例如，图 5 所示的球形凸块，它可以配置成与光纤夹持件 10 的对准特征 12 匹配，例如，凹坑 13。夹具 50 可以包含有顶角 θ 的尖端 56，它与匹配面 55 的侧壁 53 形成顶角。可以选取顶角 θ 的值等于倾斜角 α 所需的值。然后，利用平面研磨盘 60 抛光光纤夹持件 10，平面研磨盘 60 的表面垂直于顶角侧壁 53。在夹具 50 和平面研磨盘 60 的这种配置中，抛光光纤夹持件 10 形成的倾斜角 α 等于 θ 值。抛光步骤制成反射面 25 和邻接的光纤夹持件 10 倾斜端面 15，倾斜端面 15 与光纤 20 的纵轴 21 之间的倾斜角为 α 。

在从光纤 20 和光纤夹持件 10 中切削预定量材料之后，抛光过程停止，因此，相对于对准特征 12 的反射面 25 位置有预选的值。一种可以停止抛光过程的方便方法是配置能够抗抛光过程中切削的夹具 50 或至少是夹具 50 的尖端 56。例如，夹具 50 可以包含诸如硬质合金的材料，它可以抗抛光过程中的切削。因此，当夹具的尖端 56 与平面研磨盘 60 接触时，不再从光纤夹持件 10 或光纤 20 中切削材料。一旦制成反射面 25，可以从夹具 50 中去掉光纤夹持件 10。

现在考虑制成透射面 27，图 6A 表示光纤夹持件 10 固定到夹具 70，其方向允许在纤芯 26 中形成有缺口 29 形式的透射面 27。该方法包括步骤：光纤夹持件 10 联接到夹具 70，使光纤的终端 23 伸出到夹具 70 之上。这种伸出可以接触到需要制成透射面 27 的部分光纤 20。夹具 70 上可以配置对准元件 72，例如，图 5 所示的球形凸块，它可以配置成与对准特征 12 匹配，例如，光纤夹持件 10 中的凹坑 13。在透射面抛光步骤中，利用工具抛光光纤夹持件 10 和光纤 20 使光纤 20 形成缺口，从而提供有缺口 29 形式的透射面 27。或者，该方法包括步骤：利用图 6B 所示的夹具结构制成这样的透射面 27，透射面 27 相对于光纤 20 纵轴 21 有倾斜的透射面角。

图 6B 表示光纤夹持件 610 固定到夹具 80, 其方向允许在光纤 20 上制成倾斜的透射面。该方法包括步骤: 光纤夹持件 610 的装配面 619 联接到夹具 80, 从而接触到光纤夹持件 610 正面 611 相邻的光纤 20 侧面。装配面 619 可以是在与光纤夹持件 610 正面 611 相对的位置。光纤夹持件 610 的装配面 619 可以包含一个或多个对准特征 616, 用于光纤夹持件 610 与夹具 80 的对准。例如, 对准特征 616 可以具有槽, 坑, 通孔或凸块的形式。夹具 80 上可以配置对准元件, 例如, 球形凸块, 它配置成与光纤夹持件的 610 装配面 619 上的对准特征 616 匹配。在透射面抛光步骤中, 利用工具 90 抛光光纤夹持件 610 和光纤 20, 它相对于光纤 20 的纵轴有倾斜角, 从而形成相对于光纤 20 纵轴有透射面角的倾斜透射面。

根据以上的详细说明, 本领域专业人员可以理解本发明的这些和其他优点。因此, 在不偏离本发明较宽的创新概念条件下, 本领域专业人员知道, 可以对上述实施例作各种变化和改动。所以应当明白, 本发明不局限于以上描述的具体实施例, 它包括权利要求书所涉及精神和范围内所有的变化和改动。

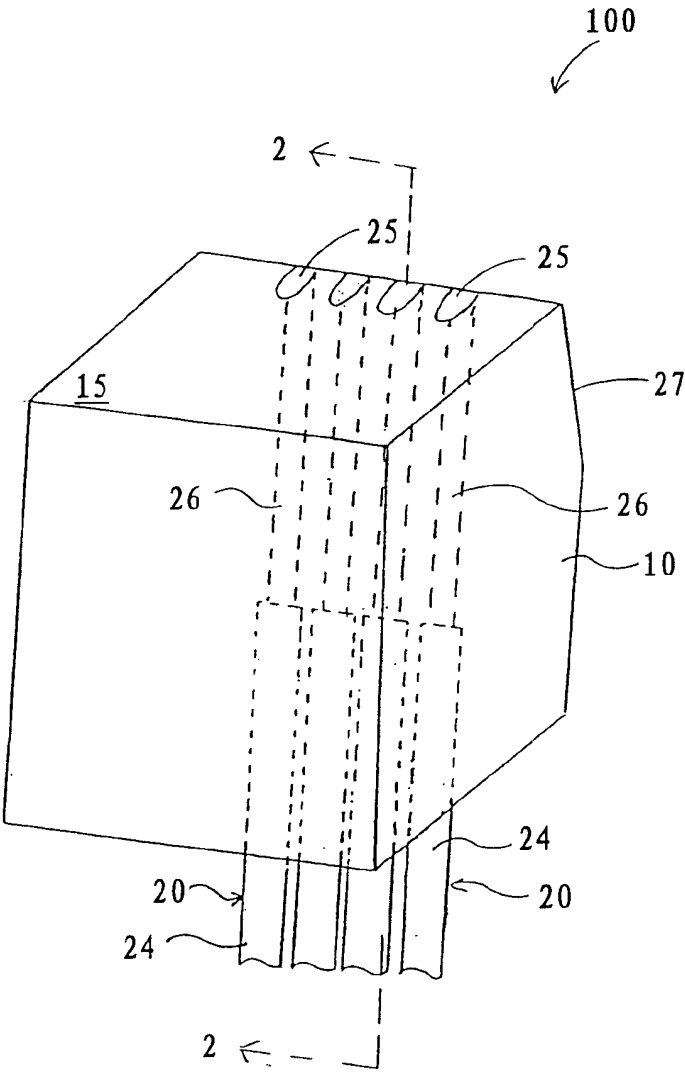


图1

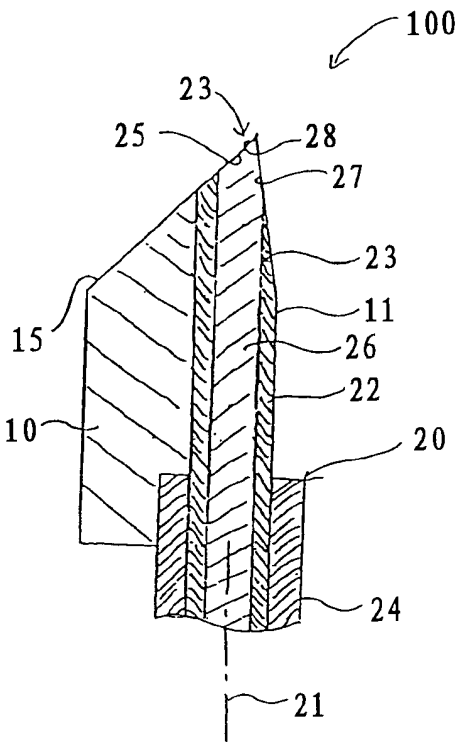


图 2

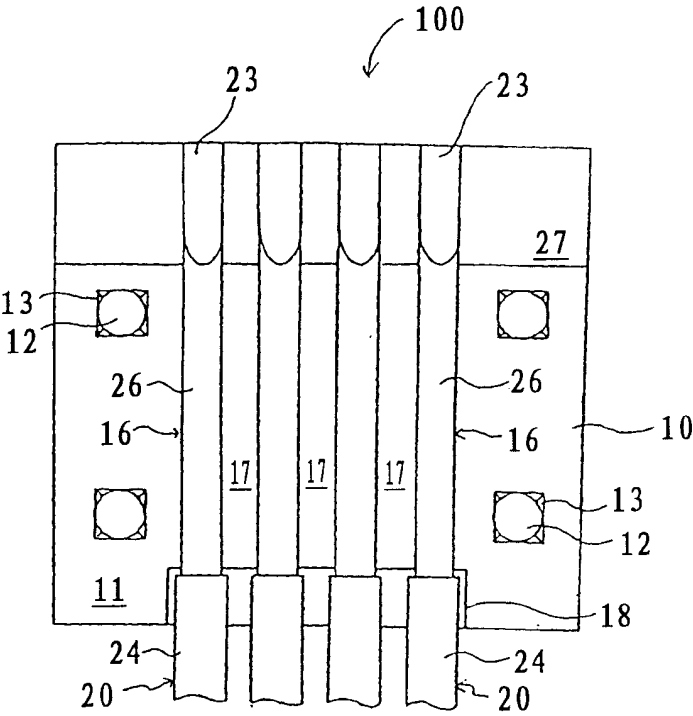


图 3

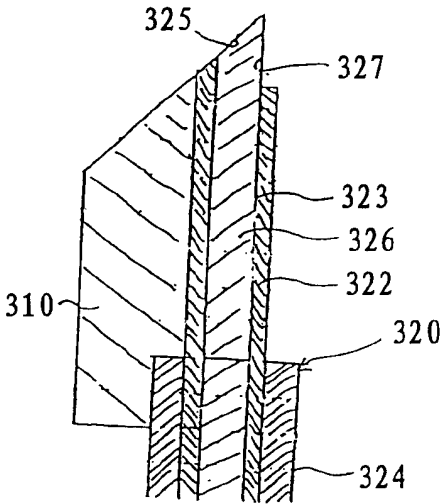


图 4

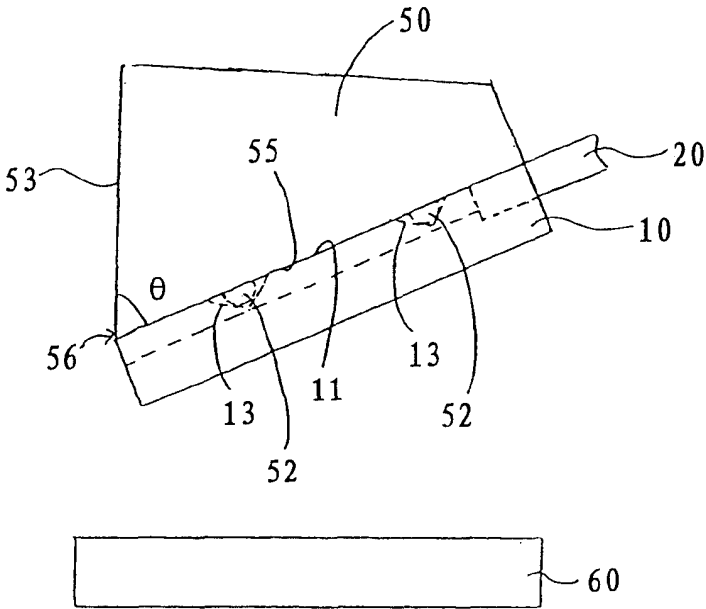


图5

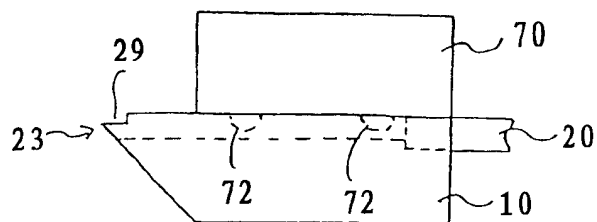


图 6A

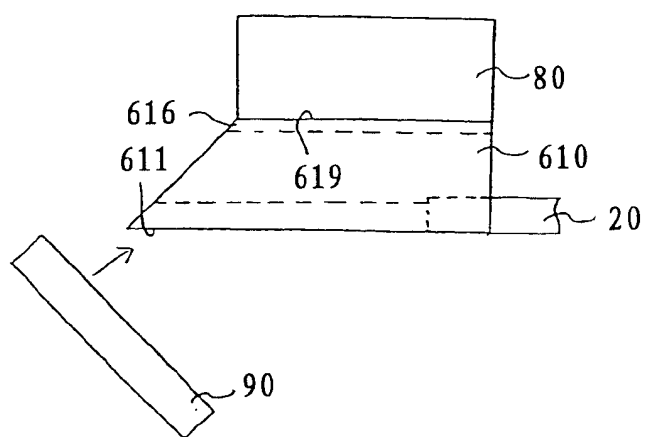


图 6B

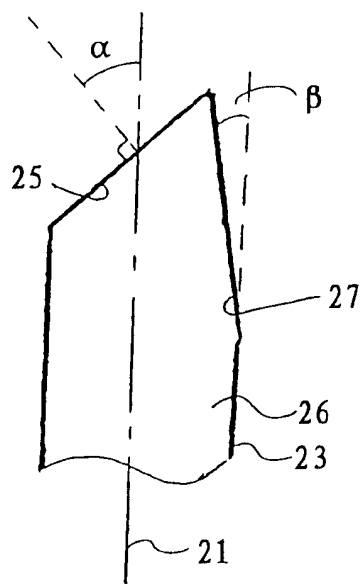


图 7