

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480031629.7

[51] Int. Cl.

A46B 9/04 (2006.01)

A46B 13/02 (2006.01)

A61C 17/20 (2006.01)

A61C 17/22 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 1 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 100450393C

[22] 申请日 2004.11.3

[21] 申请号 200480031629.7

[30] 优先权

[32] 2003.11.4 [33] US [31] 60/517,638

[86] 国际申请 PCT/US2004/036635 2004.11.3

[87] 国际公布 WO2005/044129 英 2005.5.19

[85] 进入国家阶段日期 2006.4.26

[73] 专利权人 华盛顿大学

地址 美国华盛顿

[72] 发明人 皮埃尔·D·姆拉德

弗郎西斯·L·奥尔森

罗格·李·托姆森

贾森·L·西沃尔

[56] 参考文献

US3563233A 1971.2.16

CN1307854A 2001.8.15

JP10165228A 1998.6.23

JP8173242A 1996.7.9

US5546624A 1996.8.20

US6513182B1 2003.2.4

US6446295B1 2002.9.10

审查员 胡婉约

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 郭思宇

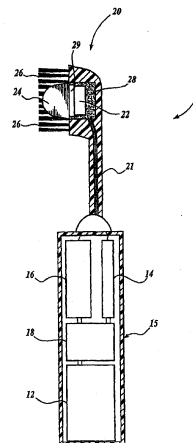
权利要求书 4 页 说明书 30 页 附图 16 页

[54] 发明名称

采用声波导的牙刷

[57] 摘要

一种电动牙刷(10)，具有容纳可更换电池(12)的把手(15)、超声波驱动电路(14)、声元件(16)例如电机、以及控制单元(18)。把手连接至牙刷头(20)，所述牙刷头(20)优选包括多个刷毛(26)以及可操作地连接至波导(24)的超声波换能器(22)，波导(24)从牙刷头大体在刷毛附近延伸。波导便于向牙齿流体内传送声能。可以在手动或者电动牙刷内采用波导，并可以不结合声元件，或者不结合超声波换能器。此处披露的牙刷能改进从牙齿以及牙邻间和牙龈下区域对斑点和污物的去除，同时增强了用户体验、按摩牙龈和刺激牙齿组织。



1.一种牙刷，包括：

牙刷头，具有多个向外延伸的刷毛簇以及靠近所述刷毛簇设置的向外延伸的声波导；

超声波换能器，可操作地连接至声波导，使得超声波换能器将频率大于 20kHz 的超声波经过声波导传播；以及

把手，可操作地连接至牙刷头。

2.如权利要求 1 所述的牙刷，其中牙刷头可移动地连接至把手。

3.如权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导由聚合物形成。

4.如权利要求 3 所述的牙刷，其中聚合物选自如下中的任一个：室温硫化的硅树脂、液体注塑的硅树脂、以及热塑性弹性体。

5.如权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导由绝缘材料形成。

6.如权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导由硬度在 5 至 200 肖氏 A 之间的材料形成。

7.如权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导由硬度在 20 至 80 肖氏 A 之间的材料形成。

8.如权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导包括多个层。

9.如权利要求 8 所述的牙刷，其中声波导包括石墨层和聚合物层，其中聚合物层围绕石墨层模制。

10.如权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导是楔形。

11.如权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导被成型以相干聚集超声波。

12.如权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导被成型以压缩超声波。

13.如权利要求 1 所述的牙刷，其中超声波换能器选自包括如下各项的组中的任何一项：压电换能器、磁致伸缩换能器、微加工的电容性超声波换能器、以及静电聚合物泡沫换能器。

14.如权利要求 13 所述的牙刷，其中超声波换能器是压电换能器，包括选自包括如下各项的组中的任何一项的材料：锆钛酸铅、聚偏二

氟乙烯、铈酸锂、石英、以及钛酸钡。

15.如权利要求 1 所述的牙刷，还包括与超声波换能器可操作接触的阻抗匹配层。

16.如权利要求 1 所述的牙刷，还包括以 20 Hz 至 20 kHz 之间的频率振动牙刷头的声元件。

17.根据权利要求 1 所述的牙刷，另外包括超声波模块驱动电路，其在操作期间以在 20 kHz 到 3 MHz 的范围内的频率驱动超声波换能器。

18.根据权利要求 17 所述的牙刷，其中超声波模块驱动电路在操作期间以在 100 kHz 到 750 kHz 的范围内的频率驱动超声波换能器。

19.根据权利要求 1 所述的牙刷，另外包括超声波模块驱动电路，其在操作期间以在 1%至 10%之间的占空比驱动超声波换能器。

20.根据权利要求 1 所述的牙刷，另外包括超声波模块驱动电路，其在操作期间以 10%的占空比驱动超声波换能器。

21.根据权利要求 1 所述的牙刷，其中所述牙刷在操作期间产生在 0.01 到 1.9 的范围内的机械指数。

22.根据权利要求 1 所述的牙刷，其中在超声波换能器的操作期间，一个包内的单独超声波的数目在 1 至 5,000 之间。

23.根据权利要求 1 所述的牙刷，其中在操作期间，超声波换能器的脉冲重复频率的范围在 1 Hz 至 10,000 Hz 之间。

24.根据权利要求 1 所述的牙刷，其中牙刷头固定地附着到把手。

25.根据权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导是在操作期间延伸到牙齿流体中的柔软的机械凸起。

26.根据权利要求 1 所述的牙刷，其中超声波换能器与声波导直接接触。

27.根据权利要求 1 所述的牙刷，另外包括位于超声波换能器与声波导之间的阻抗匹配层，其提高了将超声波传送到声波导的效率。

28.根据权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导包括圆锥形部分。

29.根据权利要求 1 所述的牙刷，其中声波导包括棱锥形部分。

30.根据权利要求1所述的牙刷，其中声波导包括子弹形主体。

31.根据权利要求1所述的牙刷，其中声波导具有弯曲的远端。

32.根据权利要求1所述的牙刷，其中声波导是矩形的。

33.根据权利要求1所述的牙刷，其中声波导具有锥形侧壁。

34.根据权利要求1所述的牙刷，其中声波导能够对超声波进行声频不相干聚集。

35.根据权利要求1所述的牙刷，其中在操作期间，牙刷能够在声波导之外1mm至10mm之间的距离处产生在2cm/秒到30cm/秒的范围内的流体流。

36.根据权利要求1所述的牙刷，另外包括在超声波换能器后面并且围绕其每一侧延伸的泡沫元件，以至少部分地使超声波反射穿过声波导。

37.根据权利要求1所述的牙刷，其中超声波换能器和声波导适于在操作期间在用户的牙齿流体内产生空穴。

38.根据权利要求1所述的牙刷，其中超声波换能器和声波导适于在操作期间在用户的牙齿流体内产生微泡的微流动。

39.一种可移动的牙刷头，具有基部、从基部延伸的多个刷毛、从基部延伸并且靠近所述刷毛设置的声波导、以及可在声波导附近工作的超声波换能器，以使得超声波在操作期间从超声波换能器传播到声波导并经过声波导。

40.如权利要求39所述的可移动的牙刷头，其中声波导由聚合物形成。

41.如权利要求39所述的可移动的牙刷头，其中聚合物选自如下中的任一个：室温硫化的硅树脂、液体注塑的硅树脂、以及热塑性弹性体。

42.如权利要求39所述的可移动的牙刷头，其中声波导由绝缘材料形成。

43.如权利要求39所述的可移动的牙刷头，其中声波导由硬度在5至200肖氏A之间的材料形成。

44.如权利要求 39 所述的可移动的牙刷头，其中声波导由硬度在 20 至 80 肖氏 A 之间的材料形成。

采用声波导的牙刷

相关申请的交叉参考

本申请要求了于2003年11月4日提交的美国临时专利申请的权益，其公开内容由此被引用作为参考，并且根据35U.S.C.§119要求从其申请日起的优先权。

技术领域

本发明大体上涉及牙刷领域，并且更具体地说涉及采用了声学机构的牙刷。

背景技术

现有的电动牙刷中，即使是最有效的，也会在牙龈下并且在刷毛或者其他牙刷元件的直接到达范围之外于牙齿接触表面处、在牙龈-牙齿接触点处留下在临床上明显的斑点。以前制成超声波牙刷的尝试不能成功地在牙齿流体中开发微泡以便于除去斑点，或者不能成功地将微泡和大泡作为对超过刷毛尖传播的超声波的潜在阻碍。某些采用超声波技术的早期牙刷试图使超声波从刷毛的基部通过刷毛自身或者通过填充在刷毛间空隙中的发泡(bubbly)的牙齿流体传播。例如 Bock 的 US5138733、5247716、5369831 和 5546624。因为传统的牙刷刷毛和发泡的牙齿流体不能满足超声波的有效传播，而不是便于超声波的传播。而且，现有技术牙刷中的超声系统不能利用牙齿流体中特定发泡结构的优点。

现有技术概要

Parisi 的 US3335443 披露了一种连接至能够以高声或者超声频率震动的超声振动手持齿科用具的牙刷。

以 US 专利 No.Re28,752 再颁的 Balamuth 等的 US3809977 披露了一种可以单独或者结合使用的超声波套装、超声波电机构造和超声波转换器设计。超声波电机可以是具有可移动尖端并装在一个壳体內的压电材料，所述壳体具有电触点部件，用于插入到与转换器连接的适配器內。

Kuris 等的 US3828770 中披露了一种利用在施用器处以声频重复的超声机械振动脉冲群来在使用过程中产生超声波和声波振动作而清洁牙齿的方法。

Balamuth 等的 US3840932 和 3941424 披露了一种超声波牙刷施用器，其构造用于被超声波振动以从一端向位于另一端的刷毛元件传递机械振动。

Andress 的 US4071956 中披露了一种不是牙刷的设备，用于通过超声波振动除去牙斑。

Kuris 的 US4192035 披露了一种设备，包括具有一对接触表面的压电材料形成的长条形构件，具有用于容纳在人嘴中的刷子构件。装在把手中的壳体用于容纳压电构件。

Kuris 的 US4333197 披露了一种超声波牙刷，它包括中空壳体状的长条形把手构件，其中设置低压线圈和被以超声频率驱动的配套的铁芯。刷子构件固定在芯上，并粘接在一个阻抗转移装置上，所述阻抗转移装置粘接在芯材料上。阻抗转移装置确保将超声波能量最大程度地从芯材料转移到刷子上。

Suroff 的 US4991249 和 5150492 披露了一种超声波牙刷，具有可更换的牙刷构件，该构件可移动地连接至超声功率构件。

Bock 的 US5138733 中披露了一种具有把手、电池组、电子驱动模块、压电构件和可移动的刷头的超声波牙刷。压电晶体与电子驱动模块所提供的频率相一致地共振、体积膨胀和收缩，由此将电能转换为声波能量。

Bock 的 US5247716 披露了一种用于超声波牙刷的可移动的刷头，它具有多个刷毛簇、柔软材料构成的基本管状的主体、以及将刷

头固定在超声波设备上的绷紧部件，用于有效地从该设备通过刷头传递超声波频率振动。

Center 的 US5311632 披露了一种用于从牙齿上除去斑点的设备，包括具有粗的圆柱状中空把手的牙刷，所述把手容纳 (1) 电机，可以被促动以使偏心安装的构件旋转和整个设备振动，以及 (2) 超声波换能器，可以被促动以沿着刷子产生高频声波。

Bock 的 US5369831 中披露了一种用于超声波牙刷的可移动的刷头。

Bock 的 US5546624 中披露了一种超声波牙刷，包括刚性材料构成的把手、电池组、电子驱动模块、压电构件和可移动的刷头的超声波牙刷。压电晶体与电子驱动模块所提供的频率相一致地共振、体积膨胀和收缩，由此将电能转换为声波能量。

Williams 等的 US6203320 披露了一种电操作的牙刷和清洁牙齿的方法。该牙刷包括把手、与把手连接并具有多个中空细丝刷毛的刷头、通过把手和刷头的用于向中空细丝刷毛内并通过它们运送流体的通路、把手中的电源、以及用于向被运送的流体施加脉动的振动元件。

Takahata 等的 US 专利公开 No.2003/0079305 披露了一种电动牙刷，其中刷体同时振动和往复运动。电动牙刷包括壳体主体、在壳体主体上延伸的臂、设置在臂的顶端中的刷体、以及设置在臂的顶端内的用于驱动刷体的超声波电机。

对 Murayama 的 US5343883 再颁的 US 专利号 RE35712 的电子设备（也就是 flosser）用于从邻间表面除去斑点。该设备采用声音能量和固定在与有动力的把手可移动地连接的柔软叉的两个齿之间的牙线。该电子设备以声频转动，以产生传递给柔软叉的声音能量。

Mosch 等的 US6619957 披露了一种超声波牙刮器，包括牙刮器顶端、促动器材料、线圈、机头壳体、以及气动的电流发生器。促动器材料、线圈和气动的电流发生器都容纳在机头壳体中。

Sharp 的 US6190167 中披露了一种超声波牙刮器，带有一个具有共振频率的牙刮器插入物。牙刮器插入物可移动地连接至机头，所述

机头具有连接至可选择地可调振荡器电路的供能线圈，以产生具有用于振动牙刮器的振荡频率的控制信号。

Martin 的 US4731019 披露了一种齿科器具，用于通过超声波操作刮牙。该齿科器具的器具具有带圆锥状尖头的钩状结构的远端，并包括研磨颗粒，通常是金刚石颗粒。

Suroff 的 US5150492 披露了一种超声波牙刷，具有可更换的超声波工具，它可以可移动地安装至容纳在牙刷把手中的超声波功率部件。

Giuliani 的 US5378153 披露了一种口腔卫生设备，具有主体部分和延伸的共振臂。该设备在其主体内采用一个电磁体，它与两个永磁体配合作用以关于扭转销产生振荡作用。该臂被驱动，使得刷毛尖在振幅和频率范围内操作以产生大于 1.5 米/秒的刷毛尖速度，来实现超过刷毛尖的清洁。

因此该领域需要一种牙刷设计，它能改进在牙齿和牙床之间、在牙齿之间的接触点处、以及超过了刷毛的直接作用范围的牙齿清洁性。

发明内容

本发明为了实现这些和其他相关的需求，提供一种牙刷，包括电动和手动的牙刷，它采用声波导，可以单独使用或者与超声波换能器和/或声元件相结合，以实现更好的除去斑点和污物，以及更好的用户体验。因此在一些实施方案中，本发明提供一种电动牙刷，具有一个或者多个能够传播并且可能将超声波换能器传递的声波会聚到牙齿流体中的声波导，由此引发微泡空化，并且另外或者替换地引发声流动，因此在从牙齿表面和牙邻间松动和除去牙斑方面获得改进。当与声元件结合使用的时候，可以另外的或者替换地使声波导振动，从而声波导有助于在声波导和/或牙刷头刷毛尖到达范围之外增强口腔内的流体流，以及在牙齿流体中形成微泡。当与声元件结合使用的时候，声波导所产生的增强的发泡流体流可以另外的或者替换地与声波导传递的超声波协同工作，以进一步便于在声波导和/或牙刷头刷毛尖到达范围之外除去斑点和污物。

在本发明的实施方案中，在牙刷头处、在声波导的基部和可操作的近距离处采用超声波换能器，或者是通过声音传递管道（由金属、凝胶或流体制成）从牙刷把手内与牙刷头机械连接。在任何一个实施方案中，超声波换能器向声波导传递超声波，后者将那些超声波传播到牙齿流体中，从而超声波可以有效导致牙齿流体中的微泡的空化，或者或是另外导致声流动。在一些实施方案中，本发明的牙刷也可以包括一个或者多个牙刷刷毛，它们有助于在牙齿流体中产生微泡。超声波导致这些微泡的空化，从而导致此处披露的牙刷的除牙斑和污物的性能的改进。

本发明的另外的实施方案提供一种电动牙刷，具有超声波换能器和声波导，并进一步与在可听见的频率之内操作的声元件结合，以机械地移动刷头，包括刷毛和声波导，以增加牙齿流体的流速和强度，从而有助于微泡的产生。声波导和它所传递的超声波以协同的方式作用，通过增加可以用于活化的微泡的瞬时空间分布、以及通过增加由于声波导的声音动作的超声波分布，以在牙齿流体中产生洗涤发泡射流。声波导和超声波也协同作用，以通过分别有助于发泡流体加速从而产生发泡射流，其中声波导是通过直接推动流体，超声波是通过引发声流动。

附图说明

通过参照一下详细说明同时结合附图将更好地理解并且更容易了解本发明的前面各个方面和许多附属优点，其中：

图 1 为一示意图，画出了本发明的一示例性电动牙刷；

图 2A 为一示意图，画出了与在图 1 中所示的实施方案类似的示例性电动牙刷头的剖视图，显示出一把手、刷毛、一超声波换能器以及其形状大体上类似于矩形实体的声波导；

图 2B 为一示意图，画出了在图 2A 中所示的示例性牙刷头的有限元模型模拟几何形状(这里没有显示出刷毛)；

图 2C 为一示意图，画出了在 1.2ms 后脉冲处的模拟超声波场，

其中这些超声波主要保持在声波导中；

图 2D 为一示意图，画出了在 2.0ms 后脉冲处的模拟超声波场，其中这些超声波已经基本上离开声波导；

图 3A 为一示意图，画出了如在图 2A 中所示的牙刷头的有限元模拟几何形状，其中该示例性声波导器具有一锥形轮廓；

图 3B 为在图 3A 中所示的锥形波导器的透视图；

图 3C 为紧接着在超声波传输之后绘制出的模拟波场的侧视图，显示出在声波导内的传播；

图 3D 为在超声波传输之后的随后时间处绘制出的模拟波场的侧视图，显示出声波导器超声波波阵面 (wave front) 传播进流体乳液；

图 3E 为在与图 3C 相同的模拟时刻处绘制出的模拟波场的端视图；

图 3F 为在与图 3D 相同的模拟时刻处绘制出的模拟波场的端视图；

图 4A 为另一个示例性声波导器的有限元模型模拟几何形状，其中波导器顶端是弯曲的；

图 4B 为在图 4A 中所示的波导器的透视图，其中在弯曲虚线之外的部分被去除；

图 4C 为紧接着在超声波传输之后绘制出的模拟波场，显示出在声波导器内的传播；

图 4D 为在超声波传输之后的随后时间绘制出的波场，显示出超声波波阵面聚集在声波导器的顶端之外并且那个超声波波阵面传播导流体乳液中；

图 5A-5D 为由具有和没有波导器的超声波牙刷的超声波图像；

图 5A 为一组合 Doppler(在方框内)和 B 模式(在方框外)图像，画出了在没有声波导器并且没有刷毛顶端(刷毛顶端(BT))和位于刷毛底部处的刷毛板(BP)运动的情况下由超声波牙刷引起的流体流；

图 5B 为一组合 Doppler 和 B 模式图像，画出了在没有声波导器但是存在刷毛顶端运动(MB)的情况下由超声波牙刷引起的流体流，并

且阐明了在刷毛之外没有任何可测量的流体流(FF);

图 5C 为一 B 模式超声波图像,画出了由具有声波导器的超声波牙刷引起的流体流,其中通过声学部件使波导器振动,并且显示出振动的声波导器产生出运动离开牙刷头的起泡流体射流;

图 5D 为对于图 5C 所述的所述超声波牙刷的 Doppler 和 B 模式超声波图像,还显示出明显的流体流(FF)和形成在刷毛顶端之外的气泡(B);

图 6 为一曲线图,比较了在一压板的顶端处相对于在聚焦透镜声波导器处的测量出的声压水平;

图 7 为一曲线图,显示出传送穿过牙齿流体/气泡乳液的超声波吸收对频率;

图 8 为一曲线图,显示出通过由与稳定振荡的气泡相关的声微流动引起的剪切应力所破坏的悬浮红细胞百分比。该插图画出了设置在悬浮红细胞的管瓶内的在中央具有空气的薄中空导线;

图 9A-H 画出了用在本发明的牙刷头中的各种示例性声波导器的几何形状;并且

图 10 为数据柱状图,说明了根据本发明的牙刷的安全性。

具体实施方式

本发明基于了以下发现,采用声波导器的牙刷单独或者与超声波换能器和/或声学部件结合与现有的电动牙刷技术相比产生出改进的清洁性能。认为根据本发明的牙刷可能包括下面所述的多根传统刷毛。如在这里所详细描述的一样,根据本发明的牙刷能够(1)通过声波导的运动包括声波运动并且通过波导器和/或一个或多个牙刷刷毛形成气泡而增大发泡流体流;(2)传送由超声波换能器产生出的聚集超声波并且通过声波导器将那些波传播进牙齿流体以实现改善斑点破坏和去除;和/或(3)便于发泡流体流和传输超声波以在牙齿流体内在刷毛处和之外最佳地并且最大地相互作用(例如在离刷毛顶端大约0.5mm和大约5mm之间,更通常在离刷毛顶端大约1mm和大约3mm之间)。

因此,在某些实施方案内,本发明提供了包括手动牙刷和电动牙刷在内的牙刷,它包括一声波导器。在本发明的某些实施方案中,提供了这样的牙刷,它包括与超声波换能器结合的声波导器,由于用带刷毛的牙刷头进行刷洗和/或由声学部件作用在其上的声波导器的运动,它们一起作用在牙齿流体内的微观发泡流上,从而在牙齿流体内产生出空穴、微流动和声流动。因此,本发明的其它实施方案提供了这样的牙刷,它包括与超声波部件结合并且进一步与声学部件结合的声波导器。该声学部件与由合适的材料构成的声波导器结合和/或与一个或多个牙刷刷毛结合,另外能够产生出令人满意的口腔感觉,从而刺激并且作用齿龈和其它牙齿组织,这另外促进提高牙齿清洁感受。

所有美国和外国专利和专利申请以及所有其它参考文献,不论是在下或在上引用的,其全文在这里被引用作为参考。

控制本发明牙刷技术的操作的定义和参数

如在这里所使用的一样,术语“超声波”或“超声”指的是其频率比人耳的听觉范围更高以及在其之外的声音-通常高于大约20kHz。通常,在本发明牙刷中所采用的超声波换能器转换其超声波频率在以下范围内的声音:在大约20kHz至大约1000kHz范围内、在大约20kHz至大约2000kHz范围内、在大约20kHz至大约5000kHz范围内或者在大约20kHz至大约10MHz范围内但是不大于大约20MHz的;更典型的是,从大约100kHz到大约750kHz,并且仍然更典型的是,从大约250kHz到大约750kHz。术语“声的”指的是在人耳的听觉范围内的频率的声音,大约为20kHz,例如在20Hz至20kHz。

如在这里所使用的一样,术语“空化”指的是通过声音产生和/或激发气泡。更具体地说,术语“空化”在这里用来指代在受声波作用的介质中在液体和在气体夹杂物(例如微泡)内超声波场之间的相互作用。“产生”是指形成气泡;“激发”是指导致气泡动态活化的作用,也就是移动、变大或者变小、生长、消失、围绕着气泡的流体中和其周围以及在气泡内的气体中的有所相关的机械和/或化学效果。

现有微泡的空化按照第一种近似方法可以分成两种——“稳定空

化”和“惯性空化”。“稳定空化”是通过低强度超声波能量引发原先存在的微泡的稳定低幅度的共振振荡，它会在微泡附近的流体流内产生局部剪切力（以下称之为声微流动（acoustic microstreaming））。随着超声波强度的提高，振荡的幅度也加大，直到气泡变得不稳定，并因为大量涌入的流体的惯性而破裂，称之为“惯性空化”。

在一个剧烈破裂的气泡（本发明所需要的更活化的一个）内所导致的极端压力和温度可足以因为所含有的水汽的水解而引发自由基的产生。如果在流体/固体界面（例如牙齿表面）附近处发生气泡破裂，在介质和高速流体射流中的剪切力直接指向固体结构也就是牙齿和牙龈。在本发明的说明中，空化作用包括由于刷毛在稳定空化中的作用而在牙齿流体中早已存在的微泡的超声波诱导激发，它通过由与微流动相关的剪切力所导致的洗刷作用，从牙齿表面和邻间表面移动或者松动斑点和其他碎屑。另一种效果可以是远离换能器产生相干的流体流，称之为声流动，它的强度因为超声波和微泡的相互作用而增强。通常，因为本发明的超声波换能器而发生空化的微泡的直径在大约 $1\mu\text{m}$ 至大约 $150\mu\text{m}$ 。

气泡具有与气泡半径反比变化的第一共振频率，并也强烈地依赖于其他因素，例如气体含量和表面张力。通常例如牙齿流体内的直径在大约 $1\mu\text{m}$ 至大约 $150\mu\text{m}$ 的气泡会在利用在 20kHz 至 3MHz 范围内操作的超声波换能器在那些气泡上施加超声波的时候共振。更具体地说，牙齿流体内的直径在大约 $1\mu\text{m}$ 至大约 $100\mu\text{m}$ 的气泡会在利用在 30kHz 至 3MHz 范围内操作的超声波换能器在那些气泡上施加超声波的时候共振。更进一步具体的说，牙齿流体内的直径在大约 $4.3\mu\text{m}$ 至大约 $33\mu\text{m}$ 的气泡会在利用在 100kHz 至 750kHz 范围内操作的超声波换能器在那些气泡上施加超声波的时候共振。再进一步具体地说，牙齿流体内的直径在大约 $5\mu\text{m}$ 至大约 $30\mu\text{m}$ 的气泡会在利用在 100kHz 至 600kHz 范围内操作的超声波换能器在那些气泡上施加超声波的时候共振。再进一步地，牙齿流体内的直径在大约 $6.5\mu\text{m}$ 至大约 $22\mu\text{m}$ 的气泡会在利用在 150kHz 至 500kHz 范围内操作的超声波换能器在那些气泡上施加超声

波的时候共振。在此处提出的一个示例性实施方案中，牙齿流体内的直径在大约 $12\mu\text{m}$ 至大约 $26\mu\text{m}$ 的气泡会在利用在 250kHz 至 500kHz 范围内操作的超声波换能器在那些气泡上施加超声波的时候共振。不论所施加的超声波频率是否与气泡的共振频率不同，低级的超声波会诱发气泡体积中的暂时变化，可以在一个声音循环中也可以经过起初小而且是正弦的多个声音循环。因此“稳定空化”是指那些气泡中的简单体积变化，其中周围流体中的除了惯性之外或者代替惯性的因素支配气泡的行为。并且不论所施加的超声波频率是否与气泡的共振频率不同，那些所诱发的气泡体积的暂时变化会在气泡附近的流体中产生运动，这种运动的机械效应可以除去斑点。

由于几何性质和阻抗失配，空化气泡散开并发出声音。发生稳定空化的气泡的压缩和变稀疏会主要在用于低级声音的所施加的信号频率处导致声音的发出。当气泡朝着它们的共振频率（可以仅在几个循环内发生）生长时或者当所施加的声场增加时，气泡内的体积变化在一个声音循环内发展为更复杂的时间函数，声音的发出也是这样，而不管那些变化是否保持径向对称。作为生长的气泡幅度的函数，那些发声首先包括所施加的信号(F_0)的超谐波($2F_0, 3F_0$ 等)（以及 F_0 自身的发声）。最后，一个一次稳定振荡的气泡可以猛烈的破裂和/或变得不对称，在更大的频率范围中超谐波发射以及宽带发声（即 F_0 的非积分值）的幅度有相应的增加，包括所施加信号的多个超谐波的最后发声（例如 $(1/2 F_0)$ ）。通过检测这些发射，例如通过水听器，可以远程访问在声穿透材料中的空化活化水平，并且与空化有关的各种机械和化学效应相关，例如此处所示的斑点去除。参见Chang等的IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 48(1):161 - 170 (2001); Poliachik等的Ultrasound in Medicine and Biology 27(11):1567-1576 (2001) ; Leighton , Ultrasonics Sonochemistry 2(2):S123 - S136 (1995) ; 以及 Roy 等的 J.Acoust.Soc.Am 87(6):2451v- 2458(1990)。例如，当根据所施加信号的幅度划分时，可以期待超谐波的标准幅度随着气泡活性的增长而

增长, 并且斑点的去除会相应增长。另外, 可以期待在气泡介质的辐射光谱带 (从 $(1/2)F_0$ 至 $10F_0$) 上的积分随着气泡活性的增加而增加, 并且斑点的去除会相应增长。

如此处使用的, “微流动”和“声微流动”是指因为超声波场内的机械压力变化对微泡的作用而发生的微泡附近的流体的运动。在本发明的说明中, 与“微流动”和“声微流动”有密切关系的是与牙齿流体内的空化微泡有关的剪切力, 它沿着牙龈和牙齿的表面并在牙邻间和牙龈下分布。这些剪切力会除去在这些表面上的斑点和/或污物。

用于“声微流动”的控制超声波参数包括: (1)载体频率 (也就是单个超声波的频率) 通常在大约20kHz以上。更具体的说, 载体频率在大约30kHz至大约3MHz; 更具体的, 载体频率在大约100kHz至大约750kHz; 更具体的, 载体频率在大约100kHz至大约600kHz; 更具体的, 载体频率在大约150kHz至大约500kHz; 进一步更具体的, 载体频率在大约250kHz至大约500kHz。可以理解, 载体频率的实际值会依赖于可得到的气泡总数和所采用的超声波换能器的规模; (2)“脉冲重复频率”(PRF), 也就是单个的超声波的包或者脉冲群的频率, 通常但不限于从大约1Hz至大约10000Hz的范围; 更具体的说, 在从大约10Hz至大约1000Hz的范围; 更具体的说, 从大约50Hz至大约250Hz的范围; 可以理解, PRF的实际值是声音频率 (也就是本发明的牙刷的声元件所驱动的刷毛和/或声波导的运动频率) 的小的多倍 (通常是两倍或者更多, 更典型的是四倍或者更多); 以及(3)在超声波的包或者脉冲群内的单个超声波的数量通常在大约1至大约5000之间; 典型的在大约5至大约1000之间; 更典型的在大约5至大约100之间。对于声微流动, 短的脉冲群和低的PRF是适合的。PRF和脉冲持续时间的乘积产生工作循环 (也就是超声波打开时间的百分比)。通常工作循环在大约1%至大约10%。

如此处使用的, “声流动”指因为超声波束的衰减而使动量从声波转移至流体所产生的流体的松散 (bulk) 的或相干的流动。传播到流体内的超声波不论有没有气泡, 可以产生“声流动”, 它在尺寸和程度

方面可以是非常显著的，甚至在流体内有气泡时比没有气泡更大。与激发气泡所需要的频率相比，声流动通常需要更高的频率（频率越高，声流动越大）。

声流动速度 v 与流体的幅度吸收系数 α （它自身与在线性声音传播条件下的超声波频率成正比，并更强烈地依赖于在非线性声音传播条件下的频率）成正比，并与其动力学粘度 ν 成反比：

$$v = (\alpha l^2 I / c \nu) (G)$$

其中 I 是超声波束的强度， l 是超声波束的直径， c 是声音的速度， G 是取决于声音束大小的几何因子。Zauhar等，British J. Of Radiology 71:297-302(1998)。

用于“声流动”的控制超声波参数包括：(1)载体频率通常大于20kHz；更具体的说，在大约500kHz至大约5000kHz或更高，以增强声音吸收；(2)“脉冲重复频率”(PRF)通常但不限于大约1Hz至大约10000Hz；更具体的说，在大约10Hz至大约10000Hz；更具体的说，再大约100Hz至大约10000Hz；再具体的，在大约1000Hz至大约10000Hz；以及(3)在超声波的包或者脉冲内的单个超声波的数量通常在大约1至大约5000之间；典型的在大约5至大约100之间。为了增强“声流动”，更长的工作循环（占空度）通常是例如至少大约10%；更典型的是大约25%至大约100%，再典型的是大约50%或者大约75%至大约100%。此处举出了更长的脉冲群，例如在大约1MHz的频率处在PRF为至少1000Hz的情况下大于大约100个波。但是很明显，本发明的牙刷中可以适当地采用不同的脉冲长度、频率和PRF值。

如此处所使用的，“机械指数”是指经过所施加的声音压力的一个循环的预先存在的气泡的空化的开始的量度。参见Holland等人的IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 36(2):204 - 208 (1989)；以及Apfel等人的Ultrasound Med.Biol. 17(2):179-185 (1991)。这种量度与峰值负压（MPa）幅度成正比，并与所施加的声音的频率（MHz）的平方根成反比。当机械指数值超过1.9的时候，超声波可以产生惯性空化，是空化的最有机活性的一

种类型，并超出了除去斑点所需要的量。控制假定要求最优尺寸的气泡等温生长，忽略扩散到气泡中的气体，并且围绕气泡的流体是不可压缩的。这些假定产生了最具活性的气泡破裂，使得机械指数是惯性空化开始的一个保守量度。

经验证据显示，利用低至0.1的机械指数可以实现斑点的去除。但是理论考虑建议，可以利用低至0.01的机械指数来实现斑点减少。参见 Krasovitski 等人的 IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 51(8):973 - 979 (2004)。例如与悬浮在水中并且受到430kHz频率的超声波和10000Pa的压力幅度（例如机械指数大致是0.01）的气泡有关的声微流动所产生的壁上的剪切应力被预测为大致是5Pa，它足以通过斑点上的稳流而除去斑点。参见 Stoodley 等人的 J.Industrial Microbiology & Biotechnology 29:361-367(2002)。本发明的牙刷所得出的机械指数通常是在大约0.001至大约1000的范围内。更典型的是，机械指数是在大约0.001至大约100的范围内，再典型的是在大约0.002至大约20的范围内，进一步典型的是在大约0.01至大约5的范围内，或者是在大约0.01至大约1.9的范围内。

如此处使用的，“微泡”是指在口腔内例如在牙齿流体内或者斑点的内存在的微小气泡。“微泡”可以在流体内生长，例如通过引入适当的牙膏；可以通过牙刷通过手动刷牙而产生；和/或可以通过刷毛结合目前披露的某些电动牙刷的声元件的来产生。“微泡”通过超声波换能器所传递并由声波导传播的超声波信号而作用。根据该微泡直径，“微泡”在特定频率处或者其附近共振。

示例性牙刷

图1显示了本发明的示例性牙刷10。牙刷10包括：刚性或者半刚性材料构成的把手15，它通常容纳可更换电池12，所述电池优选用于给包括超声波模块驱动电路14的电路感应充电；声元件16，包括电机，优选是DC电机，用于以声频驱动牙刷头20；以及计时器和电机控制单元18。适当的电机、超声波驱动电路、可更换电池、以及计时器和电

机控制单元如该领域所知。

把手15与牙刷头20连接，包括杆部21，还包括超声波换能器22和可在超声波换能器附近操作的声波导24。在图1所示的牙刷实施方案中，显示了一个在超声波换能器22后面并且围绕其每一侧延伸的泡沫元件28。可以理解，泡沫元件28至少将部分超声波向前反射穿过声波导24并进入牙齿流体。牙刷头20可以可移动地或者固定地连接至把手15。通常，牙刷头20包括靠近声波导24设置的多个刷毛簇26。牙刷头20可以任选包括阻抗匹配层29。如下所述，阻抗匹配层29改善了设备的效率。

在所披露的实施方案中，超声波模块驱动电路14提供的交流驱动超声波换能器22，从而换能器22主要沿着一个轴在与超声波模块驱动电路14所提供的频率共振处或者接近共振处而膨胀和收缩，由此将电能转换为超声波能量。所得到的超声波被引导至声波导24内，并由其传播、聚集和辐射出去。聚集的超声波能量作用在牙齿流体（通常是唾液和牙膏，图中未显示）内的微泡上，以诱发空化，由此使沉积在牙齿和牙邻间区域上的斑点松动。

超声波换能器

如上所述，本发明某些实施方案提供一种牙刷10，它采用超声波换能器22来产生超声波能量，并与声波导24结合以有效地将该超声波能量传导到牙齿流体中。微泡不论是利用手动牙刷通过传统手动刷牙动作而存在于牙齿流体内部和/或通过驱动牙刷刷毛26的运动的声元件16和/或在音速的声波导24来形成（见下文），它都被通过超声波能量诱发空化而被激发，以实现能有效地在距离牙刷头的有限距离处从牙齿表面和牙邻间区域松动和除去斑点。

如果没有本发明的超声波换能器22，微泡只是牙齿流体内的简单的被动的孔。此处披露的超声波换能器22导致这些微泡脉动，由此围绕单个气泡产生局部流体运动。这种效果在此被称之为“微流动”，并且与超声波空化效果相结合，实现了足以分解斑点的剪切应力。通常，本发明的超声波换能器22所诱发的微流动实现的剪切应力在大约

0.1Pa至大约1000Pa之间。更通常的是，微流动实现的剪切应力在大约0.2Pa至大约500Pa之间。进一步通常的是，剪切应力在大约0.3Pa至大约150Pa之间。最通常的是，剪切应力在大约1Pa至大约30Pa之间。

超声波换能器22的另一个效果是在牙齿流体内沿着朝向牙齿和牙邻间和牙龈下空间的方向沉积动量，由此提高牙齿流体的速度和相干性。这种松散的流体流过程被称之为声流动(acoustic streaming)。

不论是通过产生声微流动和/或声流动，相关的剪切和压力发挥作用，按照超过单独的牙刷毛26所能做到的方式和程度侵蚀和去除斑点。尤其是，通过从超声波换能器22通过声波导24将超声波传导至刷毛顶端26附近和之外的牙齿流体内，便于实现这些超声波效果。

适合用于本发明的超声波牙刷10的超声波换能器22容易从现有技术中获得(例如US5938612和US6500121，每一篇专利在此以全文引入作为参考)，并且最通常的是，可以通过压电或者磁致伸缩效果来操作。磁致伸缩换能器例如可以产生20-40kHz范围内的高强度超声波。或者可以通过向例如锆钛酸铅(PdZrTi或者PZT)的压电材料的薄晶片施加电子振荡器输出，可以产生超声波。有各种压电PZT陶瓷共混物可以用于制造能够用于本发明的牙刷的超声波换能器。也可以使用其他换能器材料例如压电聚合物，如单层或者多层聚偏二氟乙烯(PVDF)，或者晶体压电材料，例如铌酸锂(LiNbO₃)，石英，以及钛酸钡。超声波换能器可以是平的或者弯曲的(例如圆锥截面)，以聚集超声波。

除了压电材料之外，电容性的微加工的超声波换能器(cMUT)材料或者静电聚合物发泡体也是适合的。可以在例如径向、纵向、剪切等各种振动模式中使用多种这些材料，以产生声波。另外，单晶压电材料，例如Pb(Mg_{1/3}Nb_{1/3})O₃-PbTiO₃(PMN-PT)等，也可以用于减少如振幅数量级那么多的电压/传输水平比例。

除了换能器材料外，一个或者多个阻抗匹配层29(通常设计为四分之一波长匹配层)可以有助于在从通用的高阻抗换能器材料向较低阻抗的声音波导材料中传输的时候改善效率和带宽。通常，选择匹配

材料，其厚度将能支撑理想频率的四分之一波，并且在要匹配的两个阻抗内选择最佳的声音阻抗。适当的材料可以包括如下材料，例如环氧树脂和金属颗粒复合物、石墨、或者本领域技术人员已知并可以获得的其他候选材料基质。

声波导

如上所示，本发明的一个方面基于这样一种观察，即与超声波换能器可操作地结合使用的声波导能有效地将超声波从换能器传播到牙齿流体中，由此产生和/或导致牙齿流体中存在的微泡的空化。通常，如图1所示，超声波换能器22位于牙刷头20的基部，在声波导24的可操作附近处，从而超声波能有效传播到声波导24内并通过它传播到牙齿流体（未显示）内。

如上所示，在一些实施方案中，本发明还提供一种电动牙刷10，包括具有声波导24的牙刷头20，其中牙刷头20可操作地连接至声元件16，并且其中声元件16导致声波导24振动，从而增加了其中浸有声波导24的牙齿流体内的微泡的流动和产生。

在另一些实施方案中，提供一种电动牙刷10，包括在超声波换能器22的可操作附近处并与声元件16可操作连接的声波导24的结合，以通过联合增加流体流和微泡的形成，以及空化和声微流动效果，而进一步改善牙齿清洁性能。此处，通过将超声波换能器2直接与声波导24直接连接可以便于可操作的连接，或者将超声波传导材料例如阻抗匹配层29设置在超声波换能器22和声波导24之间，可以既提高从换能器22至声波导24的超声波传输效率，或，或者是或另外是有效提高换能器22和声波导24之间的距离，以例如便于设备的制造过程。

已经描述了刚性声波导，例如铝或者钛制成的实心波导或者填充有脱气水的中空波导，用于将高强度的聚集超声波（HFU）送入活体组织，用于通过热诱导进行治疗（例如药物输送和止血）和/或用于生成惯性空化。例如参见Martin等和Mesiwala等的US专利公开2003/0060736，Ultrasound in Medicine and Biology 28(1): 389-400(2002)。

这些用于声波导的申请说明利用物理构件便于在超声波换能器面之外传播超声波以实现治疗效果。本发明相反,基于这样一种观察,声波导具有柔性构件,通常具有平的轮廓,可以与超声波换能器结合使用以便于将超声波传播到口腔内,激发已有的气泡以除去斑点,其方式也能最佳的产生发泡流体射流(由于轮廓的平的方面)并促进令人满意的口腔感觉。

浸有声波导24的牙齿流体(图1)通常是唾液或者牙膏乳剂,由于在每个刷毛簇26内和在相邻的刷毛簇26之间存在大的空气穴,因此非常容易吸收声音,并且在不使用声波导24的情况下,会在波阵面到达牙齿和牙龈之前衰减显著量的超声波。空气介质具有非常低的声音阻抗,它会与通常用于超声波换能器22内的高声频阻抗材料具有很大的阻抗失配。这种阻抗失配是从超声波换能器22向牙齿和牙龈表面传输声音的一个明显阻碍。声波导24通过接收、容纳和并向牙齿表面附近的唾液和牙膏乳剂传送声音能量,从而作为跨越这种声频失配的桥梁,克服了唾液和牙膏乳剂所经常会面对的衰减效应。

本发明以如图2-5和9A-9H所示的声波导作为示例提出多种声波导设计。根据本发明的具体实施方案,声波导24可以单独使用、与声元件16结合使用、和/或与超声波换能器22结合使用。适当的声波导都具有物理性移动牙齿流体和/或有效地便于传播并可以聚集超声波换能器22所传送的超声波,由此增强流体运动以及所得到的空化和微流动的相关效果。

图2A显示了示例性电动牙刷头120的实施方案,它包括与声波导124结合的超声波换能器122。侧视图显示了声波导124,它从超声波换能器122向牙齿和牙龈(未显示)运送超声波能量。声波导124处于超声波换能器122的可操作的附近,并靠近和在一个或者多个侧面刷毛簇126的侧面上。在这种示例性设计中,声波导124由软的平滑的硅橡胶制成,已经知道它具有令人满意的表面纹理和传送超声波的能量,阻抗匹配层129设置在声波导124和超声波换能器122之间。

最实质性地影响超声波穿过声波导的传送的两个参数是:(1)制造

波导的材料，以及(2)波导的几何形状。以下将详细描述这些参数。不管所采用的具体的声波导材料和几何形状，本发明都考虑这种参数的选择以实现令人满意的口腔感觉。因此制造或者模制声波导的材料优选足够软，以在放入口内和/或直接与口相接触时讨人喜欢。本领域技术人员可以理解，理想地设置具有令人喜欢的纹理的声波导，以有效地接入、传导、相干聚集、非相干压缩以及接出声能。

对用于制造本发明的牙刷所使用的声波导的适当材料的选择可以由技术人员在考虑以下教导的情况下来实现。可以使用各种绝缘材料，例如二氧化硅(SiO_2)，氮化硅(Si_3N_4)，以及许多聚合物。例如硅树脂浇铸/模制的RTV，液体注射模制(LIM)硅树脂，和/或热塑性弹性体(TPE)，可以采用注塑模制工艺。聚合物比其他波导材料有优势，因为它们具有相对低的剪切波速度。但是，由于它们的粘弹性，可能必须交联以避免过度的声音损失。交联允许引起声音损耗的聚合物具有平衡的弹性应力，因此代表稳定的波导层。

适用于本发明的声波导的材料硬度可以通过肖氏(硬度计)测试或者洛氏硬度测试来确定。这些硬度测试方法是该领域已知和可以获得的。这些测试测量材料对压痕的耐受性，并提供经验硬度值。肖氏硬度，可以利用肖氏A或者肖氏D刻度，是用于橡胶/弹性体的优选方法，并可以用于“更软的”塑料，例如聚烯烃、氟代聚合物和乙烯。肖氏A刻度用于“更软的”橡胶，肖氏D刻度用于“较硬的”材料。肖氏硬度用硬度计测量，因此也被称之为硬度计硬度。通过将硬度计压头穿透到样品中来确定硬度值。ASTM测试方法名称是ASTM D2240 00。相关的方法包括ISO 7619，ISO868，DIN53505和JIS K6253。此处每个这种硬度计测试方法的全部内容都被引入作为参考。

弹性声波导的硬度计测量值通常在5-110肖氏A的硬度范围内，更典型的是从10至100肖氏A，进一步典型的是从20至80肖氏A。本领域的技术人员会明白，在与本发明的电动牙刷结合使用的声波导中可以采用较硬的材料；但是较硬的材料会提供逐渐不令人满意的口腔感觉。

本发明还考虑，可以结合使用一种以上的材料，以形成具有优选的硬度和口腔感觉的声波导。例如，可以在声波导结构中嵌入或者成层堆积另外的声音匹配元件，并可以通过一个或者多个匹配层与超声波换能器可操作地接触。在一些实施方案中，本发明的声波导还在波导顶端设置匹配层，以帮助接入低阻抗牙膏乳剂（例如牙齿流体）。理想的是，在声波导和周围的介质之间具有明显的特定声频阻抗变化，从而不会因为声波导的侧面而使波实质上接入到周围的介质中。

此处作为示例的是原型换能器组件，具有与PZT超声波换能器可操作接触的石墨阻抗匹配层。如图9A所示，波导组件150A可以包括可以插入到注射模具中石墨芯部分152A或者类似的材料，以及通过注入模制法围绕着它模制的弹性体外部154A。或者，可以使用多点法（multishot）来产生具有不同声音和弹性性质的材料梯度。如此处所述的，“多点”是指在一个模具中设置几个塑料点（shot）。例如在如下的声波导实施方案中可以采用这一工艺，其中第一相对硬的材料层（例如大约肖氏80硬度或更大）在超声波换能器元件的可操作附近；第二相对软的材料层（例如在大约肖氏20和肖氏80之间）紧邻着第一材料层并与其相接触；以及第三仍然较软的（例如大约肖氏20硬度或更小）材料层紧邻着第二材料层并与其相接触，用于给牙齿非常柔和的感觉。这些示例性声波导设计可以形成为单独的工件，或者它们可以与主体硬牙刷材料结合模制。

因此在一些实施方案中，本发明的声波导可以包括两个或者多个塑料/弹性体层。例如可以考虑包括三个、四个、和/或五个塑料/弹性体层的声波导用于某些应用。这种声波导还可以包括一个或者多个插入件，用于成型声音性能和优化声音性质。在另一些实施方案中，声波导可以包括一个或者多个牙刷刷毛，可以与塑料/弹性体和插入层结合模制或者在模制过程之后再连接。牙刷刷毛设计和材料是该领域技术人员已知和可以获得的。

参考图9A至9H，技术人员可以理解，声波导可以形成为多种三维形状或者几何形状的任何一种。例如图9A显示了具有弯曲和锥形几

何形状的波导150A。图9B显示了具有会聚和楔性部分152B的替换的波导150B。图9C显示了替换的波导150C，其中会聚部分由可以由间隙154C分开的多个较短部分152C构成。图9D显示了替换的波导150D，具有子弹形主体152D，带有小凸起154D用于促进流体流动。图9E显示了替换的波导150E，具有带弯曲端部154E的会聚部分152E。可以理解，尽管显示了弯曲端部154E，但是在某些情况下希望更复杂的弯曲端部。图9F显示了圆锥状的替换波导150F。图9G显示了双锥形的替换波导150G。图9H显示了具有多个棱锥形部分152H的替换波导150H。以下将讨论关于适当选择波导几何形状的设计思考。可以选择波导的形状，例如实现声波的特定压缩和/或聚集。

在本发明的一些实施方案中，声波导能够将来自超声波换能器传送来的超声波进行声频相干聚集。例如可以通过将包括具有已知声音速度的传导介质的波导顶端弯曲可以实现声频相干聚集。或者可以在弯曲的波导的端部中加入具有已知的波速度的超声波传导聚合物部分，以在进入可变音速介质（例如分散性发泡介质）之前接近于完全聚集。在这种实施方案中，可以采用单个曲线来实现单个的聚集，而扇形曲线用于制造多个焦点。

在替换的实施方案中，声波导能够对从超声波换能器传送来的超声波进行声频不相干聚集。例如通过传导的声音以半相干的方式进入逐渐变小的区域从而提高强度的圆锥形或楔形，可以实现声频不相干聚集。或者可以采用多个圆柱形顶端以提供更高声强的多个区域。

不管具体的材料和/或几何形状如何，本发明的声波导被制造为在牙刷头上移动的时候产生流体流。例如通过采用延伸进入牙齿流体内的柔软的机械凸起，可以实现所需要的流体运动和超声波向牙齿流体内的传送。在这种情况下，声波导的运动可以是并排的或者是旋转的。

当声波导运动是旋转的时候，该运动通常围绕着波导的纵轴或者与其相平行，并可以利用楔形或圆锥形、呈十字或者星形图案的多个楔形或圆锥形、风车状、和/或呈没有中心的星形图案的多个楔形来实

现。或者可以关于沿着牙刷头的轴进行旋转运动，如可以利用楔形或者矩形声波导来实现。

适当的声波导也可以采用螺旋桨状几何形状，例如标准的螺旋桨设计或者螺旋设计。或者声波导可以具有铰接的水翼状，其中它的运动产生流体提升并因此产生流体流。

声波导也可以被设计为增加传送至牙齿和牙龈表面的声能。例如，声波导可以被设计将传播的声能容纳和压缩在一个较小的物理区域中。如果波导用低声频衰减的并且具有适当音速的材料制成，从波导端部送传送的能量大小将与传送到波导内的相当，但是可以被压缩在一个较小的区域中，并因此具有较高的能量密度和/或声强。波导顶端运动产生“声涂料”以广泛地分配声能。

除了低衰减之外，波导通常被设计为沿着波导引导声能，并在其已经传播至波导端部之前将最小量的声能传送或“泄漏”到周围的介质中。实现这一目的的一个方法是使用其音速明显低于周围流体并在波导的侧面具有缓坡（例如楔形）的材料。波导壁的缓坡使得所传播的波以低的掠射角接触波导和流体界面。因为波导中的波长比周围介质的短，因此波将接入低效子谐波模式，其中通过多个波导波长与周围介质波长的比例来确定入射角。这些接入流体性不好的传送模式不会从波导中抽出大量的能量。

容纳、传送和压缩声能的结合能在波导顶端处产生高强度声场，并改善了声能传送的效率。因此，需要较低的电来产生用于气泡活化的适当声强。图2A-2D（用于矩形波导（124））、图3A-3F（用于楔形波导124X）、以及图4A-4D（用于具有弯曲端的楔形波导124Y）显示了设计用于压缩声场的有限的元件模型和模拟结果。图2A显示了本发明的如上所述的牙刷头120的大体简化模型。图2B显示了用于作为牙刷头120模型的有限元件模型的对应部分，包括杆部121'、超声波换能器122'、阻抗匹配层129'和波导124'。图2C、3C、3E和4C显示了用于选定波导的在刚刚传送之后的波场的曲线，显示了在波导内传播。这些图证明少量泄漏进入周围流体中。图2D、3D、3F和4D显示了后

来在传送之后的波场曲线,此时超声波波阵面被压缩在波导的顶端中,进入流体乳剂的传送主要来自波导顶端。

除了通过压缩声场而增加所传送的声强之外,波导可以被设计为将能量相干聚集在波导顶端之外的周围介质中。这是通过对声波导的端部成型以产生声透镜效果来实现的,所述声透镜效果会将波从波导聚集在波导之外的更高强度场内。可以利用一种或者多种波导材料结合在一起并且成型为产生聚集场来实现这种聚集效果。例如,可以在波导的端部处使用低衰减、较高音速的材料来在波阵面进入较高衰减的牙膏乳剂中之前继续传播和聚集波阵面。通过利用上述的声场压缩,利用聚集效果实现的声强提高改善了设备的效率。因此、最后的设备的尺寸、重量、功率和成本降低,电池寿命延长。

再一些实施方案提供了这样一种声波导,它可以被构成为在与声元件(见下文)结合并且有或者没有超声波元件的情况下用于电动牙刷头的时候具有改善的流体推进性能。

声元件

在某些实施方案中,如上所述,本发明的牙刷包括与声波导24和/或超声波换能器22结合的声元件16(见图1)。通常,声元件16包括电机组件,它产生传送到牙刷头内的声音振动,由此导致声波导24和/或刷毛簇26振动。这种声音振动在牙齿流体内产生发泡流。例如,通过采用声元件16,可以使声波导24利用具有足够压力和剪切力的相关流体流朝着牙齿以及牙邻间和牙龈下空间提升和推动牙齿流体,以侵蚀斑点。本发明的振动声波导24能够以足够的速度和聚集度移动流体、包括发泡流体,从而实现在牙刷头20的刷毛26的几个毫米之外从牙齿上除去斑点。在本发明的牙刷中可以适当地采用的电机组件是本领域技术人员已知的并可以获得的,可以US专利第5978681、6421865、6421866、RE36669号、以及US专利公开2002/0095734、2002/0116775、2002/0124333和2003/0079304中的牙刷头驱动机构作为示例。这些美国专利和专利申请的全文在此引入作为参考。

本发明的牙刷能够在牙刷刷毛顶端和/或声波导之外在大约1mm

至10mm之间的距离处以大约1cm/秒至大约50cm/秒的范围产生流体流。更具体的说,本发明的牙刷能够在牙刷刷毛顶端和/或声波导之外在大约1mm至10mm之间的距离处以大约2cm/秒至大约30cm/秒的范围产生流体流。此处的示例是,牙刷能够在牙刷刷毛顶端和/或声波导之外在大约1mm至10mm之间的距离处以大约10cm/秒产生流体流。

本领域技术人员可以认识到,通过在声波导24上的声音作用而产生发泡流体不需要上述的超声波元件16。但是,超声波换能器22、声波导24和声元件16的结合包括可移动地或者固定的结合的牙刷头20,并具有把手15,以实现本发明的最有效的电动牙刷。声学 and 超声波元件的这种结合产生了最令人惊奇的益处,也就是改善了微泡流动性能并且增强了空化和声微流动。这些物理性质提供了本发明实施方案的优异的清洁性。也就是,超声波和声元件在结合使用时能实现此处所披露的牙刷设计,产生了明显由于声学 and 超声波元件单独的增加效果的协同清洁效果。例如,声波导24可以被优化以移动发泡流体,其中的气泡会便于产生声流动(由此进一步增强了波导单独所产生的流体流)以及声微流动和空化。

洁牙剂的设计和组成

在一些相关的实施方案中,提供一种洁牙剂,它特别适用于本发明的电动印刷。例如,此处提出了这样一种洁牙剂,它便于产生所需的气泡总量,此处披露的超声波换能器22和声波导24可以作用在其上。

可以分析牙齿流体内的天然气泡总量,分析流体对通过它传递的超声波能量的吸收倾向。吸收性越高,就存在越多相关尺寸的气泡(由共振公式所启发,起初针对纯水在37摄氏度进行研究,当然也可以用作对更普遍的条件 $F_0 R_0 = 3.26$ 的近似,其中频率 F_0 在MHz级,气泡的半径 R_0 在微米级),当然许多偏离共振的气泡也会产生所需的斑点和污物去除效果。

通常,例如本发明的洁牙剂便于在牙齿流体内形成直径大约 $1\mu\text{m}$ 至大约 $150\mu\text{m}$ 的气泡,它会在施加20kHz至3MHz的频率范围的超声波的时候共振。更典型的,本发明的洁牙剂便于在牙齿流体内形成直径

大约 $1\mu\text{m}$ 至大约 $100\mu\text{m}$ 的气泡，它会在施加 30kHz 至 3MHz 的频率范围的超声波的时候共振。更典型的，本发明的洁牙剂便于在牙齿流体内形成直径大约 $5\mu\text{m}$ 至大约 $30\mu\text{m}$ 的气泡，它会在施加 100kHz 至 600kHz 的频率范围的超声波的时候共振。在此处示例性的洁牙剂中，在牙齿流体内形成直径大约 $12\mu\text{m}$ 至大约 $26\mu\text{m}$ 的气泡，在向这些气泡利用在 250kHz 至 500kHz 的范围内的超声波换能器施加超声波的时候共振。

适用于此处所披露的牙刷的洁牙剂包括表面活性剂，所述表面活性剂产生便于产生和稳定用于通过超声波换能器与声波导相结合进行激发的适当尺寸的气泡的表面张力值。通常，在此处披露的洁牙剂中所采用的表面活性剂产生大约 0.1Pa 至大约 500Pa 范围内的表面张力，更典型的，在大约 0.2Pa 至 250Pa 的范围内，更进一步典型的在大约 0.5Pa 至大约 50Pa 。

以下的实施例用于作为此处披露的本发明的示例，但是不是对本发明的限制。

实施例

实施例1

结合的声波和超声波牙刷的设计和构成

通过用超声波换能器和声波导代替市购电动牙刷中的内部刷毛簇来形成原型电动牙刷。在这些原型牙刷中采用的超声波换能器具有在大约 150 至大约 510kHz 范围内的显著功率输出，它足以激发形成声学上显著的气泡总量，并且容易因为超声波换能器所发出的能量而被共振激发。在超声波换能器的可操作附近处在牙刷头上模制聚合物波导，其位置使超声波换能器所产生的超声波被传播和聚集。

实施例2

通过示例性超声波电动牙刷超声波成像和去除斑点

该实施例披露了对实施例1所述的其中一个原型电动牙刷所收集的超声波成像和斑点去除。

为了说明采用超声波换能器与声波导的结合的电动牙刷的改进性能，对采用和未采用声波导的原型超声波牙刷收集Doppler和B模式

数据。图5A表示没有声波导的超声波牙刷的超声波图像。在刷毛顶端（BT）处和在刷毛底部处的刷毛板（BP）处，Doppler数据显示了流体流（在方框内）而B模式数据显示了声音反向散射（在方框外）。图5B显示了同样的超声波牙刷，其中通过声元件对移动的刷毛供能。这些数据显示即使刷毛是移动的（MB），也不能检测到超过刷毛顶端的流体流（FF）。图5C显示了结合有声波导的原型超声波牙刷的超声波B模式图像。声元件驱动声波导的振动，并产生移动离开牙刷的多泡流体的射流。图5D显示了同一个牙刷的Doppler和B模式超声波图像数据，显示了超出刷毛的显著的流体流（FF）和气泡（B）。

在涂布斑点（链球菌突变）的人造牙齿模型系统中测试原型超声波电动牙刷的斑点去除。通过弄脏一套人造牙齿，然后施加由位于牙刷头刷毛顶端之外几毫米的位置处的没有超声波的声波导产生的流体流，测试斑点。在施加了与声波导相结合的超声波换能器所产生的流体流之后，减少或者除去了离散的斑点菌落。

也测试在牙刷头刷毛顶端到达范围之外的牙齿区域的人造牙齿模型。在从刷毛顶端之外的几毫米处施加超声波能量之前，将斑点染成粉色。在施加超声波之后减少或者除去了离散的斑点菌落。也减少了斑点的背景膜，留下残留的粉色，主要是因为染料已经溶出到牙齿内。在施加由声波导产生的流体流之后和在从刷毛之外几毫米处施加超声波能量之后测试同一个模型系统中的斑点去除。在处理之后减少或者除去了离散的斑点菌落。也减少了斑点的背景膜，留下残留的粉色，主要是因为染料已经溶出到牙齿内。同时使用来自声波导和超声波的微流体流获得了更有利的结果。

实施例3

采用声波导的示例性超声波电动牙刷的物理参数的测量

本实施例披露了本发明的示例性超声波电动牙刷的物理参数的测量。

为了比较各种声波导几何形状的效果，将用于平的未聚集的弹性体/硅树脂聚合物楔形波导的传送压力与用于聚集的弹性体/硅树脂聚

合物楔形波导的传送压力相比较。图6中的每个声波导的顶端处的声压水平的曲线显示了聚集的波导（ $\sim 1.5\text{MPa}$ 顶端压力）与未聚集的波导（ $\sim 0.5\text{MPa}$ 顶端压力）相比在传送压力中大致增加了三倍。

测量通过模型牙齿流体/气泡乳剂传送的超声波的吸收，作为30 - 700kHz频率范围内的超声波频率的函数。超声波换能器位于相对侧上，分开大致0.3至1cm，在包括模拟的牙齿流体（也就是洁牙剂和水的乳剂）的皮氏培养皿的相对侧上，测量通过流体传送的声音的强度，并由传送进入流体的声音的强度来测量和标准化。图7显示了示例性的测试结果，它显示了由于超声波长度和流体深度之间的共振，在大致200kHz处由于声音吸收造成的衰减峰值和在大致350kHz处曲线中的假下降。这些数据显示存在可用于在100-500kHz之间的频率处的声音激发的显著气泡总量。

实施例4

示例性超声波电动牙刷的斑点去除

本实施例披露了利用与对射流中的气泡进行的超声波激发相结合的声波导的声波振动所产生的发泡射流除去斑点。

采用用于牙齿斑点的链球菌突变模型以评估本发明的示例性超声波牙刷的斑点去除。允许链球菌突变（人产生的斑点）在磨砂载玻片上生长，然后暴露于在水浴表面处并且以垂直方式与载玻片表面保持几毫米距离处操作的原型牙刷。使用各种超声波方案，包括仅有波导（WG），以及波导加超声波（WG/US）。载玻片用斑点特定的染料着色，以显示原样的斑点（粉色）和没有斑点的区域（白色）。

在示例性的化验中，涂布链球菌突变的载玻片的表面与原型牙刷的最长的刷毛相距4mm。超声波载频是250kHz，PRF是1000Hz，使用24循环/脉冲串；机械指数是0.75。当仅使用声波导产生的发泡流体射流的时候，斑点的厚度发生微细减少，在与超声波结合的时候，去除了明显的斑点。作为比较，将市购的电动牙刷保持与磨砂载玻片上生长的斑点相距同样的距离。对照（control）的牙刷不会除去有意义的斑点。

第二化验系统在利用链球菌突变进行试验之前将羟磷灰石 (HA) 盘孵化48小时。超声波方案是：在625HzPRF运行的250kHz、40循环/秒、3秒曝光和在距离声波导的顶端6mm处测量的机械指数0.9。

声波导的单独作用除去某些斑点；但是与超声波结合时，明显改善了斑点去除。通过比较，市购的电动牙刷不会除去任何斑点，而单独的超声波仅在盘的小区域中除去几个斑点。

在第三个试验系统中，采用如下超声波方案：在1252HzPRF运行的510kHz、2循环/秒、曝光3秒和在距离声波导的顶端6mm处测量的机械指数0.51。与上述的试验一致的是，声波导的单独作用除去某些斑点；但是与超声波结合时，明显改善了斑点去除。通过比较，市购的电动牙刷在距离牙齿前面1-2mm时仅除去一些斑点，而单独的超声波仅在盘的小区域中除去几个斑点。因此，声学振动的声波导所产生的发泡流体射流足以在刷毛的到达范围之外以比市购的电动牙刷高至少两倍的系数更迅速地除去斑点。

在大范围的音波方案中观察斑点去除。当PRF是声频的多倍、大于1倍的时候，可以实现最佳的斑点去除。不希望受到操作的任何具体理论的束缚，相信这种方案会导致最佳的斑点去除，因为它允许超声波的多脉冲与发泡射流相互作用，作为声波导柔软顶端的斑点被在HA盘面、载玻片的相关部分和/或牙齿上前后振荡。还相信，这至少部分是因为在发泡流体射流和超声波的结合作用下所观察到的协同效果导致的。

为了说明这种协同效果，在有和没有声波导的运动的情况下评估在牙齿/斑点去除模型上单独使用超声波的作用。选择一种超声波方案，它自身不会产生有意义的斑点去除（产生或者不产生发泡射流），但是在引入含有人造气泡的牙齿流体（Optison™）之后能产生有意义的斑点去除。这种研究结果也说明单独的超声波不能负责除去斑点；但是超声波激发人造气泡相结合就能明显除去斑点。

针对在牙刷刷毛到达范围之外的牙齿区域，对人造牙齿牙斑模型的进一步研究表明，在人造气泡存在的情况下声学振动声波导同时发

出450kHz超声波，在仅施用5秒之后就从小2-3mm的距离除去斑点，而且斑点去除图案实际上呈现在超声波开始的几分之一秒内。与单独利用超声波相比，发生这种斑点去除的面积更大，并且与单独的发泡流体射流相比，在明显更短的时间内发生。因此超声波和声学产生的发泡流体流以一种协同方式一起作用，以在刷毛到达范围之外的较大区域上快速和有效地去除斑点。

因为气泡的体积振荡，以及相关的应力作用在超声波频率、多个频率（100kHz数量级）控制的时标，在理论上可以在0.00001秒（也就是大致10微秒）的数量级的时标上发生斑点去除。因此本发明的超声波牙刷可以在比现有的电动牙刷去除斑点所需的时间短大致100至1000倍的时间显著去除斑点。

实施例5

示例性超声波电动牙刷没有细胞溶菌作用

本实施例披露了本发明的超声波电动牙刷，诱发超声波空化，其机械效果不足以诱发细胞溶菌作用，但是能去除斑点。这些发现支持了此处提供的超声波电动牙刷的安全性。

Rooney, Science 169:869-871(1970)披露了利用红细胞模型系统（图8）来测试与稳定振荡气泡有关的声微流动诱发的剪切力导致的细胞溶菌作用，说明在一管瓶稀释的红细胞中设置的单个气泡可以被超声波激发，以产生“微流动”，从而利用足够的声能，可以破坏那些血细胞。特别是，在一管瓶悬浮的红细胞中设置一个细的中空线，在线的中心有空气。从线中挤出足够的空气，以在悬浮液中形成空气的半球（微泡）。在大约25kHz的频率处的超声波施加在容器上，以激发气泡的振荡，并足以产生声微流动。在这些条件下，大约70%的红细胞被可与通过单独的部件所确定的剪切应力相比的剪切应力所破坏。通过引入高渗透性溶液可以实现百分之一百的溶血。当然，此处感兴趣的是要破坏细胞所必须的剪切应力（大于450Pa）和在体外除去新生斑点所需的应力（1-30Pa）之间的差。将在0.075和5.09Pa的剪切应力处生长的P.铜绿菌素生物膜分离所需的剪切力分别是5.09Pa和

25.3Pa. 参见Stoodley等人的Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology 29:361-367 (2002)。

声微流动只是与声频空化（通过声能形成和/或激发气泡）相关的多个物理过程中的一个，它可以导致生物系统例如红细胞的破坏，如此处所讨论的那样。当然感兴趣的是例如当不存在气泡的时候，在远低于导致所需的生物效应所必须的声强的声强处，气泡的存在便于使应力足以去除斑点。在本实施例中，使用Optison™，一种微泡超声波（US）对比剂，来说明这一点。本实施例也显示，气泡的超声波激发而不是单独的超声波空化除去斑点。

关于本发明的超声波牙刷的安全性的证明，采用以下的斑点去除试验系统。通过分析涂覆的（plated）牙龈细胞上的液体中的细胞残骸而确定示例性牙刷对细胞的破坏，所述涂覆的牙龈细胞暴露在(1)启动的市购电动牙刷，其刷毛顶端位于细胞之上；(2)保持在细胞之上的原型牙刷的声元件所导致的发泡流体射流；以及(3)保持在细胞之上的来自原型牙刷的发泡流体射流和超声波（声波加超声波）的结合。这些结果与利用市购的电动牙刷获得的结果进行比较，所述市购电动牙刷的刷毛顶端直接设置在细胞上。

在处理之后，通过根据制造商说明书的非放射性乳酸脱氢酶（LDH）试验（Cytotox 96; Promega, Madison, WI）来评估上清液。这种试验系统是代替⁵¹Cr释放细胞毒性试验的比色分析，并已经用于通过化学和物理方式测量细胞溶菌作用。参见Singer等的J.Neurosci. 19:2455-2463 (1999)。试验定量测量LDH，一种稳定的细胞溶质酶，它在细胞溶菌时释放出来，其方式几乎与在放射性试验中释放⁵¹Cr一样。利用30分钟耦合的酶试验测量培养物上清液中释放的LDH，这样使得四唑盐（INT）转换为红甲产物。所形成的颜色量与溶菌的细胞数量成正比。

利用标准的96井板读取器收集可视波长吸收数据。在该领域中已知利用四唑盐结合心肌黄酶或替换的电子接收体确定LDH的方法。已经报道了对这种技术进行改变来测量天然的细胞毒性，并已经说明与

并行的 ^{51}Cr 释放试验所确定的值是一致的（在试验误差之内）。

保留在板中的细胞在处理之后利用如上所述的LDH试验进行摄影、溶解和定量。将由于超出了声波牙刷的刷毛效果而诱发的细胞溶菌与本发明的原型结合的声波/超声波牙刷所诱发的细胞溶菌进行比较。

示例性试验的结果如图10所示，它说明在与通过声波导传播的超声波结合的情况下，安装在牙刷上的声波导所产生的发泡流体射流的清洁作用安全的去除斑点。“对照”结果是对市购的电动牙刷的刷毛到达范围之外所产生的流体作用导致的细胞溶菌作用的测量；“声的”结果是对没有超声波的示例性牙刷的这种细胞溶菌的测量；“声的+超声的”结果是对具有声元件和超声波的示例性牙刷的这种细胞溶菌的测量；“对照+接触”结果是对市购的电动牙刷在其刷毛被设置成直接与细胞表面相接触的情况下细胞溶菌的测量。当刷毛没有接触细胞的时候，在市购的牙刷和原型牙刷之间没有检测到差别。相反，市购电动牙刷的牙刷刷毛直接接触细胞会产生明显的细胞溶菌。

尽管已经显示和描述了本发明的优选实施方案，但是可以理解，可以作出各种改进而不会脱离本发明的精神和范围。

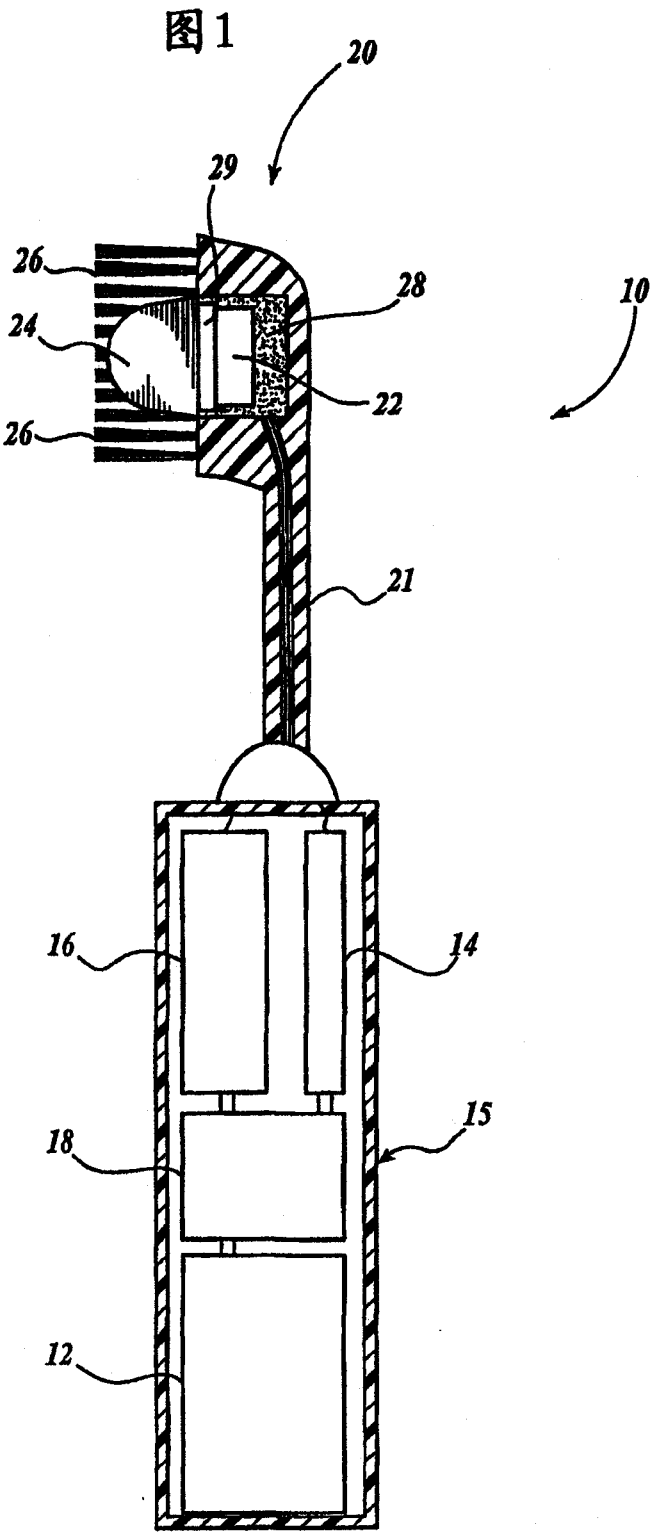


图 2B

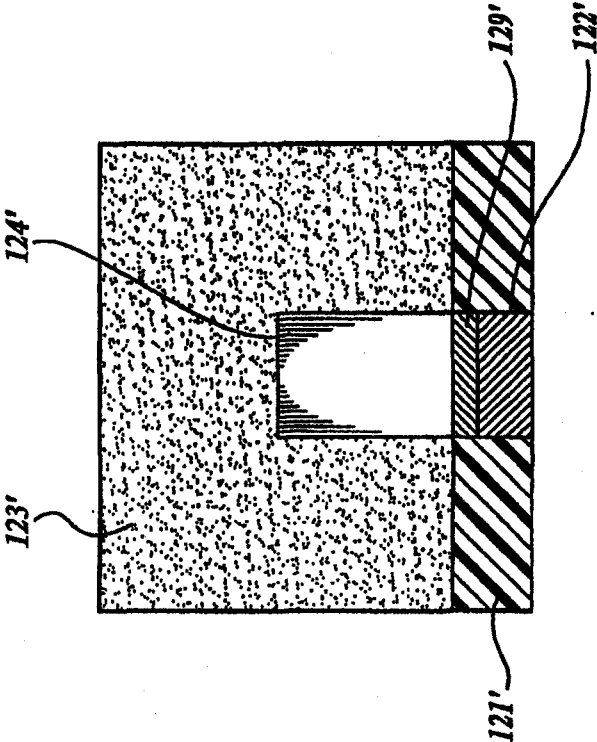


图 2A

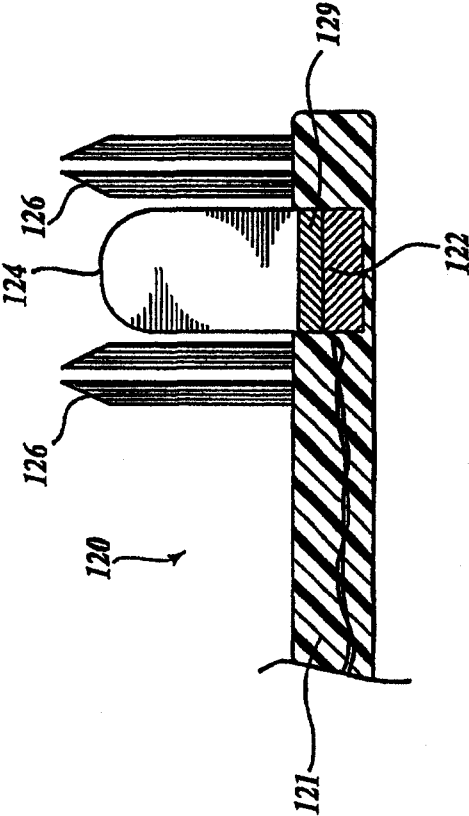


图 2D

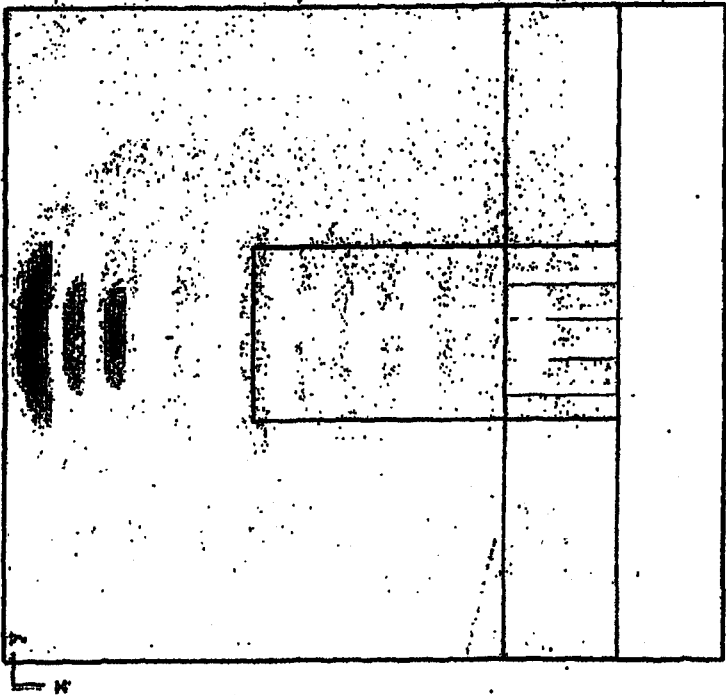


图 2C

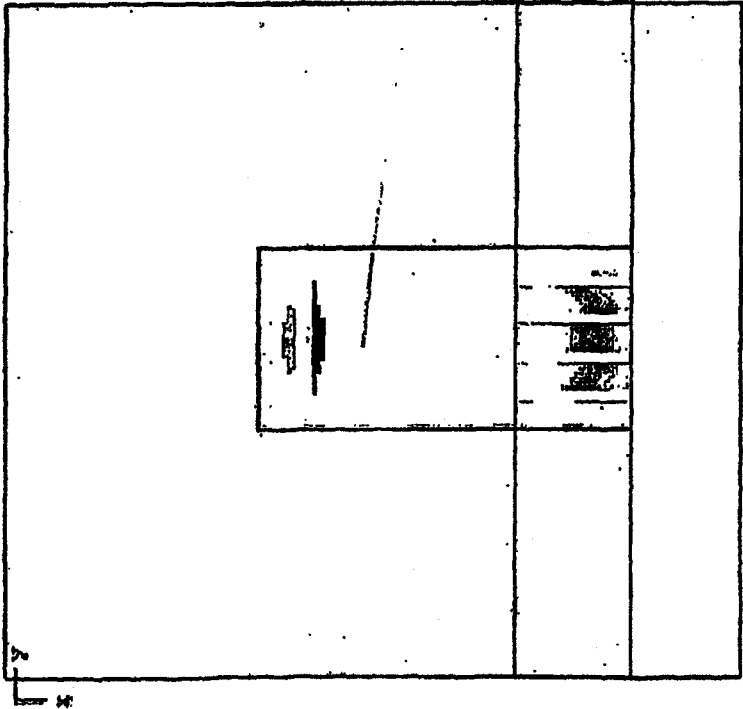


图 3B

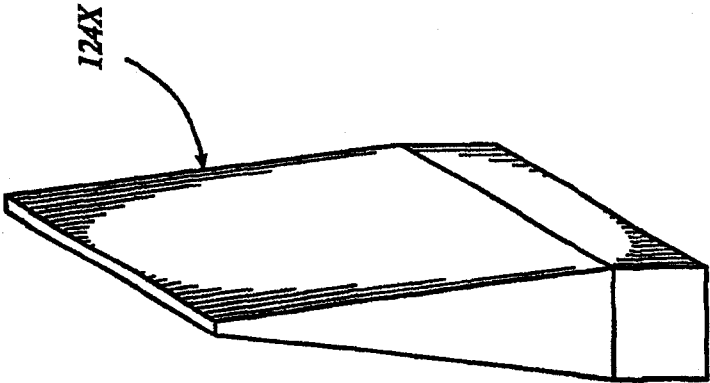


图 3A

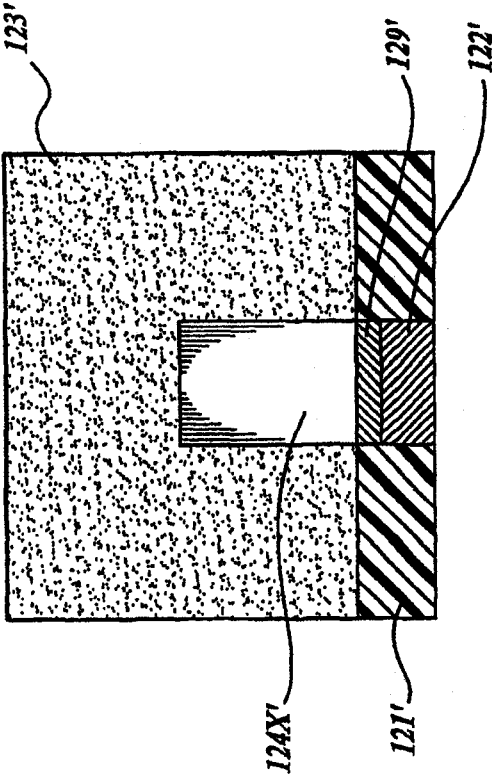


图 3D

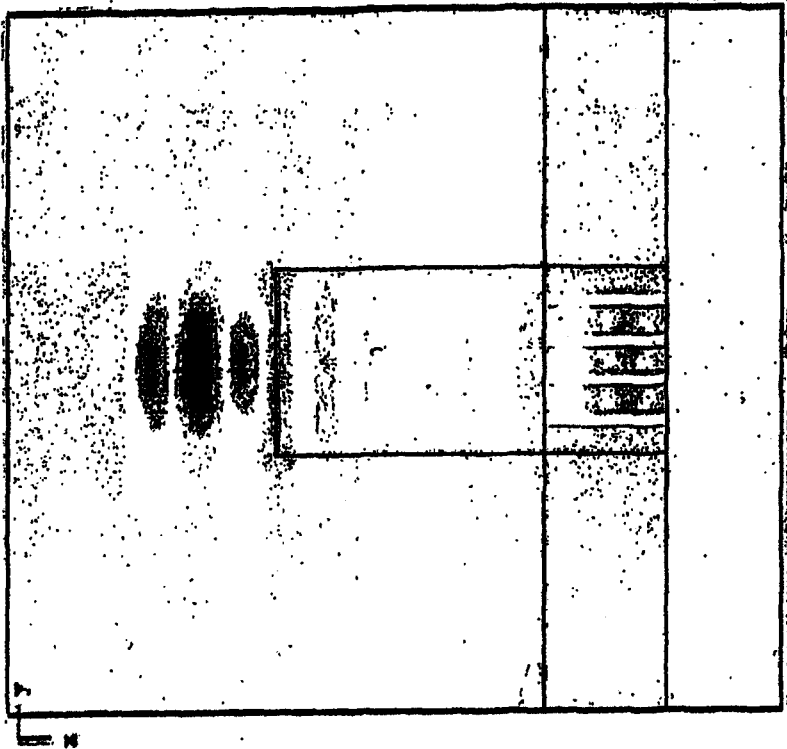


图 3C

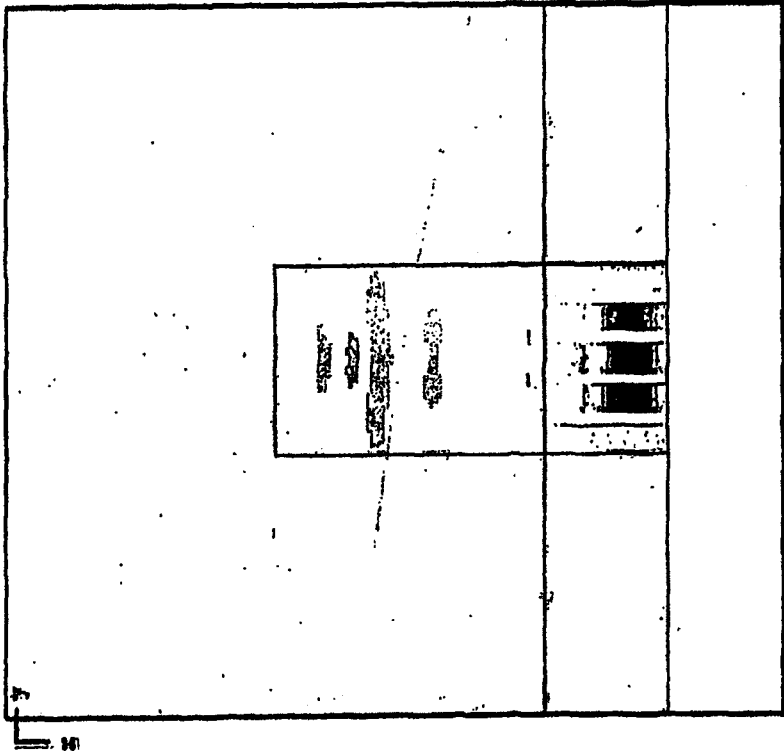


图 3F

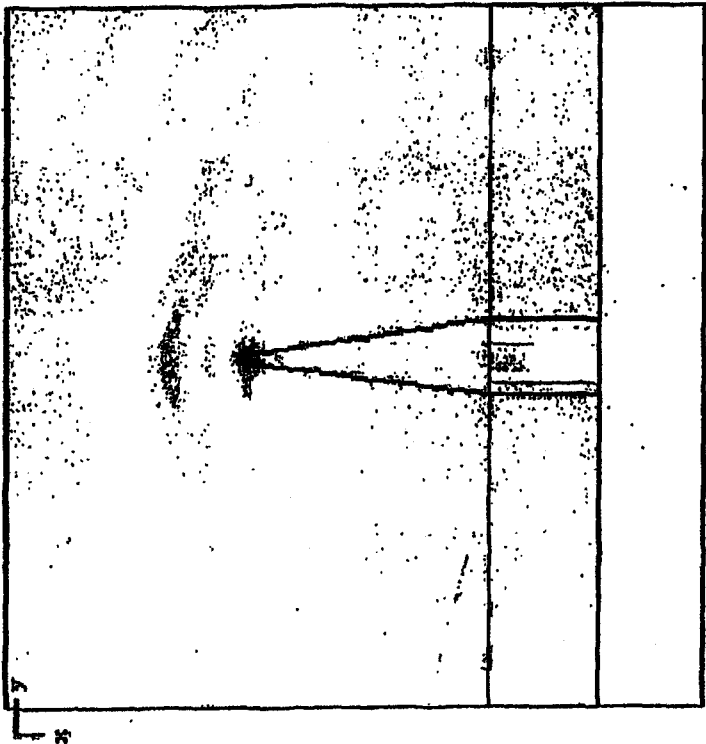


图 3E

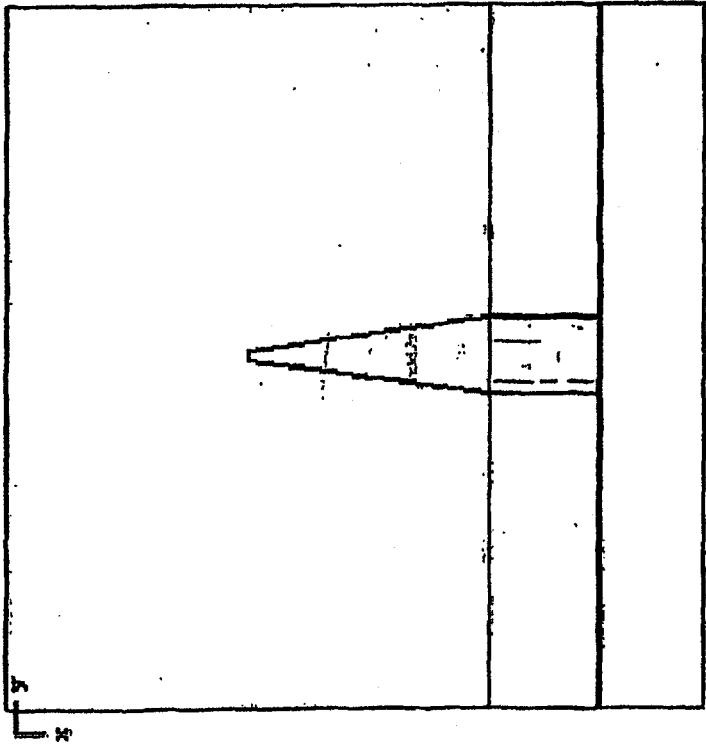


图 4B

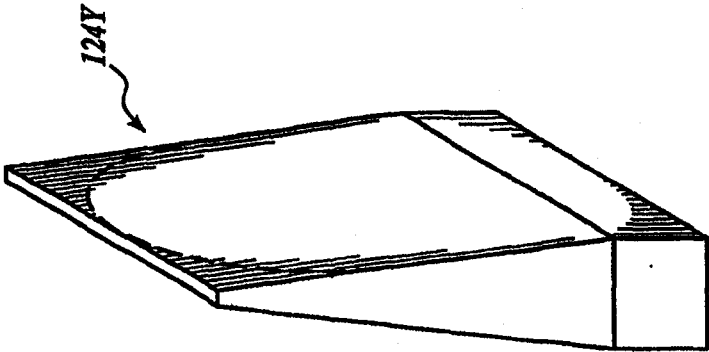


图 4A

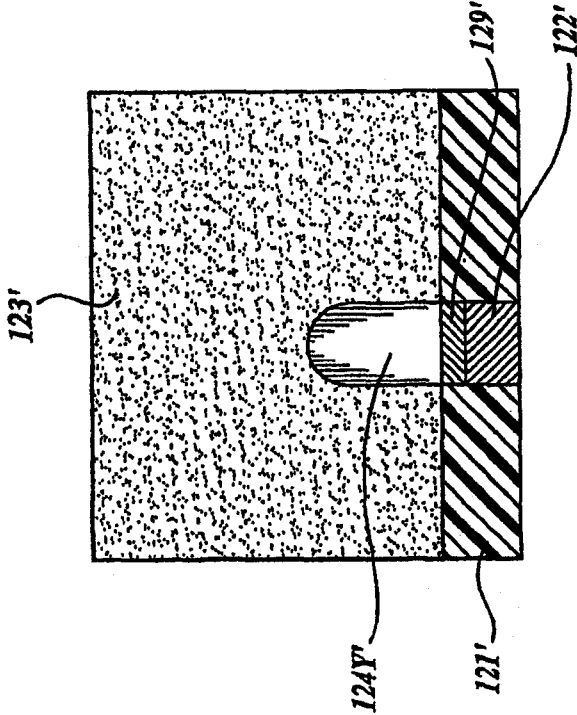


图 4D

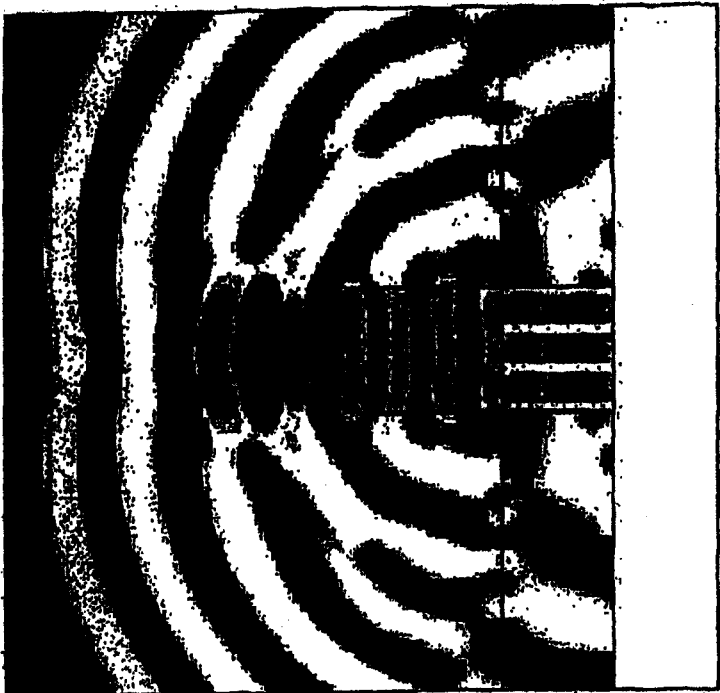


图 4C



图 5B

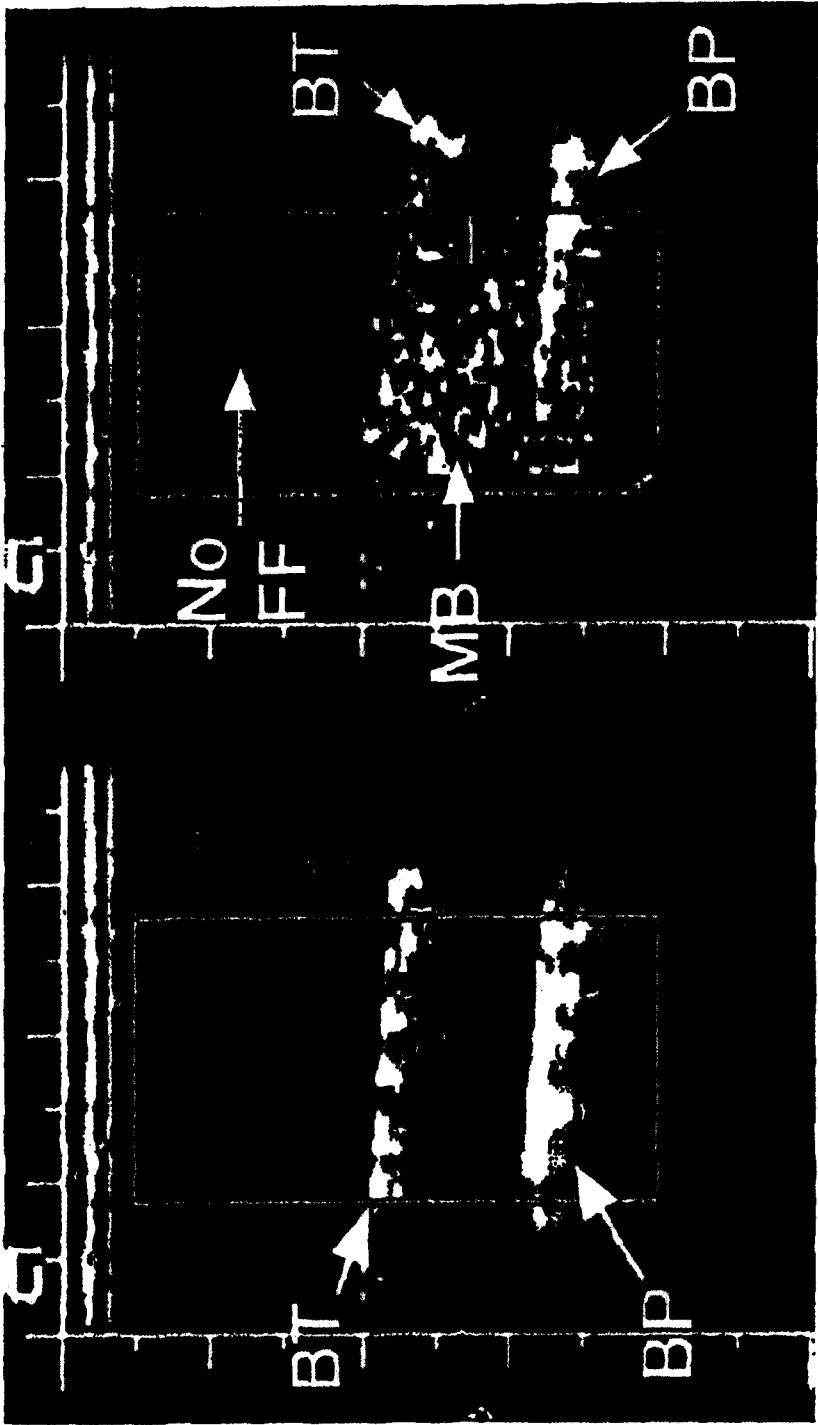


图 5A

图5C

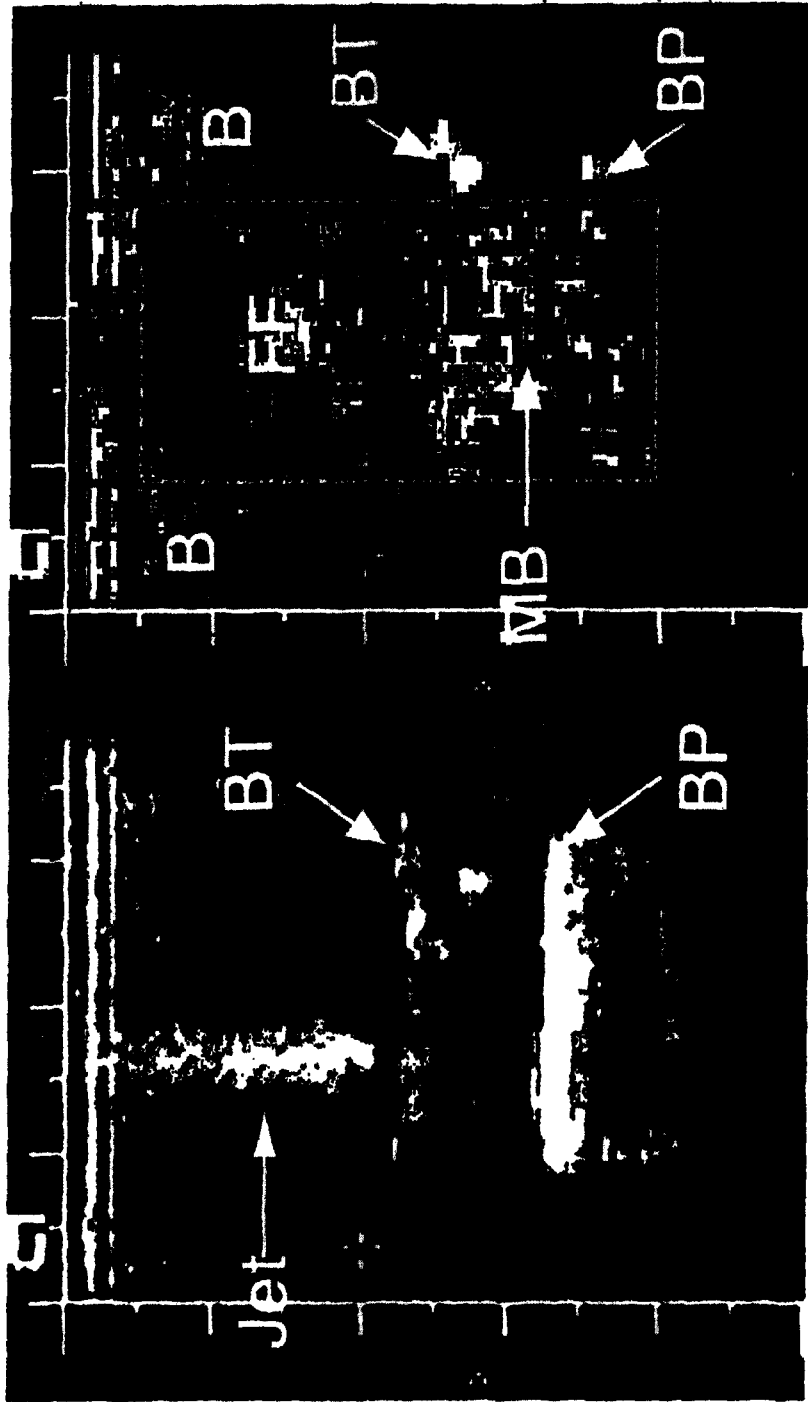


图5D

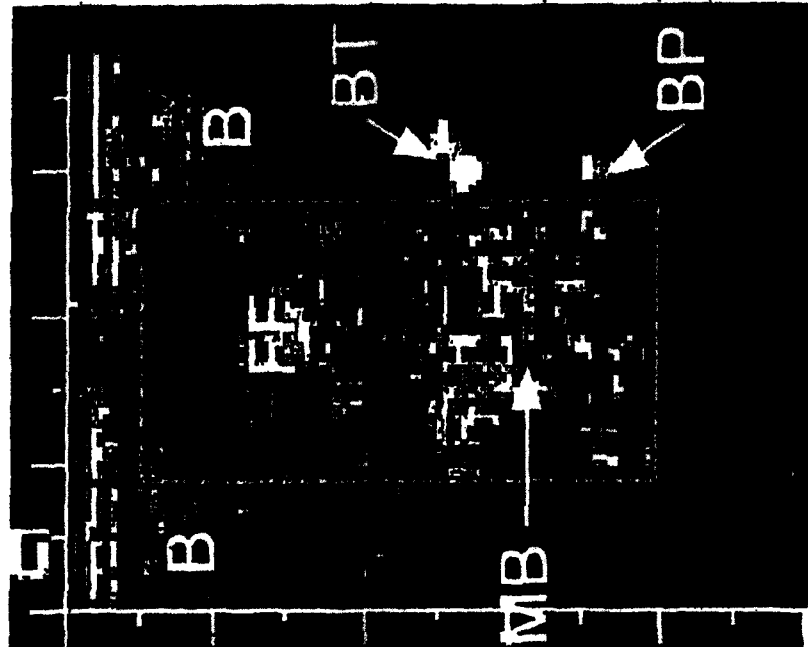


图6

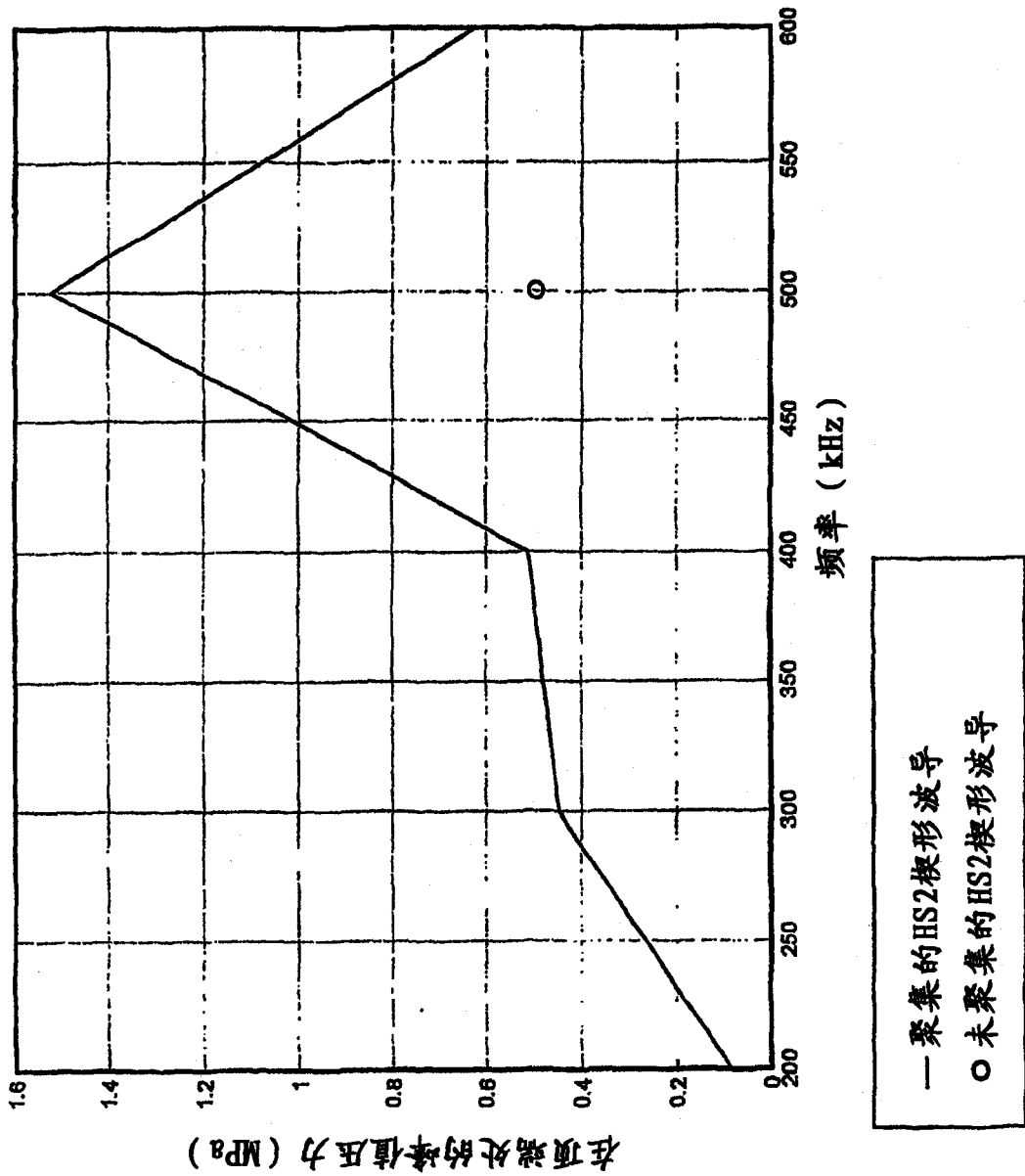


图7

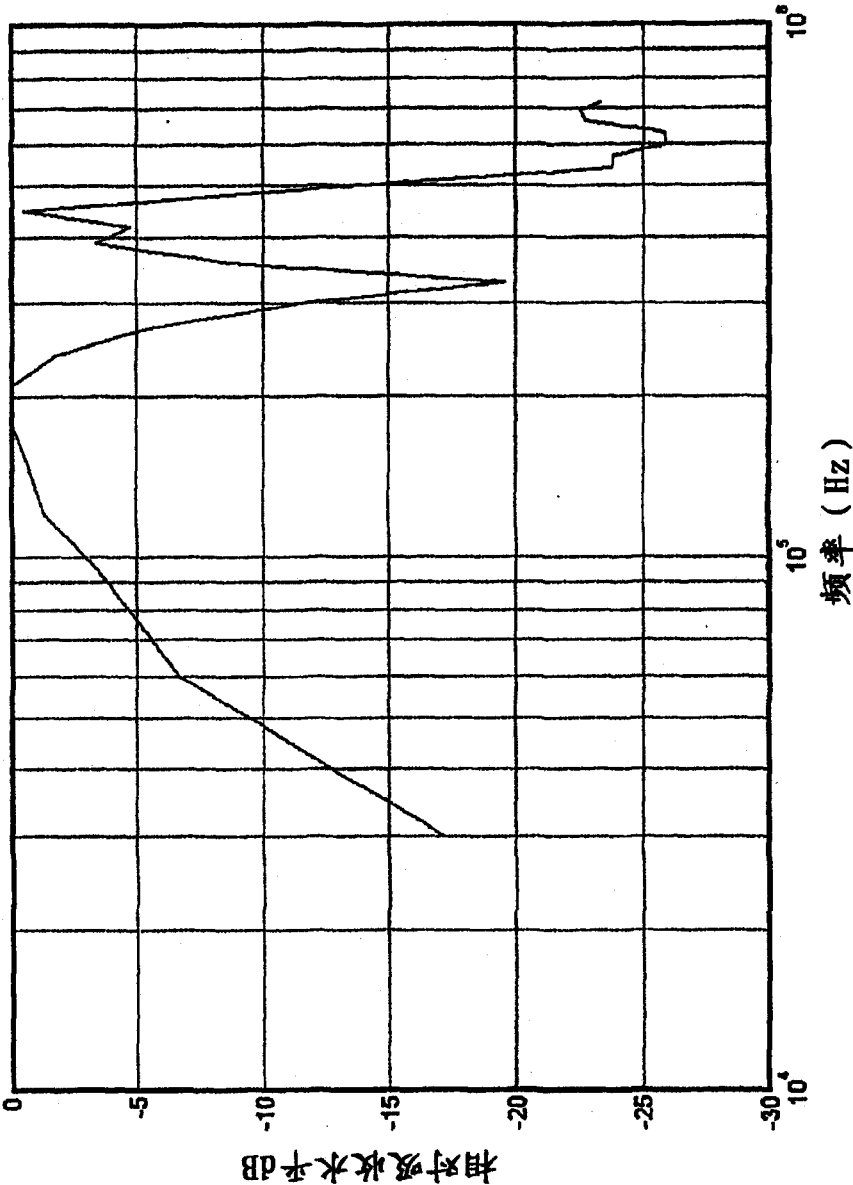
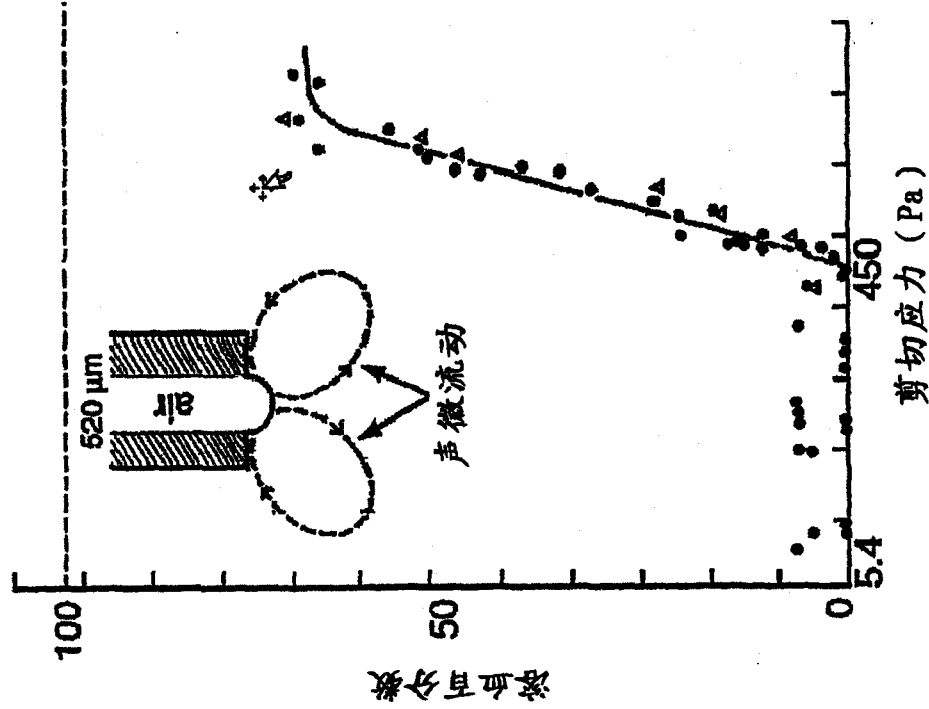
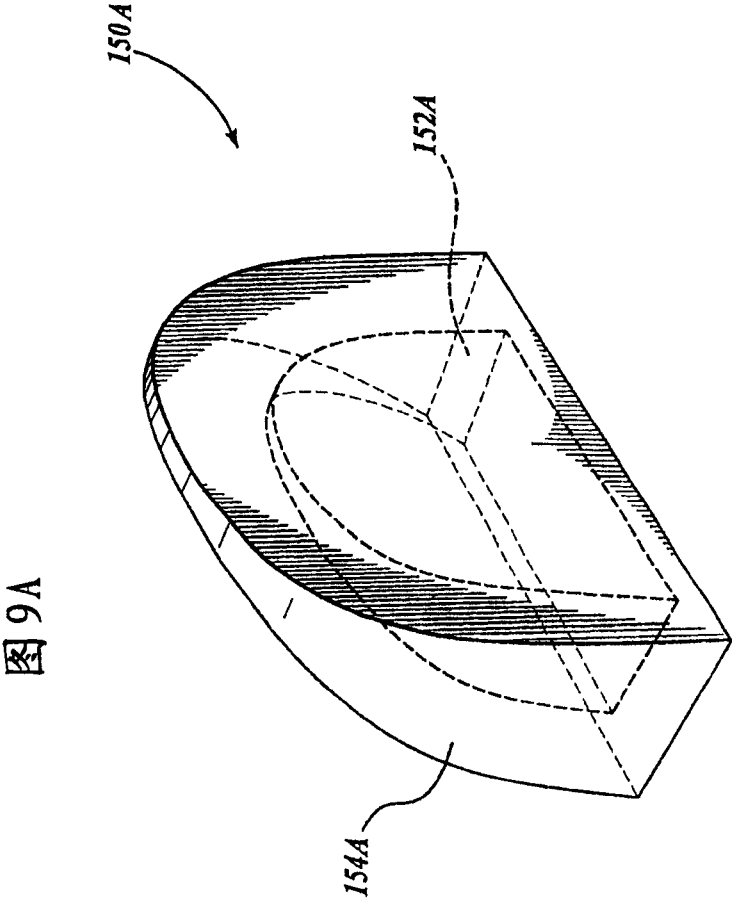


图8





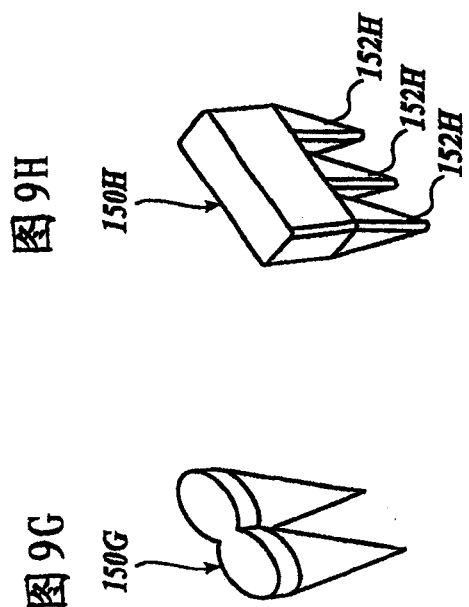
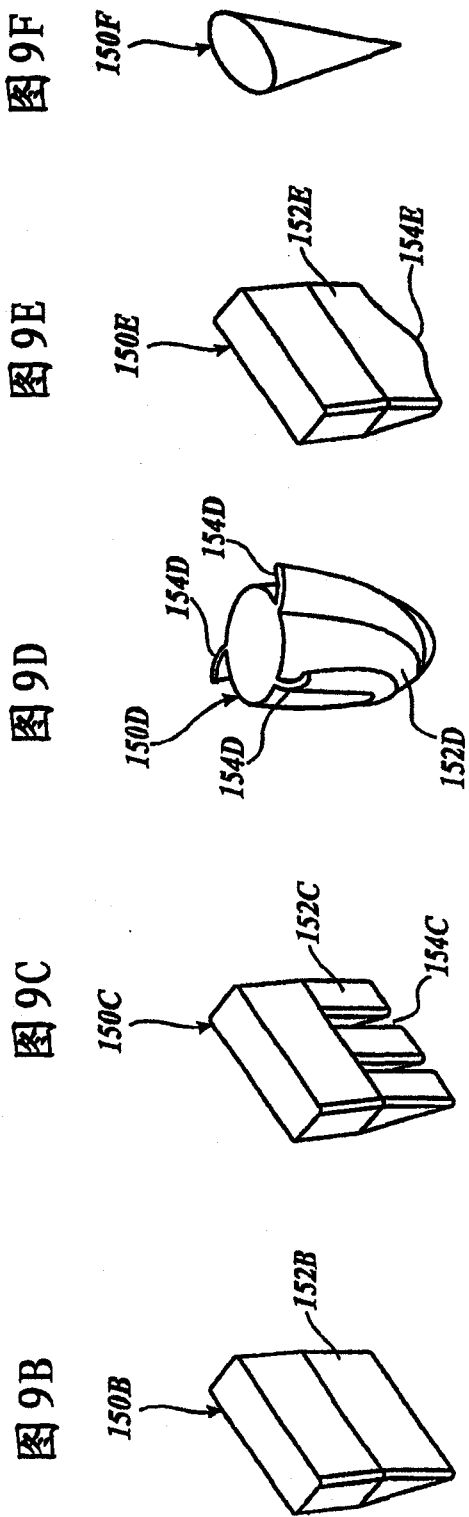


图10

