



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104146785 A

(43) 申请公布日 2014. 11. 19

(21) 申请号 201410252656. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 11. 13

A61C 7/14 (2006. 01)

C04B 35/111 (2006. 01)

(30) 优先权数据

61/114, 565 2008. 11. 14 US

(62) 分案原申请数据

200910249078. 6 2009. 11. 13

(71) 申请人 奥姆科公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 R·罗德里格斯 F·法新尼亚

A·鲁伊斯维拉 W·伍德

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 王琼

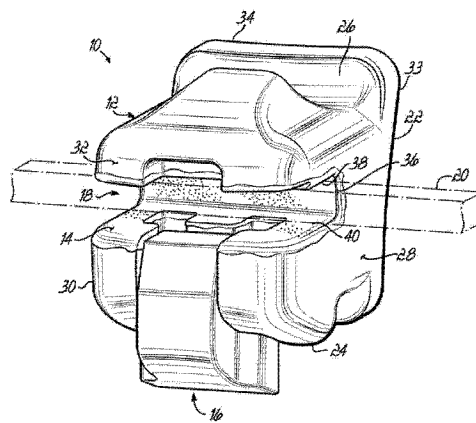
权利要求书2页 说明书13页 附图7页

(54) 发明名称

表面处理的多晶陶瓷正牙托槽及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于将弓丝 (20) 联结到牙齿上的正牙托槽 (10)。正牙托槽 (10) 包含陶瓷注射成型 (CIM) 托槽主体 (12), 所述主体包括被构造造成将弓丝 (20) 容纳在其中的弓丝槽 (18)。CIM 托槽主体 (12) 包含多晶陶瓷。氧化铝或二氧化硅涂层 (14) 连续和直接地与至少弓丝槽 (18) 的表面接触。正牙托槽 (10) 具有出乎预料的高抗扭强度。陶瓷注射成型 (CIM) 托槽主体 (12) 可包含多晶陶瓷, 所述陶瓷所具有的粒度分布的特征在于平均粒度在大于 3.4 μm 到约 6 μm 范围内, 因而正牙托槽还具有出乎预料的高抗裂韧度。一种正牙托槽 (10) 的制造方法, 包括使用陶瓷粉末注射成型制成托槽, 烧结模制托槽, 并涂覆陶瓷注射成型托槽。



1. 一种用于将弓丝与牙齿联结的正牙托槽,包含:  
陶瓷注射成型 (CIM) 托槽主体,被构造成安装在牙齿上并包括弓丝槽,所述弓丝槽被构造成将弓丝容纳在其中,所述 CIM 托槽主体包含多晶陶瓷;以及  
氧化铝或二氧化硅的第一涂层,所述第一涂层与 CIM 托槽主体的包括弓丝槽表面的至少一部分连续和直接接触。
2. 一种用于将弓丝与牙齿联结的正牙托槽,包含:  
陶瓷注射成型 (CIM) 托槽主体,被构造成安装在牙齿上并包括弓丝槽,所述弓丝槽被构造成将弓丝容纳在其中,所述 CIM 托槽主体包含多晶陶瓷;以及  
第一涂层,所述涂层基本上由氧化铝组成,其与 CIM 托槽主体的包括弓丝槽表面的至少一部分接触。
3. 如权利要求 2 所述的正牙托槽,其特征在于,所述第一涂层包含平均粒度小于多晶陶瓷平均粒度的微结构。
4. 如权利要求 3 所述的正牙托槽,其特征在于,所述多晶陶瓷是具有平均粒度在大于  $3.4\mu\text{m}$  至约  $6\mu\text{m}$  范围内的氧化铝。
5. 一种用于将弓丝与牙齿联结的正牙托槽,包括:  
陶瓷注射成型 (CIM) 托槽主体,被构造成安装在牙齿上并包括弓丝槽,所述弓丝槽被构造成将弓丝容纳在其中,所述 CIM 托槽主体包含多晶陶瓷,所述多晶陶瓷所具有的粒度分布的特征在于平均粒度在大于  $3.4\mu\text{m}$  到约  $6\mu\text{m}$  范围内;以及  
氧化铝或二氧化硅的第一涂层,所述第一涂层与 CIM 托槽主体的包括弓丝槽表面的至少一部分连续和直接接触。
6. 如权利要求 5 所述的正牙托槽,其特征在于,所述粒度分布不是对数正态分布。
7. 一种用于将弓丝与牙齿联结的正牙托槽的制造方法,包含:  
提供陶瓷粉末和粘合剂的混合物;  
将混合物注入模腔形成模制托槽主体;  
加热所述模制托槽主体以便将粘合剂基本上从所述模制托槽主体上去除;  
烧结所述模制托槽主体形成陶瓷注射成型 (CIM) 托槽主体,所述主体被构造成安装在牙齿上;  
在所述 CIM 托槽主体中形成弓丝槽,所述弓丝槽被构造成将弓丝容纳在其中;以及  
形成氧化铝或二氧化硅的涂层,所述涂层在 CIM 托槽主体的包括弓丝槽的至少一部分上与所述 CIM 托槽主体连续和直接接触。
8. 如权利要求 7 所述的方法,其特征在于,所述 CIM 托槽主体是由多晶陶瓷制成,所述多晶陶瓷所具有的粒度分布的特征在于平均粒度在大于  $3.4\mu\text{m}$  到约  $6\mu\text{m}$  范围内。
9. 如权利要求 7 所述的方法,其特征在于,在形成涂层前进一步包含:  
离子轰击所述 CIM 托槽主体的表面,以便将离子植入所述 CIM 托槽主体的表面。
10. 一种用于将弓丝与牙齿联结的正牙托槽,包括:  
陶瓷注射成型 (CIM) 托槽主体,被构造成安装在牙齿上并包括弓丝槽,所述弓丝槽被构造成将弓丝容纳在其中,所述 CIM 托槽主体包含多晶陶瓷,所述多晶陶瓷所具有的粒度分布的特征在于平均粒度在大于  $3.4\mu\text{m}$  到约  $6\mu\text{m}$  范围内;以及  
陶瓷涂层,所述陶瓷涂层与 CIM 托槽主体的包括弓丝槽表面的至少一部分连续和直接

地接触。

## 表面处理的多晶陶瓷正牙托槽及其制造方法

[0001] 本申请是申请号为 200910249078.6、申请日为 2009 年 11 月 13 日、发明名称为“表面处理的多晶陶瓷正牙托槽及其制造方法”的发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请请求享受美国专利申请序列号 No. 61/114,565 申请日的权利,发明名称为《表面处理的多晶陶瓷正牙托槽及其制造方法》(“Surface Treated Polycrystalline Ceramic Orthodontic Bracket and Method of Making Same”),申请日为 2008 年 11 月 14 日,其公开内容通过引用全文结合于此。

### 技术领域

[0004] 本发明一般涉及正牙托槽 (orthodontic bracket),特别涉及表面处理的多晶陶瓷正牙托槽。

### 背景技术

[0005] 正牙托槽是一种专用于改善患者牙齿咬合情况的正牙治疗的基本组件。在传统的正牙治疗中,整形牙医将托槽贴附于患者的牙齿上并将弓丝 (archwire) 接合进每个托槽的槽中。弓丝施加矫正压力,该压力强制没有对齐的牙齿移动到矫正的正确位置上的。矫形线 (ligature),比如小的弹性 O 形圈或细金属线,被用来将弓丝保持在每个托槽槽里。备选地,已经研究出不需要矫形线的自合式正牙托槽。不同于使用矫形线,自合式托槽依靠可移动闭锁件或滑块将弓丝限定在托槽槽里。

[0006] 传统的正牙托槽通常是用不锈钢制成的,其坚固,无吸收性,可焊接,并相对容易成形和进行机械加工。但是,使用金属正牙托槽接受正牙治疗的患者可能会由于金属托槽容易被看见而感到难为情,因为即使不仔细观察也很容易地看到患者在进行治疗,更重要的是,这并不美观。为了改善其外观,某些正牙托槽利用了由透明或半透明非金属材料制成的托槽主体,比如聚合树脂 (polymer resin) 或陶瓷。托槽透明或半透明的性质使得下面的牙齿颜色或色度可以透过托槽显现出来。基于这个原因,与金属托槽相比,透明或半透明托槽更不显眼,因而也更受欢迎。

[0007] 尽管从美观的角度上陶瓷托槽超越了金属托槽,但众所周知陶瓷托槽比金属托槽更容易破裂,金属托槽更易发生变形而非毁灭性损坏。因此,就需要一种陶瓷托槽,其对拉伸和弯曲应力具有更大抵抗性,并能克服已知陶瓷托槽的不足。

### 发明内容

[0008] 为达到这些目的,在本发明的一个实施方式中,用于将弓丝联结到牙齿上的正牙托槽包含陶瓷注射成型 (CIM) 托槽主体,所述主体被构造成安装在牙齿上并包括弓丝槽,所述弓丝槽被构造成将弓丝容纳在其中。CIM 托槽主体包含多晶陶瓷和氧化铝或二氧化硅第一涂层,所述涂层连续和直接地与 CIM 托槽主体的至少包括弓丝槽表面的一部分相接触。

[0009] 在另一个实施方式中,用于将弓丝联结到牙齿上的正牙托槽包含陶瓷注射成型(CIM)托槽主体,所述主体被构造成安装在牙齿上并包括弓丝槽,所述弓丝槽被构造成将弓丝容纳在其中。CIM托槽主体包含多晶陶瓷和第一涂层,所述涂层基本上由氧化铝组成,其与CIM托槽主体的至少包括弓丝槽表面的一部分相接触。

[0010] 在另一个实施方式中,用于将弓丝联结到牙齿上的正牙托槽包含陶瓷注射成型(CIM)托槽主体,所述主体被构造成安装在牙齿上并包括弓丝槽,所述弓丝槽被构造成将弓丝容纳在其中。CIM托槽主体包含多晶陶瓷和氧化铝或二氧化硅第一涂层,所述多晶陶瓷所具有的粒度分布的特征在于平均粒度在大于 $3.4\mu\text{m}$ 到约 $6\mu\text{m}$ 范围内,所述涂层连续和直接地与CIM托槽主体的至少包括弓丝槽表面的一部分相接触。

[0011] 在另一个实施方式中,用于将弓丝联结到牙齿上的正牙托槽的制造方法包括提供陶瓷粉末和粘合剂的混合物;将混合物注入模腔形成模制托槽主体;加热模制托槽主体以将粘合剂基本上从模制托槽主体上去除;烧结模制托槽主体形成陶瓷注射成型(CIM)托槽主体,所述主体被构造成安装在牙齿上;在CIM托槽主体中形成弓丝槽,所述槽被构造成将弓丝容纳在其中;以及形成氧化铝或二氧化硅第一涂层,所述涂层在CIM托槽主体的至少包括弓丝槽表面的一部分上方连续和直接地与CIM托槽主体相接触。

[0012] 在又一个实施方式中,用于将弓丝联结到牙齿上的正牙托槽包含陶瓷注射成型(CIM)托槽主体,所述主体被构造成安装在牙齿上并包括弓丝槽,所述弓丝槽被构造成将弓丝容纳在其中。CIM托槽主体包含多晶陶瓷和陶瓷涂层,所述多晶陶瓷所具有的粒度分布的特征在于平均粒度在大于 $3.4\mu\text{m}$ 到约 $6\mu\text{m}$ 范围内,所述陶瓷涂层连续和直接地与CIM托槽主体的包括弓丝槽的表面的至少一部分相接触。

## 附图说明

[0013] 作为本说明书的组成部分,附图画出了本发明的实施方式,与上面给出的一般说明,与下面给出的细节说明一起,起到解释本发明各方面的作用。

[0014] 图1是依照本发明一个实施方式的正牙托槽的透视图;

[0015] 图2A,2B和2C是陶瓷注射成型(CIM)托槽主体的初步形成(as-formed)的弓丝槽表面取500倍放大的电子显微图,描绘了关于陶瓷注射成型处理过程的缺陷;

[0016] 图2D是陶瓷注射成型(CIM)托槽主体的初步形成的弓丝槽表面取160倍放大的电子显微图,描绘了与陶瓷注射成型处理过程有关的多处缺陷;

[0017] 图3是依照本发明一个实施方式CIM托槽主体上多层涂层的示意图;

[0018] 图4A是CIM托槽主体表面取1000倍放大的电子显微图,描绘了依照本发明一个实施方式的CIM托槽主体表面的微结构;

[0019] 图4B是CIM托槽主体横截面的电子显微图,描绘了依照本发明一个实施方式的CIM托槽主体内部的微结构;

[0020] 图5A是依照正牙托槽抗扭强度的测量程序,固定到不锈钢球轴承(ball bearing)上的托槽的透视图;

[0021] 图5B是依照正牙托槽抗扭强度的测量程序,与扭转臂组装在一起的图5A所示的托槽/球轴承组件的透视图;

[0022] 图5C是依照正牙托槽抗扭强度的测量程序,与臂定位器组装在一起的图5B所示

的扭转臂的透视图；

[0023] 图 5D 是图 5B 所示的扭转臂与图 5C 所示的臂定位器组装在一起的侧视图，画出了它们与拉伸强度试验机 5542 压缩锤体的相对位置；

[0024] 图 5E 是臂定位器和拉伸强度试验机 5542 压缩锤体的前视图，画出了与压缩锤体中凹进对齐的扭转臂枢轴；以及

[0025] 图 6A 和 6B 是本发明实施方式暴露的断裂面取 1000 倍放大的电子显微图。

### 具体实施方式

[0026] 依照本发明一个实施方式的示例性正牙托槽 10 在图 1 中画出。正牙托槽 10 包括陶瓷注射成型 (CIM) 的托槽主体 12, 所述主体包含多晶陶瓷和涂层 14, 所述涂层是氧化铝 ( $Al_2O_3$ ), 二氧化硅 ( $SiO_2$ ), 氧化锆 ( $ZrO_2$ ) 或其他陶瓷, 比如其他氧化物, 氮化物, 或硼化物, 该涂层覆盖了 CIM 托槽主体 12 的至少一部分。发明人发现涂层 14 出乎预料地改进了 CIM 托槽主体 12 的抗扭强度并抵消了与陶瓷注射成型处理过程相关的独特表面缺陷所造成的影响, 这些缺陷通常在其他制造方法中并未遇到。涂层 14 在下面进行更详细介绍。

[0027] 正牙托槽 10 还可包括联结到 CIM 托槽主体 12 的可移动闭合部件。该可移动闭合部件可包括绑缚 (ligating) 滑块 16 或其他与 CIM 托槽主体 12 联结的机械闭锁件。绑缚滑块 16 可在图 1 所示的开放位置和关闭位置 (未示出) 之间移动。尽管在图 1 中描绘了自合式托槽 (self-ligating bracket), 本发明的实施方式不限于自合式托槽, 还同样适于各种其他类型的正牙托槽, 包括正牙治疗领域已知的绑翼式 (tiewing-type) 正牙托槽 (也就是需要缚线的那些托槽)。

[0028] 参见图 1, CIM 托槽主体 12 包括形成于其中并适于容纳弓丝 20 (用虚线表示) 的弓丝槽 18, 其用于在将 CIM 托槽主体 12 固定到患者牙齿时将矫正力作用到牙齿上。当被安装到患者上颌牙齿的唇面上时, CIM 托槽主体 12 具有舌侧 22, 咬合侧 24, 牙龈侧 26, 中间 (mesial) 侧 28, 远侧 30, 和唇侧 32。CIM 托槽主体 12 的舌侧 22 被构造为以任何传统方式固定在牙齿上, 比如通过适当的正牙黏固粉或粘合剂或通过围绕在相邻牙齿周围的绑带 (未示出) 进行固定。舌侧 22 可进一步具有垫 33, 所述垫限定出适于固定到牙齿表面的接合基部 34。CIM 托槽主体 12 包括基部表面 36 和一对相对的槽表面 38、40, 它们从基部表面 36 向唇突出, 共同限定出弓丝槽 18, 沿着中间向远端的方向从中间侧 28 延伸到远侧 30。

[0029] 相应地, 参见图 1, 在本发明的一个实施方式中, 涂层 14 至少覆盖弓丝槽 18 的表面 36, 38 和 40。然而, 涂层 14 也可设置在 CIM 托槽主体 12 的其他表面上, 比如侧面 22, 24, 26, 28, 30 和 32 中的任一个或多个。例如, 涂层 14 可被设置在与弓丝 20 接触的表面, 放置在 CIM 托槽主体 12 的已知从注射成型处理过程中会发生缺陷的区域, 和 / 或在使用或安装过程中受到拉伸应力的表面上。备选地, 涂层 14 可以充分地覆盖 CIM 托槽主体 12 的全部可见表面。能够理解到涂层 14 的设置取决于用来形成涂层 14 的处理过程。

[0030] 如上所提到的, 本领域公知 CIM 托槽主体 12 由陶瓷注射成型处理过程形成, 并可用陶瓷注射模具制成, 如日本东京的 Tosoh Corporation 和加利福尼亚 Costa Mesa 的 Ceradyne Inc.。例如, CIM 托槽主体 12 可以通过将陶瓷粉末如氧化铝粉末和一种或多种粘合剂混合形成膏体或浓浆来制造。可以调配粘合剂 (例如, 热塑性或热固性聚合物或蜡) 以便在注入和灼烧 (burnout) 过程中促进膏体流动, 或在随后的去粘合或预烧结操作过程

中便于去除。膏体在注入之前可被加热到 100°C 至 200°C 之间。可以使用高压液压机将加热的膏体在高达 100MPa 的压力下注入模具腔,但是,根据膏体粘度、粉末类型及其他处理因素也可用到更高或更低的压力。模具腔至少部分地与 CIM 托槽主体 12 的形状相对应,在随后的烧结操作过程中,所述主体形状会考虑到收缩(如果有的话)而进行调节。另外,弓丝槽 18 可完全由模具腔形成、或部分形成,或不形成(unformed)。

[0031] 在注射成型之后,模制的 CIM 托槽主体受热,达到本领域公知去除粘合剂的温度。例如,对于氧化铝来说,粘合剂的去除发生在 200°C 至 700°C 之间的温度。在去除粘合剂之后,模制的 CIM 托槽主体通过继续加热而预烧结。高纯度氧化铝(约 99.95wt% 的氧化铝)的预烧结发生在 900°C 至 1200°C 之间的温度下。预烧结之后,经过预烧结的 CIM 托槽主体被烧结。烧结温度可在 1400°C 至 1800°C 之间,这取决于,例如,起始粉末的颗粒尺寸分布,其他处理因素,和多晶陶瓷的粒度分布,这将在下面进行详细解释。在另一实施方式中,预烧结注射成型 CIM 主体在 1300°C 至 1600°C 之间的温度下受到压力为 68MPa 到 207MPa 的高温等静压(HIPed),这是本领域所公知的。能够理解到高温等静压法(HIPing)可用于烧结操作以外的过程中。烧结和/或高温等静压法(HIPing)之后,CIM 托槽主体 12 包含以粒度分布为特征的多晶陶瓷。在一个实施方式中,多晶陶瓷包含氧化铝,其具有的粒度分布的特征在于其平均粒度在大于 3.4 μm 到约 6 μm 范围内。如下所述,具有在此范围内平均粒度的多晶陶瓷表现出了出乎预料的高抗裂韧度。

[0032] 在一个实施方式中,在烧结和/或高温等静压法之后,CIM 托槽主体 12 被退火处理,也就是被加热到一定温度然后保持一段足以进一步更改粒度分布的时间。对粒度分布的更改可发生在约 1300°C 或更高的温度下。然而,温度高于或低于 1300°C 都可以更改粒度分布,这取决于 CIM 托槽主体 12 保持在退火温度的时间长短。例如,CIM 托槽主体 12 可被保持在约 1300°C 约 1 小时的时间。另外,托槽主体可在各种气氛中受热,例如包括氢气(H<sub>2</sub>),氮气(N<sub>2</sub>),和氩气(Ar)。

[0033] 在上述操作之后,在弓丝槽 18 仅部分由注射成型处理过程形成或未由注射成型形成的情况下,就需要研磨操作在 CIM 托槽主体 12 中完全形成弓丝槽 18。例如但不限于该例,弓丝槽 18 由 240/320 网格(mesh)的金刚石掺结砂轮研磨。

[0034] 尽管陶瓷注射成型是形成复杂形状如正牙托槽的一种经济的处理方法,它也在陶瓷粉末形成操作中造成了独特的缺陷。产生缺陷的原因有搅拌不足,注入过程中对压力或温度的控制不足,模型设计,或操作磨损造成的模型缺陷等。与陶瓷注射成型相关的表面缺陷的例子在图 2A, 2B, 2C, 和 2D 中画出。上述缺陷包括但不限于 CIM 托槽主体 12 中的局部粉末/粘合剂密度变化,这会造成表面瑕疵,如在粘合剂多的区域出现浮泡(blister)。浮泡经常会在粘合剂灼烧操作过程中爆裂而留下表面缺陷,如图 2A 所示。另外的例子是,图 2B 画出了具有多处缺陷的弓丝槽表面的底边缘。相似地,图 2C 画出了弓丝槽中的其他缺陷,而取较低放大倍数的图 2D 画出了在弓丝槽表面中缺陷众多的状况。其他缺陷包括裂缝、孔、或裂缝和孔。这些缺陷可能是由于工具磨损、粘合剂和模型表面粘结、或浮泡等所造成的,这里仅指出一些。有时,粉末/粘合剂密度改变会导致不均匀的区域,所述区域会在 CIM 托槽主体 12 中产生残余应力,所述应力随后通过产生微裂纹的方式释放。

[0035] 当缺陷发生在弓丝槽 18 其中或周围时,如图 2A-2D 所示,或发生在高拉伸应力区时,缺陷的存在就特别成问题。本领域技术人员能理解到为了矫正牙齿不齐的问题,弓丝 20

可向 CIM 托槽主体 12 施加扭矩以促使牙齿到达其正牙正确的位置。弓丝 20 的扭矩在正牙托槽 10 中形成拉伸应力。该拉伸应力由于上述缺陷的存在而被放大。如果拉伸应力在被任意单个缺陷放大时超过了陶瓷托槽的强度,陶瓷托槽就会发生破裂。典型地,陶瓷托槽会在远低于根据陶瓷材料理论强度所预测出的应力等级时发生损坏。

[0036] 为了解决与通过陶瓷注射成型制成的托槽主体特定相关的问题,发明人发现在 CIM 托槽主体 12 的一部分上,包括在弓丝槽 18 的表面 36、38、和 40 上施加涂层 14 能够出乎预料地改进正牙托槽 10 的抗扭强度。特别地,本发明的正牙托槽 10 的特征在于比相同设计但没有涂层 14 的托槽主体具有更高的抗扭强度。例如,仅作为例子,抗扭强度比生坯 (as-molded) 托槽主体可至少提高近似 5%;在进一步的例子中,抗扭强度可至少提高近似 20%;并且,在进一步的例子中可至少提高近似 60%。有利地,正牙托槽 10 在处理、安装、或更重要地在临床使用过程中都不容易发生损坏。从而患者吞下或吸入破裂托槽的风险就较小;患者要容忍的托槽移位更少,如果有的话;并且正牙治疗也进行得更快。此外,正牙托槽 10 外形美观,从而患者在治疗过程中感觉更自然。

[0037] 在一个实施方式中,涂层 14 是非晶态的 (amorphous) (非晶态材料缺乏长程有序的原子结构并且没有清晰的 x 线衍射峰)。在另一实施方式中,与非晶态不同,涂层 14 包含纳米晶体 (nanocrystal),其横向测量仅为二或三个晶胞,但大体在任一维度都小于 100nm。在一个实施方式中,涂层 14 包含晶体,从而涂层 14 的微结构比 CIM 托槽主体 12 的微结构更精细。例如,涂层 14 中晶体的平均尺寸小于 CIM 托槽主体 12 的平均粒度。在一个实施方式中,涂层 14 包含高纯度氧化铝或二氧化硅。氧化铝或二氧化硅晶体或纳米晶体不被包含在另一种材料基体如玻璃基体中,哪怕是一部分。相反地,纳米晶体形式或非晶体形式的氧化铝或二氧化硅连续且直接地与 CIM 托槽主体 12 相连通。另外,在另一个实施方式中,氧化铝涂层 14 至少是约 87.5wt. % 的氧化铝。在进一步的例子中,氧化铝至少是约 99wt. % 的氧化铝。在又另一例子中,氧化铝至少是约 99.5wt. % 的氧化铝。在一个实施方式中,涂层 14 基本由氧化铝组成。此处用到的“基本由……组成”是指不故意向涂层 14 中添加其他成分。然而,可以预见到,在原料中或加工过程中会引入其他成分的杂质。

[0038] 在一个实施方式中,涂层 14 可以是通过气相沉积涂层 14 所形成的氧化铝或二氧化硅薄膜。气相沉积涂层可通过本领域公知的膜沉积技术形成,比如物理气相沉积 (PVD) 或化学气相沉积 (CVD),但是其他膜沉积技术也同样适用。

[0039] 涂层 14 的厚度从几个埃 (例如,氧化铝或二氧化硅的二或三个原始晶胞厚) 到约  $15\mu\text{m}$ , 或可能是其他不减损 CIM 托槽主体 12 外观的同时可提供改进抗扭强度的厚度。例如,考虑到 CIM 托槽主体 12 表面粗糙度,涂层 14 可具有生成连续涂层的最小厚度。具体来说,如果 CIM 托槽主体 12 的表面粗糙度是  $0.1\mu\text{m Ra}$ , 那么涂层厚度平均可为约  $0.1\mu\text{m}$  厚或略厚一些,以便在 CIM 托槽主体 12 表面上形成连续涂层。在进一步的例子中,涂层厚度可在约  $1\mu\text{m}$  至约  $2\mu\text{m}$  之间,而在另一实施方式中,涂层 14 约为  $1.5\mu\text{m}$  厚。

[0040] 参见图 3,在另一实施方式中,在涂层 14 上形成了额外的涂层从而在 CIM 托槽主体 12 上形成了多层涂层 42。例如,第二涂层 44 可通过与上述用来形成涂层 14 相似的方法形成在涂层 14 的至少一部分上。在图 3 所示的一个实施方式中,第二涂层 44 与涂层 14 连续且直接相连通。第二涂层 44 可以是贴附于涂层 14 上的陶瓷,如氧化铝,另一种透明氧化物,氮化物或硼化物。备选地,第二涂层 44 可以是本身不透明或半透明的材料,但其厚度



可以非常薄足以使得包含第二涂层 44 的多层涂层 42 容易地成为透明或半透明。第二涂层 44 的范围从几个埃厚到约  $15\ \mu\text{m}$  厚。在进一步的例子中,第二涂层 44 的厚度可在约  $1\ \mu\text{m}$  至约  $2\ \mu\text{m}$  之间,或,在又另一例子中,约  $1.5\ \mu\text{m}$  厚。

[0041] 如图 3 所示,在另一实施方式中,第三涂层 46 可被形成在第二涂层 44 的至少一部分上。第三涂层 46 可以是与第二涂层 44 或涂层 14 相同的材料,或者第三涂层 46 可以是贴附于第二涂层 44 以及涂层 14 和 CIM 托槽主体 12 未被第二涂层 44 所覆盖的任意部分上的不同陶瓷材料。与具有基本相同厚度不同(如图 3 所示),各个涂层 14,44,46 也可具有不同的厚度。多层涂层 42 整体上是透明或半透明的,从而使得托槽的美观特性不会被多层涂层 42 所损害。尽管多层涂层 42 是画出包含三层,本领域技术人员能够理解到依照在此介绍的原理还可增添额外的层。

[0042] 如图 3 所示,形成多层涂层 42 的额外层可通过例如转动 CIM 托槽主体 12 的方式实现,所述主体具有从一个涂层处理过程所得到的任意在先加上的涂层并将进入一个或多个额外涂层处理过程的。备选地,多层涂层 42 可通过脉冲调节或循环运行涂层处理过程的电源而形成,从而形成一个或多个额外的离散层。

[0043] 在本发明的另一实施方式中,CIM 托槽主体 12 表面的一部分在涂层之前被去除。例如,去除的表面部分包括 CIM 托槽主体 12 的所有可见表面或可包括弓丝槽内的表面。经确认,在对 CIM 托槽主体 12 施加涂层之前从 CIM 托槽主体 12 上去除已形成的表面缺陷将会进一步增强抗扭强度。抗扭强度比生坯(as-molded)托槽主体可至少提高近似 5%;在进一步的例子中,抗扭强度可至少提高近似 20%;并且,在进一步的例子中可至少提高近似 60%。去除的深度要足以去除与上述注射成型和其他后续处理过程相关的缺陷。在一个实施方式中,在进行涂层之前去除了厚达约  $15\ \mu\text{m}$  的 CIM 托槽主体 12 表面。去除表面的一部分可包括研磨,使用等离子源蚀刻表面,使用酸蚀刻表面(例如,磷酸,硫酸,或其他能够蚀刻陶瓷材料的酸),离子铣削(ion milling)表面,或激光熔蚀表面,或它们的组合。

[0044] 在又另一实施方式中,CIM 托槽主体 12 表面可进行离子轰击表面处理。离子轰击发生在去除一部分 CIM 托槽主体 12 表面之后或涂覆生坯表面之前。离子轰击可包括金属离子轰击,以便将离子植入 CIM 托槽主体 12 表面或可包括在惰性气体离子轰击之后的混合金属离子轰击。经确认,经由一个或多个将离子植入表面的在前处理过程将会使得 CIM 托槽主体 12 表面具有压缩残余应力。可观测到抗扭强度比生坯托槽主体增加了至少近似 5%;在进一步的例子中,抗扭强度可至少提高近似 20%;并且,在进一步的例子中可比生坯托槽主体增加了至少近似 60%。在不约束于理论的情况下参见图 1,发明人相信氧化铝或二氧化硅涂层 14 出乎预料地改进了 CIM 托槽主体 12 的平均抗扭强度,这是因为涂层 14 减小了弓丝 20 和弓丝槽 18 之间的摩擦并防止了弓丝 20 在任意单个位置或沿弓丝槽 18 内的直线磨蚀或戳进(dig) CIM 托槽主体 12 中。这最大程度地减小了在 CIM 托槽主体 12 中诱发微裂纹的可能性。进一步,涂层 14 可防止 CIM 托槽主体 12 在受到拉伸负荷时其表面裂缝(例如,在图 2A-2D 中所示的那些)张开。涂层 14 还可以在 CIM 托槽主体 12 表面中形成压缩应力。因此,弓丝 20 扭矩所生成的拉伸应力必须首先要克服在表面中感生的压缩应力,然后拉伸净应力才会施加在 CIM 托槽主体 12 的表面中。

[0045] 有时,应力会被转移到涂层 14 上,从而形成的裂缝更可能会形成在涂层 14 的表面而不是形成在 CIM 托槽主体 12 内。在涂层 14 表面起始的裂缝被认为行进到涂层 14 和 CIM

托槽主体 12 之间的界面处,在那里它们发生偏离。通过偏离裂缝,裂缝长度必定会增加。通过增加裂缝长度,裂缝传播进入 CIM 托槽主体 12 中所需的拉伸应力也增加了,并且因此,改进了抗扭强度。参见图 3,如果使用了多层涂层,裂缝传播路径 48 将被进一步延长,不仅由于每层的厚度,还由于所示裂缝沿每层之间界面传播的趋势。

[0046] 为了帮助对本发明更完整的理解,提供了接下来的非限定性实例。

[0047] 实例

[0048] 两个不同自合式托槽设计(分别是模型 A 和模型 C)的托槽样品是从日本东京的 Tosoh 公司购买的。两种不同的多晶氧化铝化合物被用来模制模型 A 和模型 C 托槽。Tosoh 公司的一种氧化铝化合物称作 PXA-800-A(此后称为“#1 氧化铝化合物”),而另一种称作 PXA-801-A(此后称为“#2 氧化铝化合物”)。两种氧化铝化合物之间的已知差异在于在陶瓷注射成型处理过程中所使用的粘合剂/粉末比。#2 氧化铝化合物具有比 #1 氧化铝化合物更多的粘合剂。除了指定形成托槽的氧化铝化合物(也就是 #1 氧化铝化合物或 #2 氧化铝化合物)之外,托槽微结构的期望平均粒度也是指定的。例如,仅作为实施例而不起限定作用,从 Tosoh 收到的 CIM 托槽主体的外表面微结构在图 4A 中表示出来,而 CIM 托槽主体的内部微结构在图 4B 中表示出来。已收到的托槽的一部分受到如下所述进一步的表面处理并因而分组。每个托槽的抗扭强度测量如下。

[0049] 参见图 5A,每个样品托槽 50,经表面处理之后,如果有的话,被各自用粘结剂(例如,Loctite® 480,P/N48040,Henkel Loctite Corporation,Rocky Hill,Connecticut)附加在一个半英寸钢珠支撑件(bearing)52 上(钢珠表面在附加之前被蚀刻)。支撑件 52 和样品托槽 50 的组件被用加速器(例如,Loctite® 712)喷射到完全将粘结剂固化。矩形弓丝 54(例如,0.018 英寸乘 0.025 英寸的不锈钢弓丝,Ormco Part No.254-1825,或者 0.0215 英寸乘 0.028 英寸的不锈钢弓丝,Ormco Part No.254-1528)被切成 1 英寸的长度以便与托槽一起使用。不同尺寸大小的其他弓丝也被用到,如下所述。每个托槽的自合式特征被去除。切成适当大小的弓丝被插入每个样品托槽 50 的弓丝槽中。每个弓丝 54 通过弹性 O 形圈绑缚在托槽上,所述弹性 O 形圈为 Ormco 公司(Ormco Part No.640-0074)的 Molded Power“O”(0.110 英寸),其使用了弹性定位器(Ormco Part No.801-0039)防止弓丝和弓丝槽之间出现松配合。换句话说,所选弓丝要紧密地配合又位于弓丝槽内。

[0050] 参见图 5A 和 5B,附加在球支撑件 52 上的样品托槽 50 的缚式弓丝 54 与扭转臂 56 接合,用于在 Instron5542 上进行抗扭强度测量。如图 5A 所示,托槽 50 的牙龈侧定位成面向上方的形式与扭转臂 56 联结。扭转臂 56,如图 5B 和 5C 所示,是带有叉形末端 57 的钢杆,该叉形末端具有在垂直方向上用做围绕托槽 50 的间隙的凹口,和在水平方向上使其能够与从样品托槽 50 每个边上突出的弓丝 54 接合的凹口。为了适配不同弓丝尺寸,会用到许多扭转臂,每个都具有不同的水平凹口尺寸。叉形末端 57 中的水平凹口尺寸设定为与一种弓丝尺寸相配(例如,与 0.019 英寸乘 0.025 英寸,0.021 英寸乘 0.028 英寸,或 0.021 英寸乘 0.025 英寸的弓丝相配)。然而扭转臂的其他尺寸大小保持不变。每个扭转臂 56 从叉形末端 57 到施加负载的扭转臂枢轴 62 有近似 1.6 英寸(4.06cm)长。除了长度之外,叉形末端 57 部分到垂直凹口的每一侧为 0.150 英寸宽,而用做围绕托槽 50 的间隙的垂直凹口测量为 0.200 英寸宽乘 0.150 英寸深。参见图 5C,扭转臂 56 被夹持在臂定位器 60 的夹持槽中,所述定位器与 Instron5542 共同作用。球支撑件 52 被钳夹在一个半英寸 5C 的夹

头（未画出）中来水平地夹持扭转臂 56 和臂定位器 60，并垂直于 Instron5542 的压缩锤头（ram）58 所施加负荷的方向，如图 5D 所示。参见图 5E，臂定位器 60 在形成于压缩锤头 58 末端中的凹进 64 内与扭转臂枢轴 62 对齐。Instron5542 具有  $\pm 100\text{N}$  的静载荷单元并使用 Bluehill2 软件版本 2.13 操作。

[0051] 每个样品的抗扭强度通过用压缩锤头 58 以  $20\text{mm}/\text{min}$  的速率移动扭转臂 / 臂定位器（在扭转臂枢轴 62 处）直到样品托槽损坏为止的方式进行测量。每组的平均抗扭强度是从依照在前程序损坏时的每个托槽负荷计算得出的。

[0052] 表 1- 模型 A 托槽

[0053]

组	平均抗扭强度 (N)	测试托槽数 量	CIM 托槽主 体材料	表面预备
A	$1.27 \pm 0.12$	5	氧化铝 <sup>1</sup>	生坯
B	$1.30 \pm 0.09$	4	氧化铝 <sup>1</sup>	硼酸钠溶液 蚀刻
C	$1.36 \pm 0.17$	6	氧化铝 <sup>1</sup>	PVD, RF 溅射 氧化铝涂覆
D	$1.11 \pm 0.06$	5	氧化铝 <sup>2</sup>	生坯
E	$1.39 \pm 0.20$	5	氧化铝 <sup>2</sup>	240/320 粗 砂金刚石抛 光
F	$1.64 \pm 0.12$	2	氧化铝 <sup>2</sup>	PVD, RF 溅射 氧化铝涂覆
G	$1.57 \pm 0.09$	5	氧化铝 <sup>1</sup>	3 个氧化铝 涂层

[0054]

[0055] 注：

[0056] <sup>1</sup> 多晶氧化铝来自 #1 氧化铝化合物

[0057] <sup>2</sup> 多晶氧化铝来自 #2 氧化铝化合物

[0058] 表格 1 的样品托槽是所有指定为“模型 A”的自合式托槽设计。对于所有托槽，弓丝槽的转角半径为 0.005 英寸。

[0059] 托槽组 A, B, 和 C 具有平坦基部设计并由 #1 氧化铝化合物制成。用来形成托槽组

A, B, 和 C 的模型是未磨光的。绑缚于托槽组 A, B, 和 C 上的弓丝由不锈钢制成并具有 0.021 英寸乘 0.028 英寸的横截面。

[0060] 托槽组 D, E, 和 F 具有卵形基部设计并由 #2 氧化铝化合物制成。形成托槽组 D, E, 和 F 弓丝槽的模型的一部分是磨光的。托槽组 E 中使用的弓丝由不锈钢制成并具有 0.021 英寸乘 0.028 英寸的横截面。托槽组 D, F, 和 G 中使用的弓丝也是由不锈钢制成的, 但其尺寸为 0.019 英寸乘 0.025 英寸。

[0061] 如表 1 所注明的, A 和 D 组的托槽在生坯条件下被检测, 那就是说, 它们未受到任何后续的表面机械加工, 蚀刻, 或涂层处理过程。

[0062] B 组的样品托槽用四硼酸钠过饱和溶液蚀刻过。用四硼酸钠过饱和溶液蚀刻的样品托槽被淹没在溶液中至少 30 秒至几分钟。然后, 样品托槽以约 15°C / 分钟加热到约 850°C 到约 900°C 之间的温度并保持在那个温度范围中约 15 至 30 分钟。

[0063] C 和 F 组的样品托槽被 PVD 射频 (RF) 溅射氧化铝涂覆, 该涂层涂覆在托槽的包括弓丝槽的可见表面上, 具有约 1  $\mu\text{m}$  至约 2  $\mu\text{m}$  的厚度。对某些涂层进行的 X 线衍射分析不能确定出涂层是非晶态的还是晶体的。根据 X 线衍射数据, 某些涂层是非晶态的, 而另一些展现出一些结晶性, 这表明涂层可能是边界线晶体 (borderline crystalline) 或同时具有非晶态区和结晶区。应当注意到 x 线衍射峰相对较宽, 就像非晶态材料那样, 表明涂层可能含有非常精细的晶粒。

[0064] E 组的样品托槽用 240/320 粗砂金刚石砂轮抛光去除托槽的生坯表面, 去除的深度要达到足以去除与上述注射成型和烧结处理过程相关的缺陷。

[0065] G 组的样品托槽由三层 PVD RF 喷溅氧化铝涂覆, 每层具有近似相等的厚度 (每个厚约 1  $\mu\text{m}$  至约 2  $\mu\text{m}$ )。

[0066] 如表 1 中的数据所示, 对于 #1 氧化铝化合物来说, 依照本发明一个实施方式涂覆氧化铝的样品托槽的抗扭强度表现出约为 1.36N 的平均抗扭强度 (C 组), 其表现出平均抗扭强度的显著改进, 也就是与生坯托槽 (A 组) 的约 1.27N 相比, 其平均抗扭强度增加了约 7.1%, 与蚀刻托槽 (B 组) 的约 1.30N 相比, 增加了约 4.6%。

[0067] 在进一步的例子中, 对于 #2 氧化铝化合物来说, 依照本发明一个实施方式的样品托槽 (F 组) 具有约为 1.64N 的平均抗扭强度, 其抗扭强度比 D 组的生坯托槽和 E 组的金刚石抛光托槽均有改进, 其中 D 组的平均抗扭强度约为 1.11N, 而 E 组的平均抗扭强度约为 1.39N。因此, 依照本发明一个实施方式的涂覆托槽 (F 组) 的特征在于平均抗扭强度出乎预料地比生坯托槽 (D 组) 增加了至少近似 47.7%, 且比金刚石抛光托槽 (E 组) 增加了至少近似 18.0%。

[0068] 表 2- 模型 C 托槽

[0069]

[0070]

组	平均抗扭强度 (N)	测试托槽数	CIM 托槽主	表面预备
		量	体材料	
H	1.4 ±0.10	5	氧化铝 <sup>1</sup>	生坯
I	1.84±0.19	5	氧化铝 <sup>1</sup>	PVD, RF 喷溅 氧化铝
J	1.32±0.09	4	氧化铝 <sup>1</sup>	硼酸钠溶液 蚀刻
K	1.29±0.08	5	氧化铝 <sup>2</sup>	生坯
L	2.06±0.41	5	氧化铝 <sup>2</sup>	PVD, RF 喷溅 氧化铝涂覆
M	1.28±0.07	5	氧化铝 <sup>2</sup>	硼酸钠溶液 蚀刻

[0071] 注：

[0072] <sup>1</sup> 多晶氧化铝来自 #1 氧化铝化合物

[0073] <sup>2</sup> 多晶氧化铝来自 #2 氧化铝化合物

[0074] 现在参见表格 2, 对不同自合式托槽设计 (模型 C) 的抗扭强度也进行了测量。所有的样品托槽都具有平坦的基部设计, 并且用来形成每个托槽的模型都在制作托槽之前磨光过。弓丝槽转角半径是初始形成为 0.005 英寸。

[0075] H, I, 和 J 组托槽是用 #1 氧化铝化合物陶瓷注射成型而成。用于 H, I, 和 J 组托槽的弓丝由不锈钢制成, 每个都具有 0.021 英寸乘 0.025 英寸的横截面。

[0076] K, L, 和 M 组托槽是用 #2 氧化铝化合物陶瓷注射成型而成。用于 K, L, 和 M 组托槽的弓丝由不锈钢制成, 每个都具有 0.019 英寸乘 0.025 英寸的横截面。

[0077] 表格 2 提供了样品在生坯条件下, 用过饱和硼酸钠溶液蚀刻之后, 以及用氧化铝涂覆之后测量得到的平均抗扭强度, 如上面的表格 1 共同介绍的。

[0078] 对于用 #1 氧化铝化合物制作的模型 C 托槽设计来说, 依照本发明一个实施方式的氧化铝涂层托槽 (I 组) 与生坯托槽 (H 组) 相比, 其对于平均抗扭强度的改进至少近似为 31.4%。另外, 氧化铝涂覆的托槽 (I 组) 比蚀刻托槽 (J 组) 表现出在抗扭强度上的改进至少近似为 39.4%。

[0079] 相似地, 对于用 #2 氧化铝化合物制作的托槽来说, 依照本发明一个实施方式的氧化铝涂层托槽 (L 组) 所具有的平均抗扭强度比 K 组生坯托槽的平均抗扭强度至少大近似 59.7%。L 组氧化铝涂覆托槽的平均抗扭强度比 M 组蚀刻托槽至少大近似 60.9%。

[0080] 如上所述, 正牙托槽 10 相对于生坯托槽、金刚石抛光托槽、及蚀刻托槽来说抗扭

强度的改进是出乎预料的。可以相信这种出乎预料的改进部分是由于裂缝在涂层 /CIM 托槽主体界面发生偏离,这导致了裂缝长度的增加。图 6A 画出了正牙托槽 10 一个实施方式的破裂表面。图 6A 中所示的正牙托槽 10 是表格 2- 模型 C 托槽的 I 组中的托槽。如图 6A 所示,在涂层 14 中起始的裂缝似乎发生在从穿过 CIM 托槽主体 12 的破裂平面偏移开的位置(在图 6A 中用箭头 66 表示)。因此,可以确信裂缝在涂层 /CIM 托槽主体界面发生偏离,从而使得裂缝在进发穿过 CIM 托槽主体 12 之前沿着界面传播到高应力区域,所述高应力区位于涂层 14 和 CIM 托槽主体 12 之间的界面处。图 6B 画出了正牙托槽 10 一个实施方式的另一破裂表面。图 6B 中所示的正牙托槽 10 是表格 1- 模型 A 托槽的 C 组中的托槽。但是,在该例中,显示出裂缝从涂层 14 以更直接、平坦的方式传播到下面的 CIM 托槽主体 12 上。

[0081] 如上所述,在本发明的一个实施方式中,CIM 托槽主体 12 是由多晶陶瓷制成,其所具有的粒度分布部分地由范围在大于  $3.4\mu\text{m}$  到约  $6\mu\text{m}$  之内的平均粒度表述。具有此范围内平均粒度的多晶陶瓷的实施方式在美国申请号 No. 61/106,358 中介绍过,发明名称为《美观的正牙托槽及其制造方法》("Aesthetic Orthodontic Bracket and Method of Making Same"),申请日为 2008 年 10 月 17 日,公开内容通过引用全部结合于此。此范围内的平均粒度相信能够使 CIM 托槽主体 12 具备出乎预料的高抗裂韧度。因此,包含具有此范围内平均粒度带涂层 14 的 CIM 托槽主体 12 的正牙托槽 10 的实施方式,如前所述,可同时具有出乎预料的高抗裂韧度和出乎预料的高抗扭强度。

[0082] 关于抗裂韧度,多晶陶瓷展现出例如至少约为  $3.85\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  的平均抗裂韧度,并且在进一步的例子中,具有约  $4\mu\text{m}$  到约  $4.3\mu\text{m}$  之间平均粒度的多晶陶瓷具有超过约  $5.0\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  的平均抗裂韧度。换句话说,平均抗裂韧度被认为是在大于  $3.4\mu\text{m}$  及在  $6\mu\text{m}$  或以下的范围内的某处处于峰值,并且最可能的是在约  $3.5\mu\text{m}$  到约  $5.0\mu\text{m}$  之间的范围内。

[0083] 在此陈述的平均粒度可按照样线法(line intercept method)通过测量多晶陶瓷磨光横截面上多个晶粒长度确定。特别地,平均粒度可根据方程式  $D = 1.56(L)$  用晶粒长度测量值计算得出,其中 D 是平均粒度,而 L 是晶粒的平均长度。平均粒度和粒度分布也可通过使用商用软件利用粒度模型来确定,比如 Olympus America Inc., Center Valley, PA 的 analySIS 软件。

[0084] 多晶陶瓷的抗裂韧度可通过至少两种方法确定出来。一种方法是利用三点弯曲装置(three-point bend setup)折断在一个表面上含有瑕疵或缺陷的多晶陶瓷棒,其中所述缺陷的尺寸是受控或已知的。在三点弯曲装置中,材料棒在一侧上支撑在沿棒长的两个位置处。每个位置靠近棒的一个边缘。相对支撑物间的距离被称为支撑跨度。负载被施加在棒的中心与支撑物和受控瑕疵相反的表面。负载逐渐增加直到棒破裂为止。这种布局(也就是两个支撑物在一侧,负载在相对侧施加在支撑物之间)在含有受控尺寸瑕疵的棒表面中产生拉伸应力。

[0085] 三点弯曲实验的样品大体为矩形棒。例如,用于抗裂韧度测试的多晶陶瓷样品可具有约  $1.00\pm 0.1\text{mm}$  的厚度,约  $3.00\pm 0.01\text{mm}$  的宽度,以及约  $12.00\pm 0.01\text{mm}$  的长度。另外,深度从约  $0.050\text{mm}$  至约  $0.100\text{mm}$  的凹口用金刚石研磨剂大约在棒的中点位置切进棒的一个表面中形成受控尺寸的瑕疵。棒被放置在约  $9\text{mm}$ (例如)的支撑跨度上。负载被施加在与凹口相对的表面直到棒发生破裂。抗裂韧度可根据方程式用破裂时的负载计算:

$$[0086] \quad K_{IC} = \left( \frac{PS}{wt^2} \right)^{\frac{1}{3}} \left\{ \frac{3}{2} \left( \frac{a}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot Y \left( \frac{a}{t} \right) \right\}$$

$$[0087] \quad Y \left( \frac{a}{t} \right) = 1.964 - 2.837 \left( \frac{a}{t} \right) + 13.711 \left( \frac{a}{t} \right)^2 - 23.250 \left( \frac{a}{t} \right)^3 + 24.129 \left( \frac{a}{t} \right)^4$$

[0088] 其中  $K_{IC}$  是在垂直于裂缝的拉伸应力下材料的抗裂韧度, P 是破裂时的负载, S 是支撑跨度, w 是棒宽度, t 是棒厚度, 以及

$$[0089] \quad a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$$

[0090] 其中 a 是三次裂缝长度测量值的平均值,  $a_1$ ,  $a_2$ , 和  $a_3$  或 (or) 是已知尺寸的裂缝的深度。

[0091] 依照另一种方法, 抗裂韧度可用维氏硬度 (Vickers hardness) 测量值计算。在该例中, 抗裂韧度可根据以下方程式计算,

$$[0092] \quad K_c = 0.018 \left( \frac{E}{HV} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{P}{c^2} \right)$$

[0093] 其中  $K_c$  是抗裂韧度, P 是压载, E 是模量, HV 是测得的维氏硬度, c 是维氏硬度计生成的裂缝长度平均值的一半。通过使用该方法, 而不测试多晶陶瓷棒, 则抗裂韧度在托槽主体上就能测量。

[0094] 在一个实施方式中, 除了上述的平均粒度之外, 多晶陶瓷是大小晶粒的混合物。例如, 多晶陶瓷, 其具有由范围在大于  $3.4 \mu\text{m}$  到约  $6 \mu\text{m}$  之内的平均粒度表述的粒度分布, 可进一步包含尺寸大于  $6 \mu\text{m}$  的晶粒和尺寸小于  $3.4 \mu\text{m}$  的晶粒。

[0095] 更进一步说, 在正牙托槽 10 的一个实施方式中, CIM 托槽主体 12 是多晶陶瓷的, 其特征在于粒度分布不是对数正态分布的。作为定义, 对数正态分布的特征在于随机变量的对数是关于平均数正态分布的。例如, 多晶陶瓷的粒度分布是多峰的。特别地, 粒度分布可以是双峰态分布。

[0096] 在一个实施方式中, 粒度分布是双峰态分布的, 其在约  $1 \mu\text{m}$  至约  $5 \mu\text{m}$  的粒度之间具有第一峰或第一态, 在大于约  $5 \mu\text{m}$  的粒度处具有第二峰或第二态。例如, 第二峰可位于约  $5.5 \mu\text{m}$  至约  $7 \mu\text{m}$  之间。但是, 应当理解到第二峰或额外的峰可以发生在大于  $7 \mu\text{m}$  的粒度。还应理解到双峰态粒度分布并不表示双重微结构。在一个实施方式中, 具有在大于  $3.4 \mu\text{m}$  至约  $6 \mu\text{m}$  范围内平均粒度和至少具有双峰态粒度分布的多晶陶瓷的平均抗裂韧度大于约  $4.0 \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

[0097] 另外, 发明人已经确认, 在小于约  $3 \mu\text{m}$  的晶粒和较大晶粒之间具有特定比例的粒度分布可进一步增强对破裂传播的抗性。例如, 多晶陶瓷所具有的粒度分布中尺寸小于约  $3 \mu\text{m}$  的晶粒可高达晶粒总数的约 50%。进一步的例如, 多晶陶瓷所具有的粒度分布中尺寸小于约  $3 \mu\text{m}$  的晶粒数量至少为 10%。在一个实施方式中, 尺寸小于约  $3 \mu\text{m}$  的晶粒数量, 例如, 是晶粒总数的约 10% 至约 50% 之间。在又另一例子中, 多晶陶瓷的特征在于粒度分布中尺寸小于约  $10 \mu\text{m}$  的晶粒数目占晶粒总数的高达约 90%。在进一步的实施例中, 尺寸小

于约  $10\ \mu\text{m}$  的晶粒数至少占晶粒总数的 70%。因此,在一个实施方式中,尺寸小于约  $10\ \mu\text{m}$  的晶粒总数占晶粒总数的约 70%至约 90%之间。

[0098] 依照一个实施方式,在体积分数方面,多晶陶瓷的粒度分布特征在于,尺寸大于  $10\ \mu\text{m}$  的晶粒可占据总体积的达到 50%。例如,在一个实施方式中,尺寸大于  $10\ \mu\text{m}$  的晶粒至少占 10%,以及,在进一步的实施例中,尺寸大于  $10\ \mu\text{m}$  的晶粒占总体积的约 10%至约 50%之间。尺寸大于约  $10\ \mu\text{m}$  的晶粒的体积分数可通过确定特定尺寸范围晶粒的体积,该体积乘以该尺寸范围内晶粒的总数,然后除以所有晶粒的总体积而计算得到。

[0099] 不受理论限制的情况下,应该认为具有上述粒度分布的多晶陶瓷使得裂缝传播通路比平均粒度在此范围之外的多晶陶瓷更长。相信粒度分布改变了传播裂缝的方向和/或改变了裂缝传播的模式。特别地,晶粒边界的出现可以影响到裂缝的传播方向和/或裂缝的传播模式。方向的改变和/或模式的改变会消耗比沿直线路径传播裂缝所需的能量相对更多的能量。在多晶陶瓷中裂缝传播的模式不是在晶粒间,就是在晶粒内,或是两者都有。晶粒间裂缝传播是沿晶粒边界(也就是在晶粒之间)而行,晶粒内裂缝传播是穿过晶粒。相应地,当传播中的裂缝遇到晶粒边界或晶粒,裂缝会被迫改变方向,改变其传播模式(也就是从晶粒内转变为晶粒间或反之亦然)或同时改变传播方向和模式。通过迫使裂缝传播的方向和/或模式发生改变,裂缝通路的长度增加了,这消耗了更多能量,相应地,抗裂韧度也会增加。

[0100] 依照上述的改变裂缝传播的模式,在一个实施方式中,发明人相信裂缝穿过多晶陶瓷的传播可以是混合模式。也就是,如果裂缝传播进入多晶陶瓷,多晶陶瓷就会迫使裂缝在其行进穿过多晶陶瓷时一次或多次改变其传播方向。尺寸小于  $10\ \mu\text{m}$  的晶粒的存在促进了晶粒间裂缝传播。但是,面对尺寸为  $10\ \mu\text{m}$  或大于  $10\ \mu\text{m}$  的晶粒的裂缝会被迫改变为晶内的传播模式。混合裂缝传播模式因此可进一步拉长传播通路,从而相应地,进一步增加了多晶陶瓷的抗裂韧度。

[0101] 尽管本发明是通过对其一个或多个实施方式进行介绍而解释说明的,并且尽管实施方式是相当详细地介绍的,它们并不能用作将所附权利要求的范围局限或以任何方式限制到如此具体。额外的优点和更改是本领域技术人员容易想到的。因此,本发明在其较宽的方面不限制到画出的和介绍过的具体细节和示意性实施例。相应地,从所述细节出发并不脱离本发明一般概念的范围。



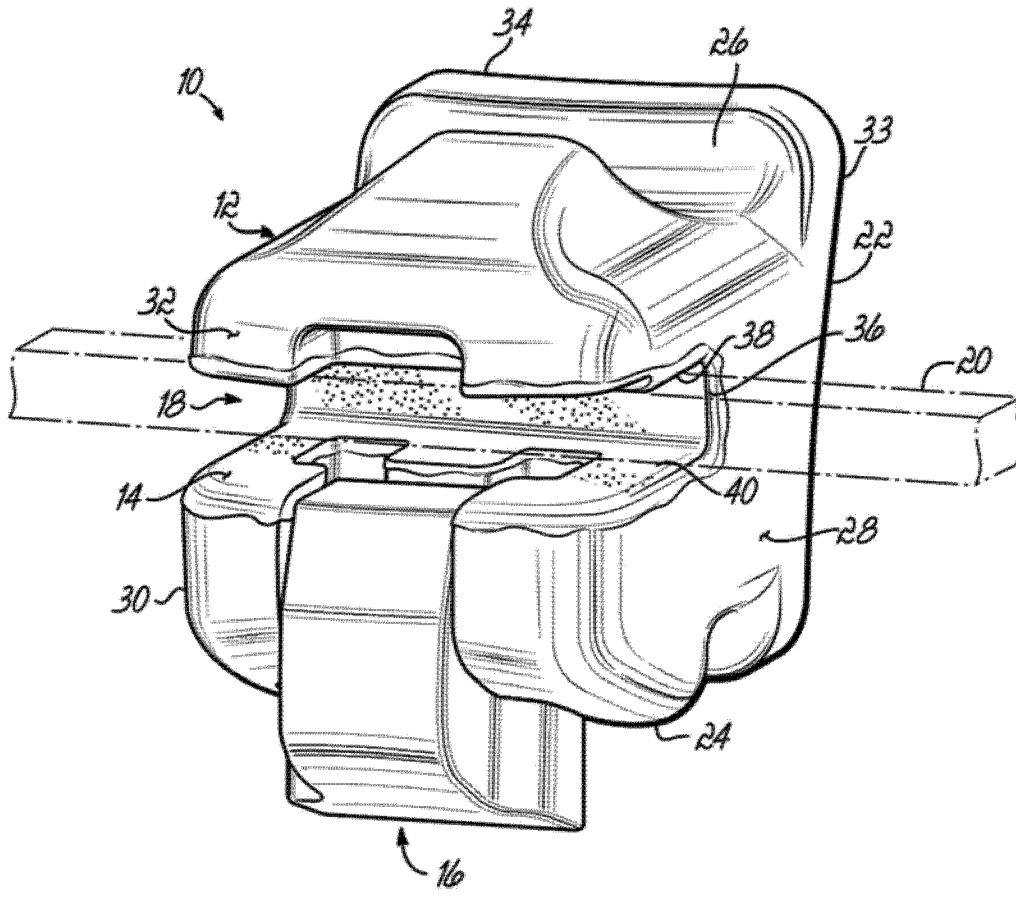


图 1

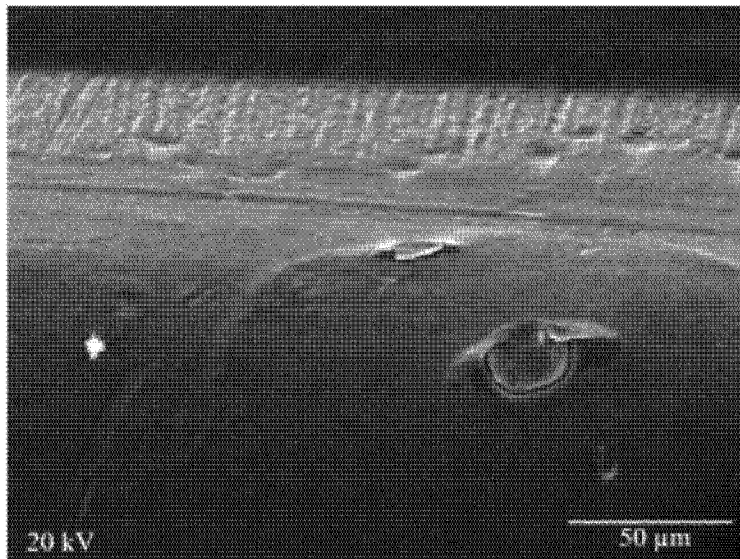


图 2A

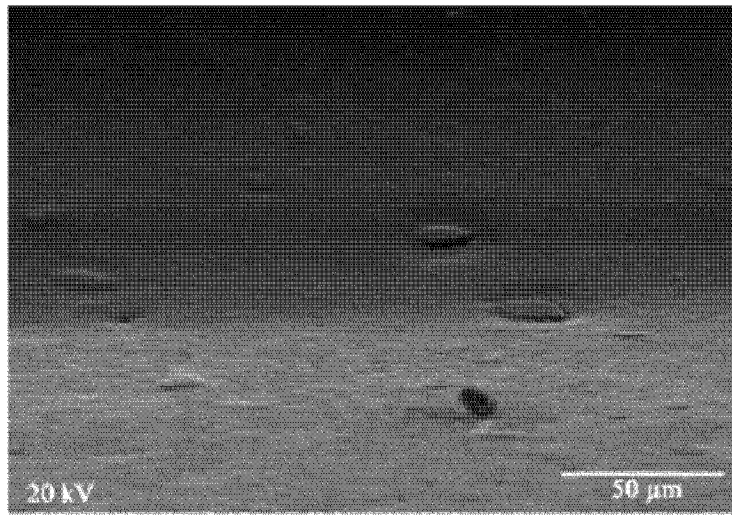


图 2B

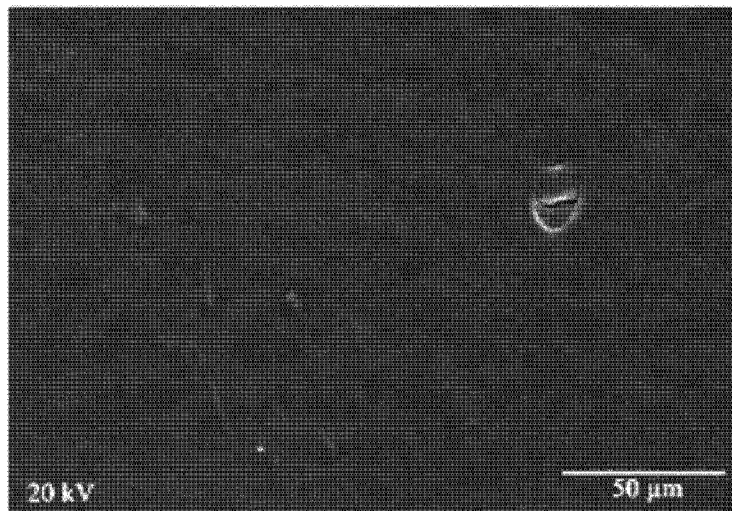


图 2C

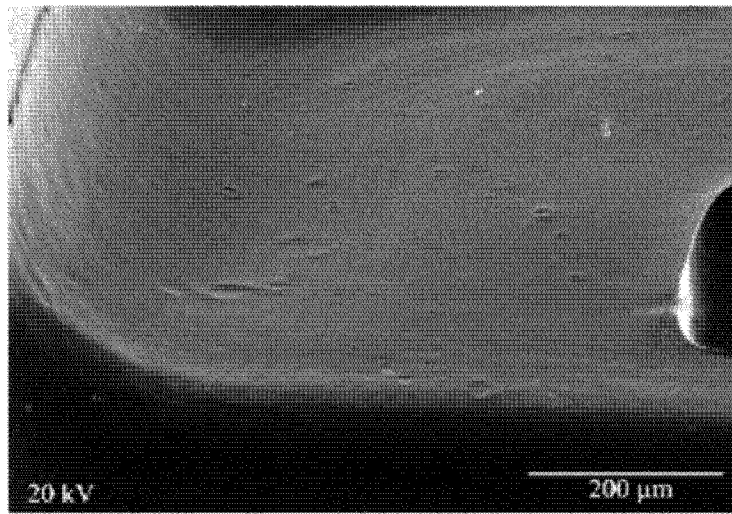


图 2D

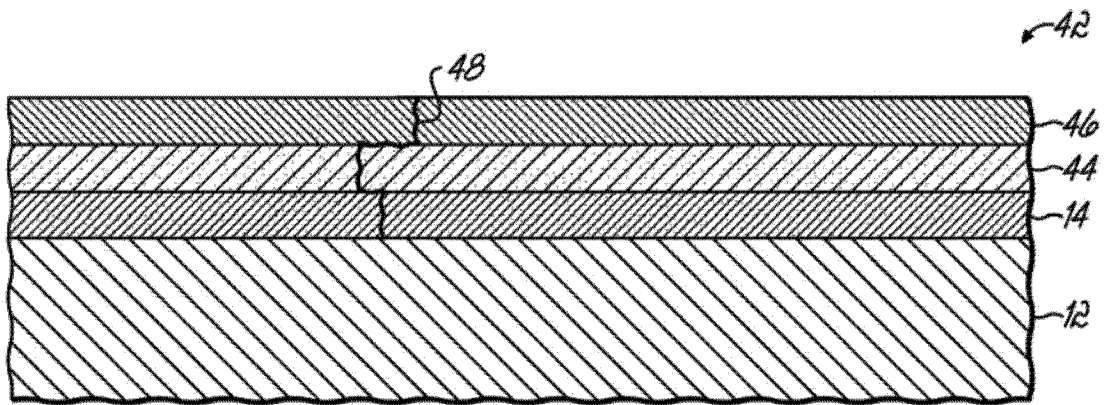


图 3

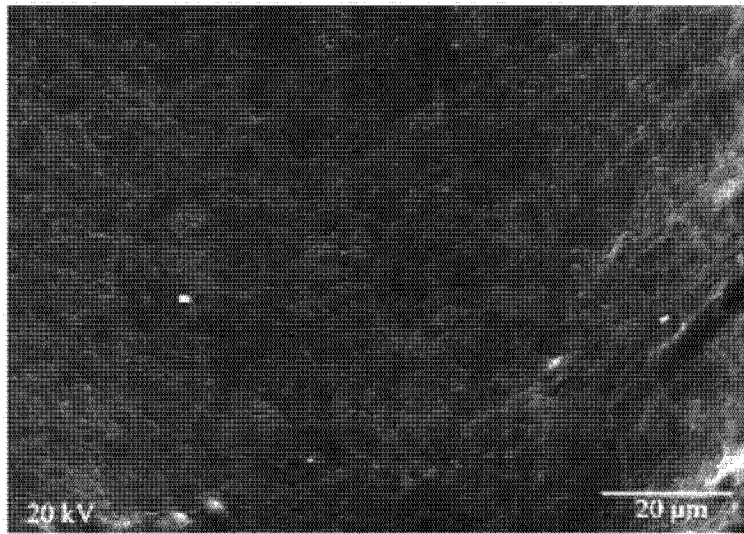


图 4A

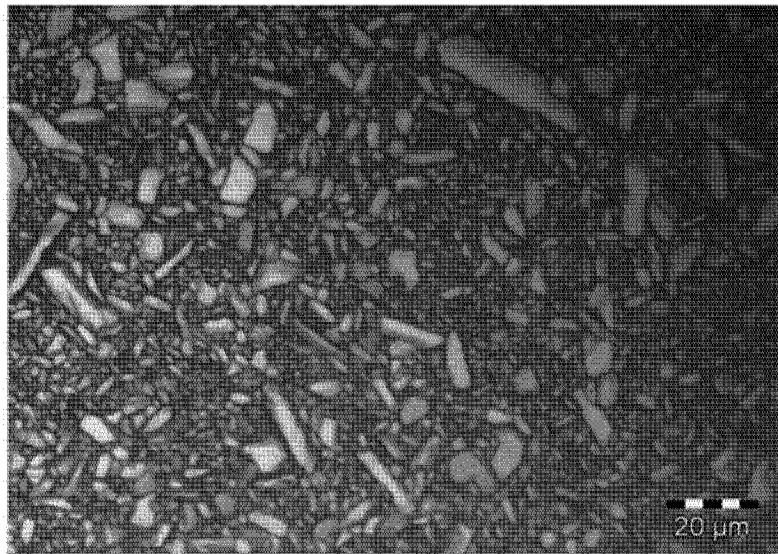


图 4B

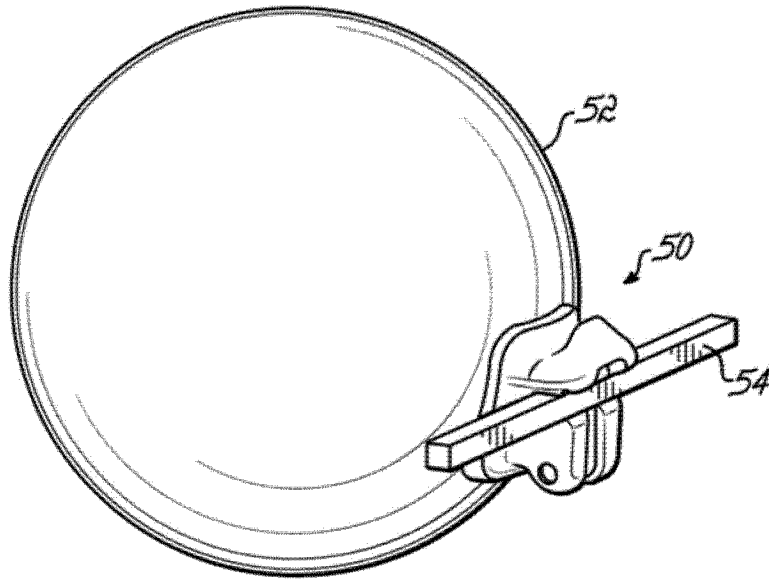


图 5A

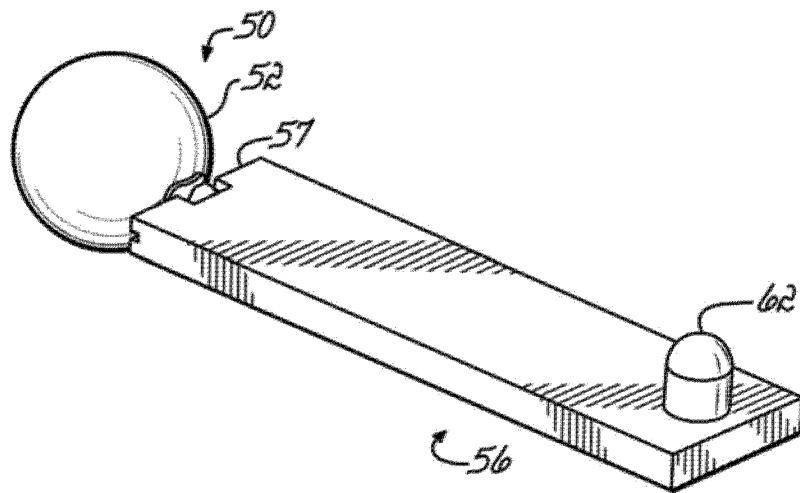


图 5B

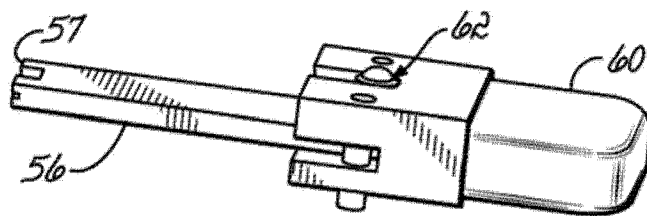


图 5C

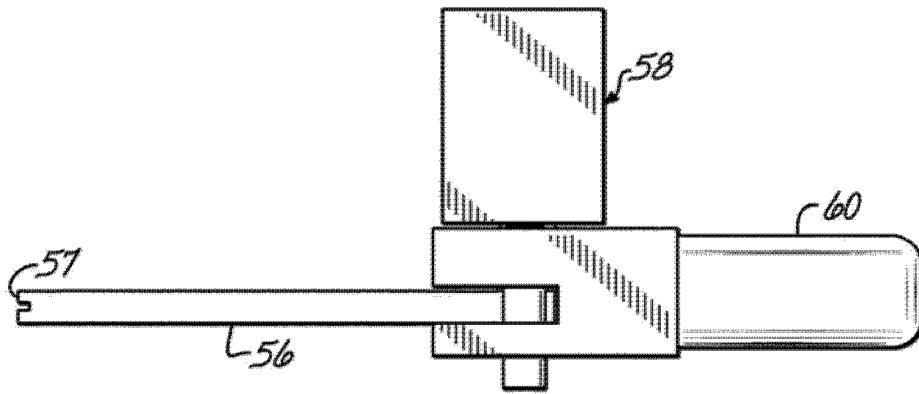


图 5D

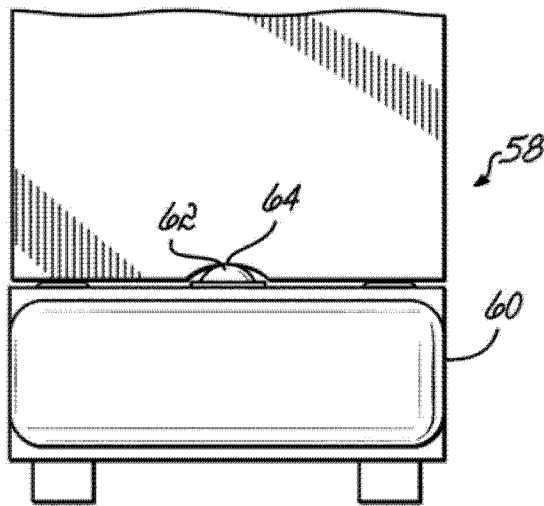


图 5E

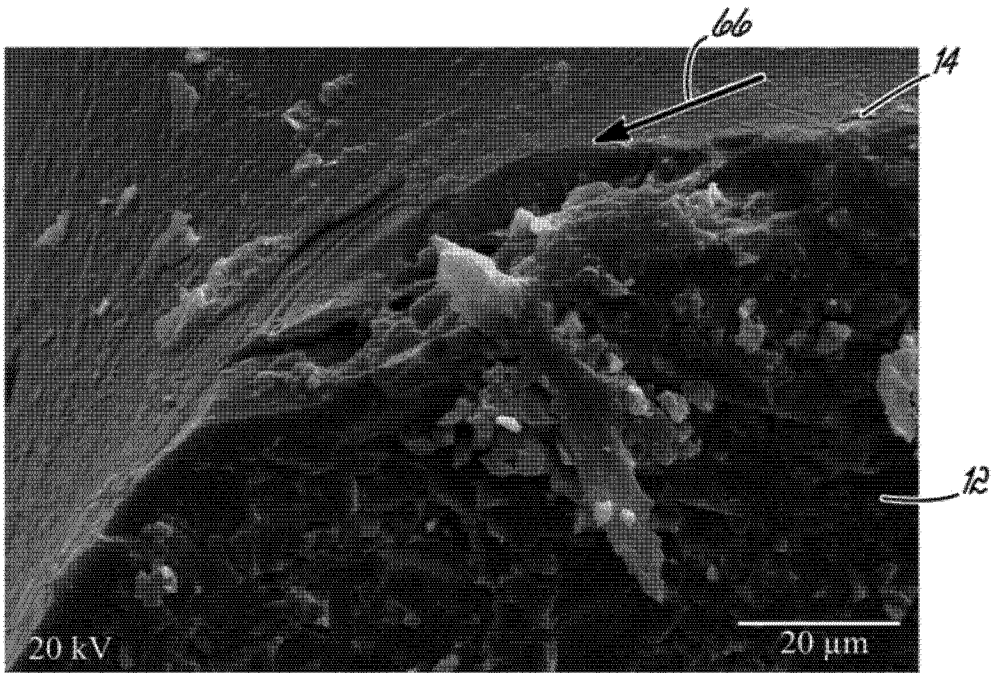


图 6A

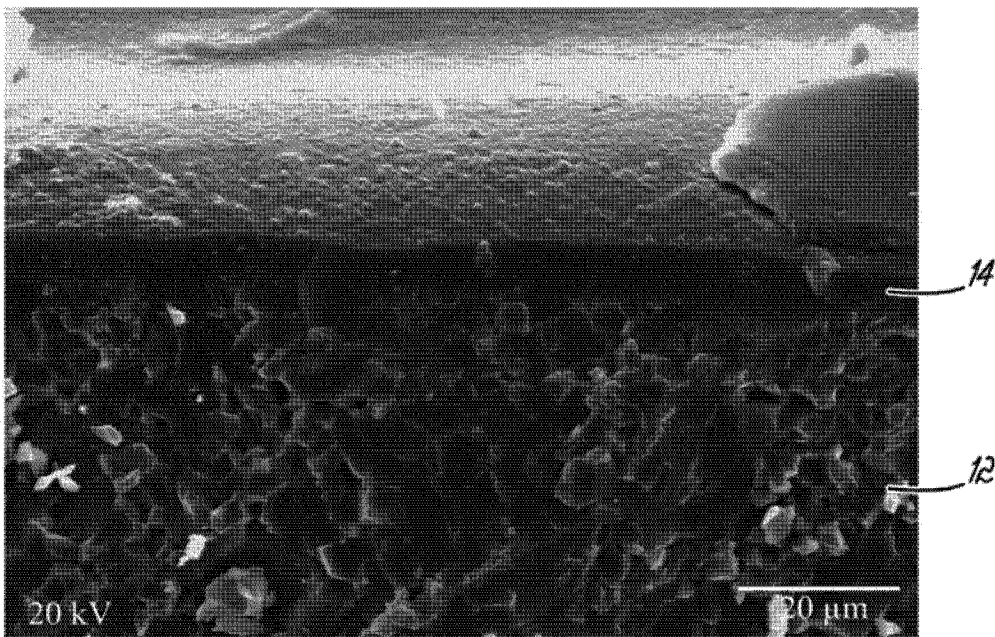


图 6B