

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

C30B 1/02

C30B 29/20 H01J 61/22



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95102002.1

[45] 授权公告日 2004 年 6 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1153856C

[22] 申请日 1995.2.14 [21] 申请号 95102002.1

[30] 优先权

[32] 1994.2.14 [33] US [31] 08/195,187

[71] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 柯蒂斯·E·斯科特

玛丽·S·卡利赛夫斯基

莱昂内尔·M·莱维森

审查员 周家成

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 程伟

权利要求书 1 页 说明书 15 页 附图 2 页

[54] 发明名称 将掺杂的多晶材料转化成单晶材料

[57] 摘要

将多晶陶瓷体转变成单晶体的固相方法，用能提高转化的掺杂剂掺杂多晶陶瓷材料，在选定温度下加热多晶体至足以将多晶体转变成单晶的时间。所择温度低于多晶材料的熔化温度，但高于该材料熔化温度的一半。所述掺杂剂的实例包括 +3 价阳离子如铬、镓和钛。多晶体还可以被不均匀地掺杂，以形成掺杂至预定掺杂剂量的第一部分多晶体和未掺杂的第二部分，以致加热掺杂多晶体会使第一部分转化成单晶结构，而第二部分仍保持多晶结构。

ISSN 1008-4274

1. 用于将陶瓷多晶氧化铝体转化成蓝宝石体的固相方法，该方法包括下列步骤：

用能提高转化的掺杂剂将由所述的多晶氧化铝体组成的陶瓷材料中的至少一部分掺杂至选定的浓度，所述的选定的浓度低于在多晶氧化铝体中能导致形成第二种晶相的浓度；以及

至少将掺杂至所述选定浓度的氧化铝体的部分加热到选定的温度达选定的时间，从而将掺杂至选定浓度的那部分多晶氧化铝体转变成蓝宝石体，所述的选定的温度高于该掺杂氧化铝材料熔化温度的一半温度，但低于其熔化温度。

2. 权利要求 1 所述的方法，其中所述的选定温度低于该能提高转化的掺杂剂在氧化铝中的固体溶解的极限。
3. 权利要求 1 所述的方法，其中所述的掺杂剂是+3 价阳离子。
4. 权利要求 1~3 中任意一项所述的方法，其中所述的掺杂剂选自铬、镓、钛、钒、铈、镧和钆。
5. 如权利要求 1~3 中任意一项所述的方法，其中将所述的多晶体加热的步骤还包括将所述的多晶氧化铝体烧结以形成一种致密体；将所述的多晶体热处理以基本上除去阻碍转化的杂质；以及将所述致密体热处理以使所述的致密体转变成蓝宝石的步骤。

将掺杂的多晶材料转 化成单晶材料

本发明涉及用于将多晶陶瓷体整体转化成单晶体的固相工艺，它是用具有选定浓度的选定掺杂剂掺杂该多晶体，随后将掺杂体加热到高于该材料熔点一半的温度，但低于该材料熔化温度的温度。尤其是，本发明涉及用于将多晶氧化铝(PCA)整体转化成单晶氧化铝(蓝宝石)的固相工艺。通过用具有选定浓度的选定掺杂剂掺杂该氧化铝坯体并且随后将掺杂的氧化铝坯体加热到高于1100°C但低于2050°C(氧化铝的熔点)的温度，而完成将PCA固相转化成蓝宝石。

多晶氧化铝(PCA)的制备以及它作为高压钠弧光放电灯(下文称为“HDS灯”)的用途在本领域中是已知的。Coble, Laska 等人和 Charles 等人的美国专利US 3026210、4150317和4285732公开了利用相当纯的氧化铝粉末和少量氧化镁制备具有改进的可见光透光性的高密度PVA体的方法，美国专利US 4285732 还进一步指出向氧化镁掺杂过的氧化铝中加入氧化锆和氧化钪，以减少烧结过程中析出尖晶石相并且晶粒生长过大或失控的机会。根据这些专利中所述的工艺制成的用作HPS灯弧光管的PCA体，其平均晶粒大小为15~100微米之间。

与使用PCA弧光管作为HPS灯有关的两个主要缺点在于它们与透光相比是半透光的，并且该弧光管中的钠会在晶粒间界与氧化铝反

应而形成铝酸钠，它会对弧管的结构完整性产生不利影响并且缩短灯的寿命。HPS灯正被设计成不断增加PCA弧光灯管内的钠分压，以改善颜色补偿并产生更白的放射光。但是，较高的内部钠分压由于增加了钠从弧光室的损失速度，从而更加缩短了灯寿命。持续的钠损失会使灯的操作电压产生相应连续的增加、相关颜色温度及颜色补偿指数发生下降，而且颜色由白色变成粉红色。此外，从迁移经过弧光室壁的钠沉积在抽真空的外灯壳的内壁上，在灯壳上产生棕色颜色，这又反过来进一步降低了灯的光输出。用蓝宝石（即单晶氧化铝）弧光管可以基本上减轻这些问题。

用作HPS灯弧光室的蓝宝石弧光管可以用多种方法制成，包括改性的Czochralski法，即人们所熟知的由Tyco Laboratories, Inc.研究出的限定边缘的，输片式生长(film-fed growth) (EFG)工艺。这种方法在熔融氧化铝表面上使用晶种和型模，其中空心管坯从熔体中通过该型模而连续拉出。这种方法成本高又速度低。另一种用于制备单晶氧化铝（蓝宝石）的方法称为浮动区域法，在该方法中，PCA喂料棒以预定的速度送入加热区中，在该加热区中，一个或多个激光或其它集中热源集中在棒上，而使区域中心氧化铝熔化，以产生熔融氧化铝“熔体”。从该熔体以合适的速度连续抽拉出蓝宝石纤维，而喂料棒同时移动，但速度较低，因此该方法是一种连续的方法。这种方法主要是用于产生蓝宝石纤维，它不容易用来制备单晶氧化铝管，尽管美国专利US 3943324中公开过这种用途。

H. Yoshida等人的日本专利公开62-28118公开了可以通过沿PCA体长度方向上产生一个氧化镁浓度梯度，以确保晶粒在热处理过程中在PCA体上的单一点上处开始生长，而通过固相工艺而合成蓝宝

石。通过按在PCA体上具有氧化镁梯度的方式用氧化镁掺杂坯体，通过利用温度梯度以产生氧化镁浓度梯度，或者通过使坯体上的截面变薄，而可以在PCA体中产生这种氧化镁梯度。Yoshida法的关键在于单晶的生长是从多晶体中的一个位置开始。此外，尚不知道这种方法是否能工业化，而且表面看来，这种技术在实施中似乎存在一些潜在的问题。尤其是，Yoshida等人在他们的氧化铝起始坯体中仅需要90 wppm（每百万重量份）的氧化镁。另外，为了获得致密的PCA结构，至少需要约300 wppm的氧化镁。例如参见J.G.J. Peelen“氧化铝：烧结及光学性能”，博士论文，Technical University of Eindhoven，荷兰，1977年5月，典型的氧化铝密实工艺，例如用于制造Lucalox[®]的那些工艺在氧化铝起始体中具有550~750 wppm氧化镁，以保证能达到完全致密。当氧化镁为90 wppm时，很难达到Yoshida等人所述的象它们的起始材料那样的密实、无孔的结构。

人们需要以一种简单易行又相当便宜的方式由PCA制备蓝宝石。要求用标准的多晶形成技术制备具有简单或复杂形状的陶瓷体，随后无需将该陶瓷体熔化而将其转化成单晶体。因此，该单晶体仍保持多晶母体的形状，从而可以制得大量不同的形状，这些形状用常用的熔体拉制或浮动区域法是不可能获得的。固相转化法可以制备具有非均匀、不对称和复杂形状以及简单形状的单晶工件。如果这种方法在降低由多晶陶瓷结构形成单晶陶瓷结构所需的能量及时间方面都很有效，则它将是本领域的一个重大改进。

根据本发明，用于将密实多晶体转化成单晶体的固相工艺包括用选定的能提高转化率的掺杂剂掺杂含有陶瓷体的多晶材料并且在

选定的温度下将多晶体加热，该加热时间要足以基本上将多晶体转化成单晶体的步骤。用于本文的“固相工艺”是指这样一种工艺，其中多晶体向单晶体的转化是发生在低于该材料熔化温度的温度下，要使没有部分多晶体发生熔化，并且在加热步骤中在该多晶体中没有形成熔融区。

选定的加热坯体的温度是低于多晶材料的熔化温度但高于其熔化温度的一半。用选定的能提高转化的掺杂剂掺杂该多晶材料至所选定的浓度，从而使在单晶体中的最终掺杂剂浓度不超过该材料中掺杂剂的固体溶解度。举例来说，根据本发明方法引入多晶氧化铝(PCA)体中的所选定的掺杂剂提高PCA向蓝宝石的转化。所选定的用于提高PCA转化的掺杂剂包括+3价的阳离子的材料，这些材料的实例包括铬、镓和钛，此外可以预见，形成这种阳离子的其它材料例如铈、镧、钇和钒也同样能提高这种转化。

可以用几种方式对该多晶材料进行掺杂，例如，可以将掺杂剂引入用于制备多晶体的原材料中；也可以将多晶体的素瓷烧结母体材料浸渍在具有预定掺杂剂浓度的液体掺杂溶液中，从而使该掺杂溶液渗入素瓷烧结体中。通过将浸渍过的素瓷烧结材料进行真空处理，可以加快该掺杂溶液向素瓷烧结体中的渗入。

本发明的方法特别适用于将多晶氧化铝(PCA)固相转化成蓝宝石。例如，通过将素瓷烧结氧化铝体浸渍在真空容器的掺杂溶液中并且在该容器上抽取选定的真空达选定的时间，而将所选定的掺杂剂引入素瓷烧结氧化铝体中。然后将掺杂过的氧化铝体加热；掺杂过的氧化铝体的加热使素瓷烧结体得到烧结，从而形成一种致密体，基本上除去了许多阻碍转化的杂质，例如氧化镁（升高的温度将杂

质从含有陶瓷体的材料中去除)，并且将多晶氧化铝转化成单晶结构（蓝宝石）。该加热步骤包括单个加热工艺，在该工艺中，物体升高到预定的温度并在该温度下保持预定的时间，或者，该加热可以由独立的加热循环组成，以用于烧结，除去阻碍转化的杂质，并且将多晶氧化铝转化成蓝宝石。

在另一个实施方案中，起始多晶体并不均匀地掺杂，这样在经过本发明所述的热处理后，所得到的经过热处理的物体是具有多晶和单晶区（或部分）的复合材料。在该方案中，多晶体是被不均匀地掺杂，以致它具有被能提高转化的掺杂剂掺杂至所选定浓度的第一部分。该多晶体的第二部分未掺杂，或掺杂成具有第二种掺杂剂物相量的浓度，该第二种物相量浓度高于在多晶材料中该掺杂剂的固体溶解值，结果沿着该物体第二部分的晶粒间界形成第二种物相，从而抑制了该多晶材料向单晶的转化。不均匀掺杂体的加热会产生一种复合材料体，其中第一部分由单晶结构组成，而第二部分由多晶结构组成。

按照本发明方法制得的蓝宝石与更常规的熔化方法制得的蓝宝石是不同的，前者是随机孔结构和独特的轻度波浪形表面构形的结合，这种波浪形的高点靠近转化前每一个PCA晶粒所在位置的中点，而其低点则相当于转化前晶粒间界所在的位置。

被认为具有新颖性的本发明的特点在所附的权利要求书中特别列出，但本发明本身其结构及操作方法，以及其进一步的目的和优点可以参照下列结合附图的描述而获得最好的理解，在附图中，相同的符号代表相同的部分，其中：

图1表示对本发明所选定的能提高转化的掺杂剂其掺杂量与转

化时间之间的关系。

图2表示具有根据本发明制得的弧光管的高压钠放电灯的示意图。

根据本发明，多晶体被能提高转化的掺杂剂掺杂至选定的浓度，然后将其在低于该多晶材料熔化温度但高于其熔化温度一半的温度下加热到足以基本上将该多晶体转化成单晶体的时间。

已经发现可用于实施本发明（其中多晶体含有多晶氧化铝(PCA)，而且PCA体被转化成单晶氧化铝（下文称蓝宝石）的起始材料是相当纯的 α -氧化铝的素瓷烧结体，它具有内联型孔隙结构。内联型孔隙结构有助于掺杂溶液在素瓷烧结体中均匀渗透，典型的起始素瓷烧结材料其孔隙体积大约在15~70%范围内。通常，起始材料是由99.9%氧化铝组成的素瓷烧结体，这种烧结体在掺杂后可以烧结成高于3.90克/厘米³的密度并且不存在会阻止烧结后的PCA体向蓝宝石转化的类型及数量的杂质。烧结时，该素瓷烧结体通常产生具有等轴晶粒结构的PCA材料，其平均晶粒粒度小于100微米，优选地小于70微米。所谓晶粒粒度是指用已知的在ASTM E 112-88中所述的线性截距技术(linear intercept technique)测得的平均晶粒大小。平均晶粒度大于100微米的PCA材料会在本发明的热处理过程中形成微裂纹，它会阻止向蓝宝石的转化。烧结后的PCA的密度至少应为3.90克/厘米³，更典型地为大于3.97克/厘米³，这是因为残余的孔隙会阻止向蓝宝石的转化，和/或产生低于最佳透光性的蓝宝石产品。

按本发明的蓝宝石的制备过程中，起始素瓷烧结材料是用于制备Lucalox[®]管的素瓷烧结氧化铝管，该管的外径为4.5~8.8 mm，

壁厚为0.5~0.75 mm, 这种素瓷烧结材料易于从通用电气公司, Willoughby Quartz and Ceramic Plant, Willoughby, Ohio得到 (Product #LT5.5-36-PS; Resource #258 23 61)。这种素瓷烧结材料通常其孔体积为50~60%。烧结时, 这种材料产生的PCA体其密度为3.97~3.98克/厘米³, 它具有等轴晶粒结构, 其平均晶粒度为15~70微米。下表1中列出了对烧结后材料 (未掺杂) 的典型微量杂质分析结果。180wppm镁 (Mg) 浓度相当于300wppm氧化镁 (MgO)。

表 1

微量元素	Si	Fe	Ca	Mg	K	Na	Li	Mo	Cr	Cu
测得的wppm	50	4	7	180	50	80	<1	10	2	4

已经发现一般作为烧结助剂而加入到氧化铝中以获得密度高于3.97克/厘米³的PCA体的氧化镁, 如果它以足够的数量存在则会阻止PCA向蓝宝石的转化。因此, 在转化成蓝宝石之前, 必须采取步骤以降低完全致密的掺杂PCA体中的氧化镁含量。必须将氧化镁降低的量取决于所加入的掺杂剂的种类及数量。在某些情况下, 发现必须在将该材料转化成蓝宝石之前将氧化镁含量降低到50 wppm。用感应耦合等离子体 (ICP) 分析法测定氧化镁含量。熟悉本领域的人员均知道通过在真空、干燥氢气、或含有惰性气体的气氛中加热物体到1600°C以上, 就可以将氧化镁从PCA体中除去。在本发明的方法中, 这一点通过在露点低于0°C的干燥氢气的气氛中在电阻炉中将掺杂的Lucelox[®]加热到1880°C达大约1~9小时 (取决于部件尺

寸、掺杂剂种类及掺杂剂数量)而进行的。用于将氧化镁从氧化铝体中除去的时间将随起始氧化镁含量、炉温、炉中气氛及部件尺寸而变化。在氧化镁挥发过程中必须注意避免将该材料加热时间太长,这是因为这样会使平均晶粒粒度大于100微米,和/或引起异常的晶粒生长。

根据本发明,素瓷烧结起始材料用能提高转化率的掺杂剂掺杂至所选定的浓度。用于本文的“能提高转化率的掺杂剂”是指一种掺杂剂,当将它以本文所述浓度引入多晶材料时,它能缩短在下面所述加热工艺期间将该多晶材料固相转化成单晶材料所需的时间。掺杂剂的选定浓度低于该掺杂剂在多晶材料中的固体溶解值。因此,能提高转化的掺杂剂的选定浓度低于在该多晶材料中能形成第二晶相的浓度。在掺杂该多晶材料时,该掺杂剂通常分散在该多晶材料中,从而使该掺杂剂的浓度在整个多晶材料中基本上是均匀的。根据至今所研究过的掺杂剂量,已经发现当掺杂剂浓度增加时转化速率(由PCA转化成蓝宝石)通常也增加。

例如,如下面将要详细描述,用铬、或镓、或钛以选定的浓度掺杂的PCA体已经显示出能在加热过程中转化成单晶结构,其时间比类似大小的未掺杂的PCA体的要短。用于氧化铝的能提高转化的掺杂剂通常包括+3价阳离子,而且它在 Al_2O_3 中具有合适的固溶性。用于本文的“合适的固溶性”是指这样一种材料,当将它以低于其相应固溶性极限的量与 Al_2O_3 混合时,它会产生具有实用价值的PCA向蓝宝石的转化速率。用于本文的“实用价值”是指转化速率是为每小时几厘米的数量级,这种转化速率能产生足够的效率,从而使用该掺杂剂制备单晶的生产易于工业化。一般具有这些特征的材

料的固溶性大约为50 wppm或更高。例如，对于所述的能提高转化的掺杂剂，它在 Al_2O_3 中的固体溶解值如下：

铬	100% 固体溶解性
钛	~50~100 wppm
镓	20~30% 重量

其它的在所选定的浓度下在 Al_2O_3 中具有提高转化特性的+3价阳离子包括铈、钐、镧和钒。

在本发明的一个实施方案中，素瓷烧结多晶材料例如通过将该素瓷烧结材料浸渍在所选定的能提高转化的掺杂剂的液体溶液中而进行掺杂。该掺杂溶液通常是溶解有掺杂剂的去离子水，从而产生预定浓度的掺杂离子。通过将素瓷烧结材料与用于浸渍的掺杂溶液一起放入真空容器中并且在该容器上抽取选定的真空达选定的时间，可以进一步诱导掺杂剂渗入该素瓷烧结材料中。浸渍（如果合适，放入真空容器）后，将掺杂过的素瓷烧结材料取出并将其干燥（通常在空气中），而后就可以将它在炉中加热，以实施向单晶材料的固相转化。

随后，将掺杂成具有选定浓度的能提高转化的掺杂剂的素瓷烧结体加热到低于含陶瓷体的材料的熔点的温度，此外，该温度通常高于含陶瓷体的材料的熔点的一半温度。对于含有本文所述的氧化铝的陶瓷体，该PCA体可以加热到高于 $1100^{\circ}C$ 但低于 $2050^{\circ}C$ （氧化铝的熔点）的温度。在氧化铝转化成蓝宝石的过程中没有发现该陶瓷体的整体熔化，而且单晶结构的生长一般从坯体上一个以上的位点开始。有关固相热转化工艺的详细内容描述于同时待审的申请中，其名称为“多晶氧化铝向蓝宝石的固相热转化”，序列号为 08/

126954, 该申请作为对比文献引入本文。

在本发明方法的一个实施例中, 如上述素瓷烧结氧化铝管是 Lucalox[®], 其长度为约220毫米, 外径为约5毫米, 壁厚0.5毫米。按照下列方法将该管用铬掺杂: 通过将0.918克硝酸铬(III) ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 溶解在1升去离子水中而制备掺杂溶液, 产生约120 wppm的Cr掺杂离子浓度。将上述经过预烧的氧化铝管件浸渍在约400毫升掺杂溶液中。然后将浸渍有素瓷烧结氧化铝的掺杂溶液放入真空容器中, 在该真空容器上抽取约27" Hg的真空度并保持约30分钟, 此后, 从该真空容器及掺杂溶液中取出掺杂过的素瓷烧结氧化铝管并将它空气干燥。在该素瓷烧结氧化铝管中产生的铬掺杂剂(能提高转化的掺杂剂)的浓度为约300 wppm。可以采用类似的掺杂方法来掺杂具有更大外径(8.8毫米)的素瓷烧结氧化铝管。

由掺杂过的素瓷烧结材料制备蓝宝石的过程包括三个基本阶段, 即: 烧结该材料, 以获得一种致密体(即密度大于3.90克/厘米³); 将体内氧化镁浓度(氧化镁是阻碍转化的杂质)降低到低于会阻碍该材料转化成单晶的水平; 以及将该坯体加热, 以使该多晶材料转化成单晶。在本发明的一个实施方案中, 这三个阶段是在多次加热循环中完成的(即在单独的过程中将多晶材料升温); 这三个阶段可以在三个分开的加热循环, 或者三个或三个以上加热循环中完成。在本发明的另一个实施方案中, 这三个阶段在一个连续加热循环中完成, 在该循环中, 所有三个阶段都发生, 而无需从用于加热的炉子中取出掺杂过的多晶体; 在单个加热过程中, 这三个阶段的发生之间没有明显的界限。

在本发明所述方法的一个实施例中, 将PCA转化成蓝宝石的三

个阶段是在一个单独的连续的加热过程中完成的，这是因为这三个阶段用相同的炉子条件完成的。掺杂过的素瓷烧结材料以连续方式经过电阻炉的高温区，该电阻炉的温度约为1880°C，其气氛为露点低于约0°C的流动的干燥氢气。在本发明方法的另一个实施例中，制备蓝宝石（即PCA向蓝宝石转化）的三个阶段是用多次较短时间通过条件与上述对连续加热工艺所述条件相同的炉子而完成的。达到100%转化所需的在高温区中的总时间（或以一次连续通过该炉子或以多次短时间通过炉子来实现）是掺杂剂量、掺杂剂种类、起始氧化镁量以及坯体几何形状（即坯体尺寸较厚意味着需要较长的时间来将MgO含量降低到低于会阻碍转化的水平）的函数。

在本发明方法的一个实施例中，将用铬掺杂过的氧化铝（如上所述）在炉中进行加热达所述时间，结果产生如表2中所述的向蓝宝石的转化。

表 2
在炉子高温区中的时间
(外径为5.0 mm的管子)

试 样	3小时	6小时	9小时	12小时
掺铬的管子 (5.0 mm外径)	~8% 转化	~68% 转化	100% 转化	
对照管 (5.0 mm外径)	无蓝宝 石	~5% 转化	-	83% 转化

在炉子高温区中的时间

(8.8 mm 外径管)

试 样	6小时	9小时	12小时	15小时
掺铬的管子 (8.8 mm外径)	~5% 转化	~47% 转化	~90% 转化	100% 转化
对照管 (8.8 mm外径)	无蓝宝 石	无蓝宝 石	无蓝宝 石	无蓝宝 石

分析表2中所列数据表明，用铬掺杂过的管子在明显短于对照管（未掺杂）的时间里转化成蓝宝石。坯体几何形状的表现作用也明显较大，较厚壁的8.8 mm外径管需要较长的时间来转化，这很可能是由于在较厚件中需要较长的时间来除去氧化镁的缘故。

图1中所示数据表示下列掺杂剂相对于未掺杂的对照试样时对PCA - 蓝宝石转化速率的相对影响：钛、铬和镓。

在本发明的另一实施方案中，本发明方法的改变型也可以用于制备复合材料，即具有单晶结构和多晶结构区域的物体。这种复合体是通过选择性地掺杂部分多晶素瓷烧结陶瓷材料，而后按前面所述加热该材料以将该多晶材料的掺杂部分转化而制成的。例如，可以将螺旋形图案沿素瓷烧结氧化铝管的长度方向向下涂覆。用于涂覆该图案的掺杂溶液是将 $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 溶解在去离子水中而形成Cr离子浓度约为120 wppm的溶液。按照上述本发明的方法，对部分掺杂的素瓷烧结氧化铝管进行热处理。热处理后，用铬掺杂剂溶液涂覆过的区域转化成蓝宝石，而未涂覆的氧化铝管区域仍保持多晶结构。沿这两个区域之间的界面没有看到有裂纹。

另外，通过用第一种浓度的选定的能提高转化的掺杂剂掺杂该坯体的第一部分，而用第二种浓度的能提高转化的掺杂剂掺杂该坯体的第二部分可以制得复合材料，上述第二浓度高于所选定的能提高转化的掺杂剂的固体溶解极限，从而导致第二种晶相沿该坯体第二部分的晶粒间界析出。然后，按照上述本发明对该多晶体的第一部分和第二部分进行热处理，从而将该坯体的第一部分转化成单晶结构。由于在该坯体第二部分的边界处存在第二种晶相，该坯体的第二掺杂部分，即掺杂成掺杂剂含量高于固体溶解极限的区域不会发生转化。该坯体的第一部分，即以低于固体溶解极限的量掺杂的区域转化成单晶。

根据本发明的固相转化方法可以利用标准多晶体形成技术制得简单或复杂的陶瓷形状并且随后将其转化成单晶体，而不必将坯体熔化。因此，该单晶体保持了多晶母体的形状，能够制备大量不同的形状，这些形状用常用的熔体拉制或浮动区域技术是无法制成的。常规的氧化铝材料，有利地是蓝宝石的形状包括纤维（可用于纤维增强材料）或管子（例如在本发明方法论证中所述的那些）。由上述管子制成的单晶灯部件通常具有杰出的透光性（总透射比和向前扩散射比两方面），使灯的效率增加的10~15%。

按照本发明的方法制得的蓝宝石管子可以很容易地形成适合在高压钠(HPS)灯中用作弧光管的管子的形状。图2表示HPS灯10的一个实例，它是根据本发明方法制成的弧光管20，弧光管20是空心的，它具有内表面22和外表面24，并含有用于灯操作的高压钠。根据本发明制成的陶瓷弧光管的总透射比及向前扩散可见光透射比提供了改进的HPS灯效率，它超过目前所使用的PCA弧光管。

此外，本发明的方法可以将管子（或其它形状的物体）制成含有具有单晶结构的第一部分和具有多晶结构的第二部分。因此，可以制得具有蓝宝石的内表面22和多晶氧化铝的外表面24的弧光管20。这种管子结构的一个优点在于内部蓝宝石表面可以产生比多晶表面更好的耐钠侵袭性，而管子外表面上的多晶材料使管子具有良好的强度。同样，如要求，可制成这样的弧光管，内表面22是多晶氧化铝而外表面24是蓝宝石。

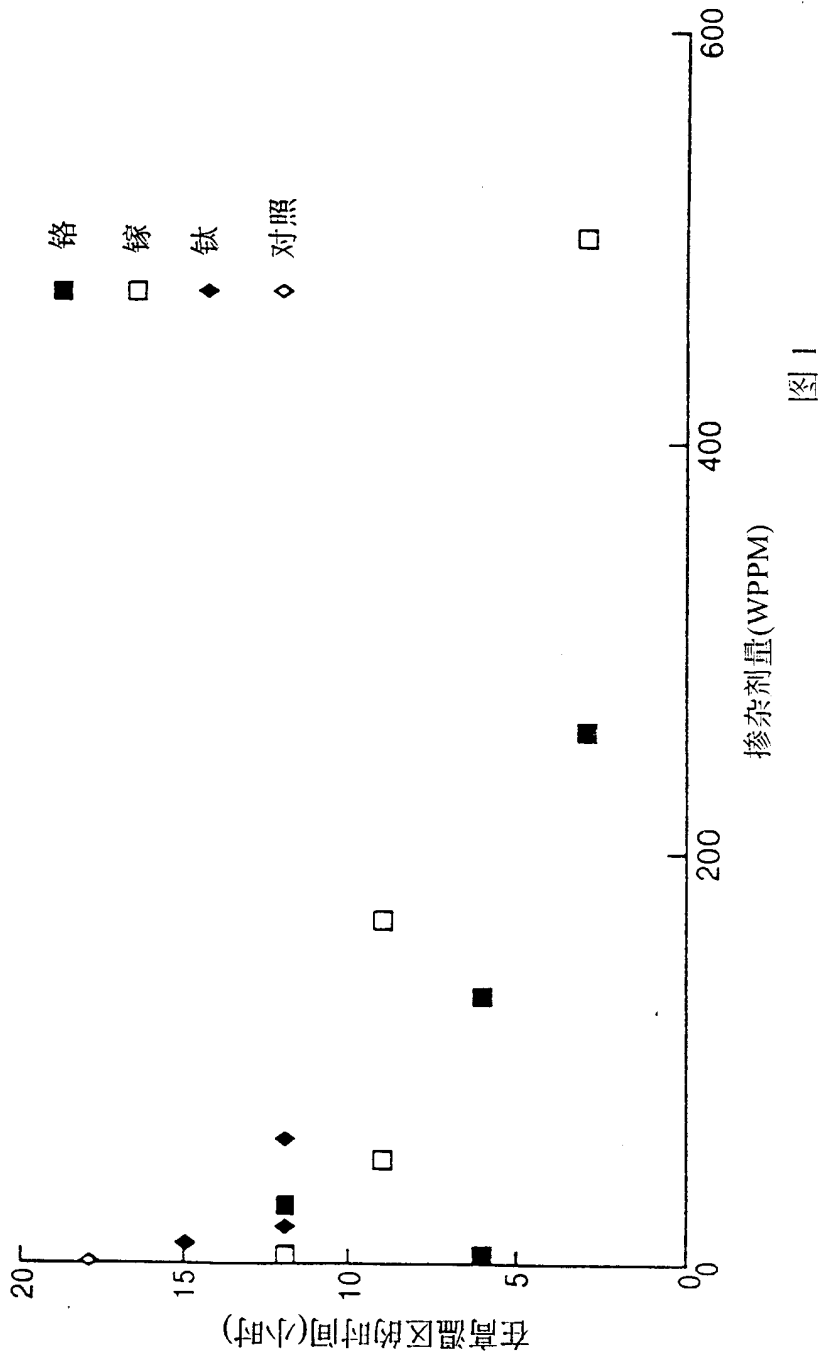
根据本发明方法制成的蓝宝石与用熔体拉制技术制成的蓝宝石是不同的，前者是随机孔隙排列和独特的呈轻度波浪形的表面构造相结合，这种波浪形的高点靠近转化成蓝宝石前每一个PCA晶粒所在位置的中点，而其低点则相当于转化前晶粒间界所在的位置。相反，由多种熔体-拉制技术制成的蓝宝石通常具有线性孔隙排列，它是由在控制过程中产生的气泡所造成的。

尽管本文描述了本发明的一些具体实施方案，但应该明白对于熟悉本领域的人员来说，本发明的其它各种变化是显而易见的并且很容易做出，它们在广义上不会脱离本发明的范围和精神。因此，不应该将所附权利要求书的范围限定在前面所描述的，而是应该将该权利要求书看成包括所存在本发明中具有专利新颖性的特征，包括所有被熟悉本发明有关领域的人员认为是等同物的那些特征。

举例来说，在实施本发明时除了用于生产Lucalox[®]的那些以外，可以使用合适的素瓷烧结氧化铝。例如，这些材料可以按照已知的方法使用在素瓷烧结阶段引入合适的选定的掺杂剂而由氧化铝粉来制得。这种已知的用于处理氧化铝粉末的方法的实例包括在美国专利US 3026210和41150317中所述的方法，这两份专利都转让给了本

申请的受让人，并在本文中作为对比文献而引入。另外，可以使用根据美国专利US 3026210和41150317所公开的将镁引入氧化铝中的相同的方法，将掺杂物材料引入用于制备多晶体的原材料中。用上述方式，或对熟悉本领域的人员来说显而易见的其它一些同样有效的方式制得的起始材料应该提供适用于该方法的起始材料，只要这些材料满足前面所述的纯度、密度、晶粒大小及晶粒结构要求即可。

同样，方法不限于将PCA转化成蓝宝石，按照上述方法，通过在合适的气氛中，在低于坯体熔化温度的温度下加热，就可以将任何一种用选定浓度的合适的能提高转化的掺杂物（即能够提高所述的特定材料的转化速率的一种掺杂物）掺杂的多晶体（如果它足够纯而且无孔）转化成单晶。



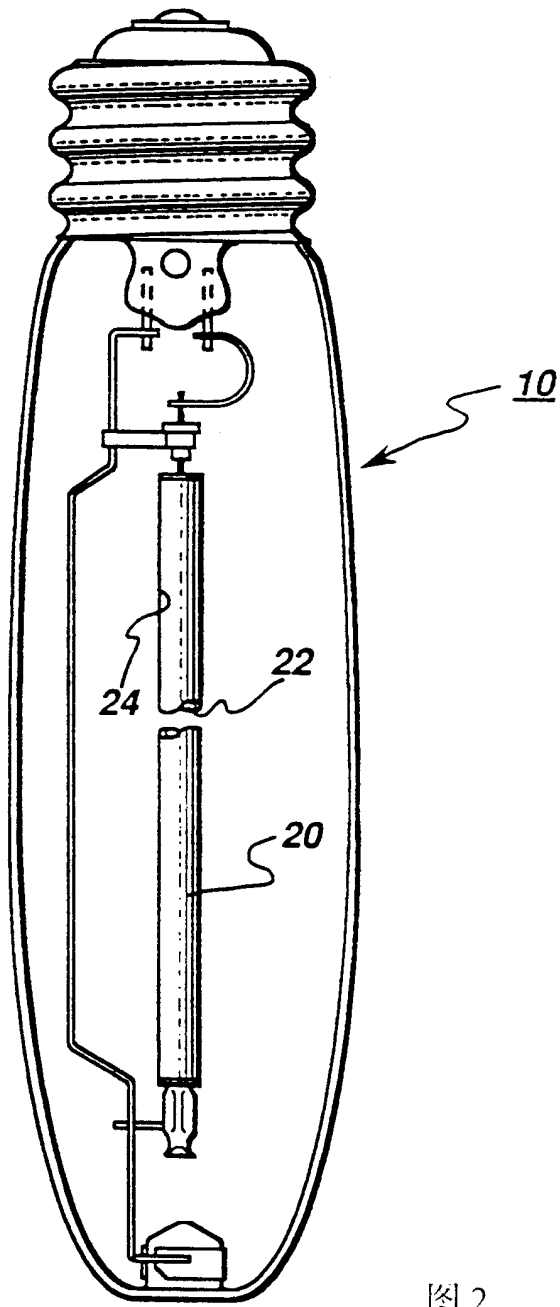


图 2