



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112723894 A

(43) 申请公布日 2021.04.30

(21) 申请号 202011634557.2

F27D 5/00 (2006.01)

(22) 申请日 2020.12.31

F27D 9/00 (2006.01)

(71) 申请人 中国建筑材料科学研究总院有限公司

F27D 11/10 (2006.01)

F27D 19/00 (2006.01)

地址 100024 北京市朝阳区管庄东里1号

(72) 发明人 张洪波 旷峰华 任佳乐 任瑞康 崔鸽

(74) 专利代理机构 北京鼎佳达知识产权代理事务所(普通合伙) 11348

代理人 张晓萍 刘铁生

(51) Int. Cl.

C04B 35/583 (2006.01)

C04B 35/622 (2006.01)

C04B 35/645 (2006.01)

F27B 17/00 (2006.01)

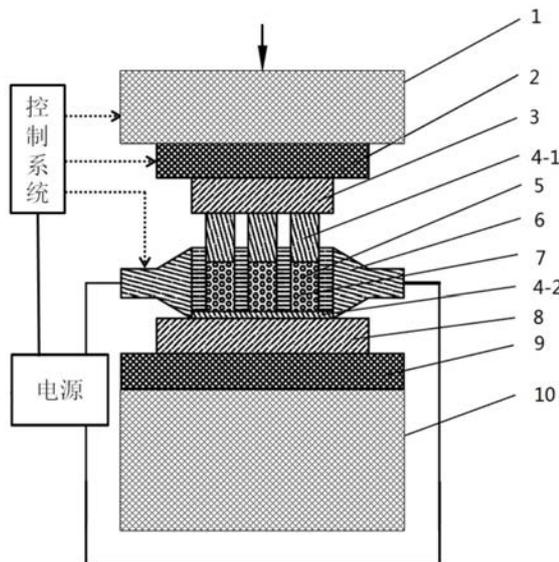
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

致密化六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置

(57) 摘要

本发明是关于一种致密化六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置。所述方法包括以下步骤：将六方氮化硼陶瓷原料装入石墨模具中；所述石墨模具包括石墨容器和石墨压头；所述石墨容器和所述石墨压头配合将所述六方氮化硼陶瓷原料完全包覆；为所述石墨模具通电使其升温；沿所述石墨压头的移动方向施加压力；保温保压；降温，得到六方氮化硼陶瓷；其密度≥1.6g/cm<sup>3</sup>，弯曲强度≥28MPa。所要解决的技术问题是如何制备一种致密化六方氮化硼陶瓷，使其既能快速烧结提高生产效率，所烧结的六方氮化硼陶瓷又具有较高的强度能够满足承载性的使用需求，同时所制备的产品尺寸不受限制，成本更经济，从而更加适于实用。



1. 一种致密化六方氮化硼陶瓷的制备方法,其特征在于,其包括以下步骤:

1) 将六方氮化硼陶瓷原料装入石墨模具中;所述石墨模具包括石墨容器和石墨压头;所述石墨容器和所述石墨压头配合将所述六方氮化硼陶瓷原料完全包覆;

2) 为所述石墨模具通电使其升温;沿所述石墨压头的移动方向施加压力;保温保压;降温,得到六方氮化硼陶瓷。

2. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,以质量百分含量计,所述六方氮化硼陶瓷原料包括 $\leq 5\%$ 的烧结助剂和 $\geq 95\%$ 的六方氮化硼陶瓷;所述六方氮化硼陶瓷原料为粉体或预成型的块体。

3. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤2)所述为所述石墨模具通电是指采用石墨电极紧密贴合所述的石墨容器,然后向所述石墨电极通电;所述石墨电极和所述石墨模具中的电流为1~10KA。

4. 根据权利要求3所述的制备方法,其特征在于,所述石墨模具和所述石墨电极均采用抗折强度大于60Mpa的高纯石墨,其电阻率 $\leq 20\mu\Omega \cdot m$ 。

5. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤2)所述升温的速度为50~100°C/min,升温至1750~1950°C。

6. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤2)所述的施加压力为分段施压或者恒压,压力为10~60Mpa。

7. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤2)所述的保温保压是指在1750~1950°C、10~60Mpa的条件下保持1~10min。

8. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤2)所述的降温为水冷降温,其降温速度为50°C/min~100°C/min。

9. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤2)所述升温、保温和降温的工艺时间总和 $\leq 120$ min。

10. 一种根据权利要求1至9任一项所述的制备方法制备的致密化六方氮化硼陶瓷,其特征在于,其密度 $\geq 1.6g/cm^3$ ,弯曲强度 $\geq 28$ MPa。

11. 一种六方氮化硼陶瓷致密化装置,其特征在于,其包括:

石墨模具,其包括石墨容器和石墨压头;所述石墨容器和所述石墨压头配合能够形成腔体;

石墨电极,紧密贴合所述的石墨容器用于为所述石墨模具通电使所述石墨模具升温;

轴向压力单元,用于向所述石墨容器和所述石墨压头施加压力;

水冷单元,用于使所述石墨容器和所述石墨压头降温;

控制系统,分别连接所述石墨电极、所述轴向压力单元和所述水冷单元;所述控制系统按照设置的烧结程序控制所述石墨电极、所述轴向压力单元和所述水冷单元的开启或关闭。

12. 根据权利要求11所述的六方氮化硼陶瓷致密化装置,其特征在于,所述石墨模具和所述石墨电极均采用抗折强度大于60Mpa的高纯石墨,其电阻率 $\leq 20\mu\Omega \cdot m$ 。

13. 根据权利要求11或12所述的六方氮化硼陶瓷致密化装置,其特征在于,所述石墨容器包括:

底板,为石墨材质的平板;

模腔,为石墨材质的块体;所述块体上设置若干贯穿的通孔;所述块体以通孔的开口端直接接触所述底板表面的方向摆放于所述底板上。

14.根据权利要求11所述的六方氮化硼陶瓷致密化装置,其特征在于,其还包括隔热绝缘层和载物台;所述隔热绝缘层设置于所述石墨压头的上方用于使所述石墨压头绝缘和隔热;所述载物台设置于所述石墨容器的下方以支撑所述石墨容器,且使所述石墨容器绝缘和隔热。

15.根据权利要求14所述的六方氮化硼陶瓷致密化装置,其特征在于,所述水冷单元包括上冷却层和下冷却层;

所述上冷却层设置于所述隔热绝缘层的上方;所述上冷却层包括循环水管;所述循环水管穿过所述隔热绝缘层为所述石墨压头降温;

所述下冷却层设置于所述载物台的下方;所述下冷却层包括循环水管;所述循环水管穿过所述载物台为所述石墨容器降温。

## 致密化六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于陶瓷制造技术领域,特别是涉及一种致密化六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置。

### 背景技术

[0002] 六方氮化硼(h-BN)由于其特殊的片层结构及自扩散系数低等特点,是一种难以致密化的陶瓷材料。目前,六方氮化硼陶瓷常用的制备方法主要有无压烧结(PLS)、热压烧结(HP)和放电等离子烧结(SPS)等。但是,上述几种方法制备的六方氮化硼陶瓷均存在缺陷。

[0003] 使用无压烧结制备的六方氮化硼陶瓷,其致密度低、力学性能差,只能满足非承载性的使用需求。

[0004] 使用热压烧结制备的六方氮化硼陶瓷,虽然可以获得高致密、较高强度的六方氮化硼陶瓷,但是存在烧结周期长、烧结制品规格尺寸受限等问题,导致难以制备大尺寸规格的六方氮化硼陶瓷,且其生产成本低、批量化效率较低等问题。

[0005] 使用放电等离子烧结制备的六方氮化硼陶瓷,虽然可以获得高致密、高强度六方氮化硼陶瓷,但是也存在设备造价昂贵、且产品尺寸受限等技术问题。

### 发明内容

[0006] 本发明的主要目的在于提供一种致密化六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置,所要解决的技术问题是如何制备一种致密化六方氮化硼陶瓷,使其既能快速烧结提高生产效率,所烧结的六方氮化硼陶瓷又具有较高的强度能够满足承载性的使用需求,同时所制备的产品尺寸不受限制,成本更经济,从而更加适于实用。

[0007] 本发明的目的及解决其技术问题是采用以下技术方案来实现的。依据本发明提出的一种致密化六方氮化硼陶瓷的制备方法,其包括以下步骤:

[0008] 1) 将六方氮化硼陶瓷原料装入石墨模具中;所述石墨模具包括石墨容器和石墨压头;所述石墨容器和所述石墨压头配合将所述六方氮化硼陶瓷原料完全包覆;

[0009] 2) 为所述石墨模具通电使其升温;沿所述石墨压头的移动方向施加压力;保温保压;降温,得到六方氮化硼陶瓷。

[0010] 本发明的目的及解决其技术问题还可采用以下技术措施进一步实现。

[0011] 优选的,前述的制备方法,其中所述的以质量百分含量计,所述六方氮化硼陶瓷原料包括 $\leq 5\%$ 的烧结助剂和 $\geq 95\%$ 的六方氮化硼陶瓷;所述六方氮化硼陶瓷原料为粉体或预成型的块体。

[0012] 优选的,前述的制备方法,其中步骤2)所述为所述石墨模具通电是指采用石墨电极紧密贴合所述的石墨容器,然后向所述石墨电极通电;所述石墨电极和所述石墨模具中的电流为1~10KA。

[0013] 优选的,前述的制备方法,其中所述石墨模具和所述石墨电极均采用抗折强度大于60Mpa的高纯石墨,其电阻率 $\leq 20\mu\Omega \cdot m$ 。

[0014] 优选的,前述的制备方法,其中步骤2)所述升温的速度为50~100°C/min,升温至1750~1950°C。

[0015] 优选的,前述的制备方法,其中步骤2)所述的施加压力为分段施压或者恒压,压力为10~60Mpa。

[0016] 优选的,前述的制备方法,其中步骤2)所述的保温保压是指在1750~1950°C、10~60Mpa的条件下保持1~10min。

[0017] 优选的,前述的制备方法,其中步骤2)所述的降温为水冷降温,其降温速度为50°C/min~100°C/min。

[0018] 优选的,前述的制备方法,其中步骤2)所述升温、保温和降温的工艺时间总和≤120min。

[0019] 本发明的目的及解决其技术问题还采用以下的技术方案来实现。依据本发明提出的一种根据前述的制备方法制备的致密化六方氮化硼陶瓷,其密度 $\geq 1.6\text{g/cm}^3$ ,弯曲强度 $\geq 28\text{MPa}$ 。

[0020] 本发明的目的及解决其技术问题还采用以下的技术方案来实现。依据本发明提出的一种六方氮化硼陶瓷致密化装置,其包括:

[0021] 石墨模具,其包括石墨容器和石墨压头;所述石墨容器和所述石墨压头配合能够形成腔体;

[0022] 石墨电极,紧密贴合所述的石墨容器用于为所述石墨模具通电使所述石墨模具升温;

[0023] 轴向压力单元,用于向所述石墨容器和所述石墨压头施加压力;

[0024] 水冷单元,用于使所述石墨容器和所述石墨压头降温;

[0025] 控制系统,分别连接所述石墨电极、所述轴向压力单元和所述水冷单元;所述控制系统按照设置的烧结程序控制所述石墨电极、所述轴向压力单元和所述水冷单元的开启或关闭。

[0026] 优选的,前述的六方氮化硼陶瓷致密化装置,其中所述石墨模具和所述石墨电极均采用抗折强度大于60Mpa的高纯石墨,其电阻率 $\leq 20\mu\Omega \cdot \text{m}$ 。

[0027] 优选的,前述的六方氮化硼陶瓷致密化装置,其中所述石墨容器包括:

[0028] 底板,为石墨材质的平板;

[0029] 模腔,为石墨材质的块体;所述块体上设置若干贯穿的通孔;所述块体以通孔的开口端直接接触所述底板表面的方向摆放于所述底板上。

[0030] 优选的,前述的六方氮化硼陶瓷致密化装置,其还包括隔热绝缘层和载物台;所述隔热绝缘层设置于所述石墨压头的上方用于使所述石墨压头绝缘和隔热;所述载物台设置于所述石墨容器的下方以支撑所述石墨容器,且使所述石墨容器绝缘和隔热。

[0031] 优选的,前述的六方氮化硼陶瓷致密化装置,其中所述水冷单元包括上冷却层和下冷却层;

[0032] 所述上冷却层设置于所述隔热绝缘层的上方;所述上冷却层包括循环水管;所述循环水管穿过所述隔热绝缘层为所述石墨压头降温;

[0033] 所述下冷却层设置于所述载物台的下方;所述下冷却层包括循环水管;所述循环水管穿过所述载物台为所述石墨容器降温。

[0034] 借由上述技术方案,本发明提出的一种致密化六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置至少具有下列优点:

[0035] 1、本发明提出的致密化六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置,其烧结速度极快,通过石墨电极直接向石墨模具提供直流电或交流电形成大电流,利用“石墨垫板+石墨模腔+石墨压头”组成发热组件,对所述六方氮化硼陶瓷原料形成全包覆加热,整个烧结过程从升温到降温在120分钟内可完成,烧结保温时长少于10分钟;

[0036] 2、本发明提出的致密化六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置,其结构设计简单,无需设置真空腔室,也无需提供真空环境和气氛保护,使得所述装置的占地面积小、造价成本低;

[0037] 3、本发明提出的致密化六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置,其可实现大尺寸制品烧结,一方面是由于所述的装置无需真空腔使得其加工环境不受限制,另一方面是由于采用发热组件全面包覆所述的六方氮化硼陶瓷原料,对其直接进行加热,使得六方氮化硼陶瓷整体受热均匀,因此可制备直径不小于600mm的六方氮化硼陶瓷;

[0038] 4、本发明提出的致密化六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置,其通过将所述石墨模具设计为“石墨垫板+石墨模腔+石墨压头”的组合设计,且所述石墨模腔可以是单腔室或者多腔室,也可以不同的石墨模腔拼装,使得其可以满足多组样品同时烧结,从而实现材料的高通量研发和批量化制备。

[0039] 上述说明仅是本发明技术方案的概述,为了能够更清楚了解本发明的技术手段,并可依照说明书的内容予以实施,以下以本发明的较佳实施例并配合附图详细说明如后。

## 附图说明

[0040] 图1是本发明提出的六方氮化硼陶瓷致密化装置的结构示意图;

[0041] 图2是石墨模腔结构示意图-单腔室;

[0042] 图3是石墨模腔结构示意图-多腔室。

## 具体实施方式

[0043] 为更进一步阐述本发明为达成预定发明目的所采取的技术手段及功效,以下结合附图及较佳实施例,对依据本发明提出的一种六方氮化硼陶瓷及其制备方法和装置其具体实施方式、结构、特征及其功效,详细说明如后。

[0044] 本发明提出一种致密化六方氮化硼陶瓷的制备方法,其包括以下步骤:1)将六方氮化硼陶瓷原料装入石墨模具中;所述石墨模具包括石墨容器和石墨压头;所述石墨容器和所述石墨压头配合将所述六方氮化硼陶瓷原料完全包覆;2)为所述石墨模具通电使其升温;沿所述石墨压头的移动方向施加压力;保温保压;降温,得到六方氮化硼陶瓷。

[0045] 所述六方氮化硼陶瓷又称为h-BN陶瓷。

[0046] 利用“石墨容器+石墨压头”形成六方氮化硼陶瓷原料的包覆层,将所述六方氮化硼陶瓷原料完全包覆;给所述石墨模具通电,使其升温,烧结其所包覆的六方氮化硼陶瓷原料。所述的六方氮化硼陶瓷原料在升温过程中一直在发生烧结,只是未施加压力之前所述的六方氮化硼陶瓷尚未发生致密化。

[0047] 所述的技术方案中,以质量百分含量计,优选所述六方氮化硼陶瓷原料包括 $\leq 5\%$

的烧结助剂和 $\geq 95\%$ 的六方氮化硼陶瓷;所述六方氮化硼陶瓷原料为粉体或预成型的块体。

[0048] 所述六方氮化硼陶瓷原料可以是纯相的组分,也可以包含质量百分含量 $\leq 5\%$ 的烧结助剂以助于其烧结。

[0049] 优选的,步骤2)所述为所述石墨模具通电是指采用石墨电极紧密贴合所述的石墨容器,然后向所述石墨电极通电;所述石墨电极和所述石墨模具中的电流为 $1\sim 10\text{KA}$ 。

[0050] 所述电极采用石墨电极,主要考虑石墨电极耐高温,且具有高导电性,其可以在六方氮化硼陶瓷的烧结温度下工作,且能够以大电流急速升温,从而可以实现六方氮化硼陶瓷的快速烧结且致密化。

[0051] 当升温速度相同的时候,所述的电流值随着温度的升高而升高。

[0052] 当温度相同的时候,所述的电流值随着升温速度的升高而升高。

[0053] 优选的,所述石墨模具和所述石墨电极均采用抗折强度大于 $60\text{Mpa}$ 的高纯石墨,其电阻率 $\leq 20\mu\Omega\cdot\text{m}$ 。

[0054] 所述石墨模具在烧结过程中,会承受所述轴向压力单元施加的压力,因此其对于石墨材料的抗折强度具有一定的要求,要求所述石墨既具有大于或者等于 $60\text{Mpa}$ 的抗压强度以使其能够在压力条件下正常工作,还要求其具有小于或者等于 $20\mu\Omega\cdot\text{m}$ 的电阻率,以使其能够实现大电流急速升温。

[0055] 优选的,步骤2)所述升温的速度为 $50\sim 100^\circ\text{C}/\text{min}$ ,升温至 $1750\sim 1950^\circ\text{C}$ 。

[0056] 本发明的六方氮化硼陶瓷其烧结的保温温度 $1750\sim 1950^\circ\text{C}$ 。为了节约工时,实现快速达成上述的烧结条件,本发明限定了所述石墨电极直接为石墨模具通电,且限定所述石墨的材质以及所述石墨模具全面包覆所述的六方氮化硼陶瓷原料,使所述石墨模具能够以大电流实现急速升温,从而提高生产效率,成本经济。

[0057] 优选的,步骤2)所述的施加压力为分段施压或者恒压,压力为 $10\sim 60\text{Mpa}$ 。

[0058] 所述的施加压力可以是在升温过程中分段加压,所述的压力可以根据工艺需要变化;也可以是在升温 and 保温过程中保持恒压。在实际生产过程中可以根据六方氮化硼陶瓷的烧结工艺设定烧结程序即可。

[0059] 优选的,步骤2)所述的保温保压是指在 $1750\sim 1950^\circ\text{C}$ 、 $10\sim 60\text{Mpa}$ 的条件下保持 $1\sim 10\text{min}$ 。

[0060] 优选的,步骤2)所述的降温为水冷降温,其降温速度为 $50^\circ\text{C}/\text{min}\sim 100^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

[0061] 优选的,步骤2)所述升温、保温和降温的工艺时间总和 $\leq 120\text{min}$ 。

[0062] 本发明所述致密化六方氮化硼陶瓷的制备方法,通过“石墨模具全面包覆六方氮化硼陶瓷原料,并直接给所述石墨模具通电,形成大电流使其急速升温,并为其施加压力使所述六方氮化硼陶瓷烧结和致密化”的工艺,使得所述六方氮化硼陶瓷的烧结速度极快,整个烧结过程从升温到降温在120分钟内可完成,烧结保温时长少于10分钟。

[0063] 本发明还提出一种根据前述的制备方法制备的致密化六方氮化硼陶瓷,其密度 $\geq 1.6\text{g}/\text{cm}^3$ ,弯曲强度 $\geq 28\text{MPa}$ 。

[0064] 本发明还提出一种六方氮化硼陶瓷致密化装置,如附图1至附图3所示,其包括:

[0065] 石墨模具7,其包括石墨容器4-3和石墨压头4-1;所述石墨容器4-3和所述石墨压头4-1配合能够形成腔体;

[0066] 石墨电极6,紧密贴合所述的石墨容器4-3用于为所述石墨模具7通电使所述石墨模具7升温;

[0067] 轴向压力单元1,用于向所述石墨容器4-3和所述石墨压头4-1施加压力;

[0068] 水冷单元,用于使所述石墨容器4-3和所述石墨压头4-1降温;

[0069] 控制系统,分别连接所述石墨电极6、所述轴向压力单元1和所述水冷单元;所述控制系统按照设置的烧结程序控制所述石墨电极6、所述轴向压力单元1和所述水冷单元的开启或关闭。

[0070] 所述腔体用于容纳将要被致密化的六方氮化硼陶瓷原料5。

[0071] 所述控制系统包括电源控制系统、压力控制系统、温度监控系统以及循环水控制系统;所述电源控制系统和所述温度监控系统用于控制是否向所述石墨电极提供直流电或交流电以加热所述的石墨模具;所述压力控制系统用于控制所述轴向压力单元是否向所述石墨模具施加压力;所述循环水控制系统和所述温度监控系统用于控制所述水冷单元是否使所述石墨容器和所述石墨压头水冷降温。

[0072] 所述的温度监控系统采用红外测温。

[0073] 上述六方氮化硼陶瓷致密化装置无需真空和气氛保护,无需设计真空腔室,所述装置的占地面积小、造价成本低。

[0074] 所述轴向压力单元1通过机械传动或液压传动向所述石墨容器4-3和所述石墨压头4-1施加压力。

[0075] 上述的六方氮化硼陶瓷致密化装置还包括基座10用于支撑所述的装置;所述基座10内部为空腔,所述空腔中设置有机械传动部件、液压传动部件以及变压器部件;所述基座10的材质可以是铸铁、304不锈钢、316L不锈钢等耐高温和高导热性的材料。

[0076] 优选的,所述石墨模具和所述石墨电极均采用抗折强度大于60Mpa的高纯石墨,其电阻率 $\leq 20\mu\Omega \cdot m$ 。

[0077] 所述石墨模具在烧结过程中,会承受所述轴向压力单元施加的压力,因此其对于石墨材料的抗折强度具有一定的要求,要求所述石墨既具有大于或者等于60Mpa的抗压强度以使其能够在压力条件下正常工作,还要求其具有小于或者等于 $20\mu\Omega \cdot m$ 的电阻率,以使其能够实现大电流急速升温。

[0078] 优选的,所述石墨容器4-3包括:

[0079] 底板4-2,为石墨材质的平板;

[0080] 模腔,为石墨材质的块体;所述块体上设置若干贯穿的通孔4-4;所述块体以通孔4-4的开口端直接接触所述底板4-2表面的方向摆放于所述底板4-2上。

[0081] 所述的石墨容器4-3设置为底板4-2和模腔为可以活动组装的结构形式,其目的在于:其一,所述的模腔更容易加工;其二,烧结成型后的致密化六方氮化硼陶瓷产品更容易脱模;其三,当产品的尺寸、形状结构发生变化时,仅需更换模腔即可,而所述的底板则可以共用,使得加工工艺更简单。

[0082] 优选的,所述的模腔包括若干贯穿的通孔4-4,也即所述模腔可以是单腔室结构,也可以是多腔室结构,使其可以实现高通量研发和批量化生产。

[0083] 优选的,所述的模腔可以彼此组合使用,也即一次加工过程就可以制备出形状、规格不同的产品。

[0084] 优选的,所述的模腔大小可以任意调整;当所述模腔的直径大于600mm时,所述的石墨模具,也即由底板4-2、模腔和压头4-1组成的发热组件全面包覆所述的被致密化的六方氮化硼陶瓷原料,使其能够均匀受热,制造出大尺寸的致密化六方氮化硼陶瓷产品。

[0085] 优选的,所述装置由于不需要真空或者气氛保护,无真空腔室设计,因此可以不受真空腔室的约束,可以实现大尺寸六方氮化硼陶瓷的烧结,其最大试样的直径 $\geq 600\text{mm}$ 。

[0086] 优选的,其还包括隔热绝缘层3和载物台8;所述隔热绝缘层3设置于所述石墨压头4-1的上方用于使所述石墨压头4-1绝缘和隔热;所述载物台8设置于所述石墨容器4-3的下方以支撑所述石墨容器4-3,且使所述石墨容器绝缘和隔热。

[0087] 所述载物台8的材质与所述隔热绝缘层3的材质相同,其除了起支撑所述石墨模具的作用之外,同时还起到与所述隔热绝缘层相同的作用。所述载物台与所述隔热绝缘层的材质可以是氧化铝、氧化锆、莫来石、刚玉、尖晶石等隔热绝缘材料。

[0088] 优选的,所述水冷单元包括上冷却层2和下冷却层9;

[0089] 所述上冷却层2设置于所述隔热绝缘层3的上方;所述上冷却层2包括循环水管;所述循环水管穿过所述隔热绝缘层3为所述石墨压头4-1降温;

[0090] 所述下冷却层9设置于所述载物台8的下方;所述下冷却层9包括循环水管;所述循环水管穿过所述载物台8为所述石墨容器4-3降温。

[0091] 所述上冷却层2和所述下冷却层9的材质可以是铸铁、304不锈钢、316L不锈钢等耐高温并高导热性的材料;进一步的,所述的上冷却层和下冷却层内设置了循环水通道,以实现其对所述装置的水冷降温。

[0092] 下面通过更为具体的实施例对本发明的技术方案做进一步说明。实施例中的检测项目密度和弯曲强度均采用本领域惯用的检测方法测试。

[0093] 实施例1

[0094] 本实施例提出一种致密化六方氮化硼陶瓷的制备方法,其包括以下步骤:

[0095] 将六方氮化硼陶瓷原料装入石墨模具中;所述六方氮化硼陶瓷原料为纯六方氮化硼陶瓷粉体,未添加烧结助剂;所述石墨模具包括石墨容器和石墨压头;所述石墨的抗折强度60MPa,其电阻率 $12.7\mu\Omega\cdot\text{m}$ ;所述石墨容器和所述石墨压头配合将所述六方氮化硼陶瓷原料完全包覆;采用石墨电极紧密贴合所述的石墨容器,然后向所述石墨电极通电,电流为1~10KA,控制其升温速率为 $100^\circ\text{C}/\text{min}$ ;所述石墨压头向下施加压力;压力制度如下:升温至 $800^\circ\text{C}$ 时开始施加压力10MPa,于恒压10MPa下继续升温至 $1950^\circ\text{C}$ ,施加压力60MPa;于 $1950^\circ\text{C}$ 、60MPa下保温保压10min;以 $100^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速度降温至室温。

[0096] 本实施例所制备的致密化六方氮化硼陶瓷的密度为 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ ,弯曲强度为28MPa。

[0097] 实施例2

[0098] 本实施例提出一种致密化六方氮化硼陶瓷的制备方法,其包括以下步骤:

[0099] 将六方氮化硼陶瓷原料装入石墨模具中;所述六方氮化硼陶瓷原料包括99%的六方氮化硼陶瓷粉体和1%的烧结助剂;所述石墨模具包括石墨容器和石墨压头;所述石墨的抗折强度60MPa,其电阻率 $12.7\mu\Omega\cdot\text{m}$ ;所述石墨容器和所述石墨压头配合将所述六方氮化硼陶瓷原料完全包覆;采用石墨电极紧密贴合所述的石墨容器,然后向所述石墨电极通电,电流为1~10KA,控制其升温速率为 $100^\circ\text{C}/\text{min}$ ;所述石墨压头向下施加压力;压力制度如下:升温至 $800^\circ\text{C}$ 时开始施加压力50MPa,于50MPa恒压下升温至 $1750^\circ\text{C}$ ;于 $1750^\circ\text{C}$ 、50MPa下

保温保压7min;以100°C/min的速度降温至室温。

[0100] 本实施例所制备的致密化六方氮化硼陶瓷的密度为1.9g/cm<sup>3</sup>,弯曲强度为30MPa。

[0101] 实施例3

[0102] 本实施例提出一种致密化六方氮化硼陶瓷的制备方法,其包括以下步骤:

[0103] 将六方氮化硼陶瓷原料装入石墨模具中;所述六方氮化硼陶瓷原料包括97%的六方氮化硼陶瓷粉体和3%的烧结助剂;所述石墨模具包括石墨容器和石墨压头;所述石墨的抗折强度60MPa,其电阻率12.7μΩ·m;所述石墨容器和所述石墨压头配合将所述六方氮化硼陶瓷原料完全包覆;采用石墨电极紧密贴合所述的石墨容器,然后向所述石墨电极通电,电流为1~10KA,控制其升温速率为50°C/min;所述石墨压头向下施加压力;压力制度如下:升温至800°C时开始施加压力20MPa,恒压20MPa下升温至1850°C,施加压力40MPa;于1850°C、40MPa下保温保压5min;以50°C/min的速度降温至室温。

[0104] 本实施例所制备的致密化六方氮化硼陶瓷的密度为2g/cm<sup>3</sup>,弯曲强度为35MPa。

[0105] 实施例4

[0106] 本实施例提出一种致密化六方氮化硼陶瓷的制备方法,其包括以下步骤:

[0107] 将六方氮化硼陶瓷原料装入石墨模具中;所述六方氮化硼陶瓷原料为由95%的六方氮化硼陶瓷粉体和5%的烧结助剂制成的预烧结块体;所述石墨模具包括石墨容器和石墨压头;所述石墨的抗折强度60MPa,其电阻率12.7μΩ·m;所述石墨容器和所述石墨压头配合将所述六方氮化硼陶瓷原料完全包覆;采用石墨电极紧密贴合所述的石墨容器,然后向所述石墨电极通电,电流为1~10KA,控制其升温速率为50°C/min;所述石墨压头向下施加压力;压力制度如下:升温至800°C时开始施加压力30MPa,于恒压30MPa下升温至1950°C,施加压力30MPa;于1950°C、30MPa下保温保压5min;以50°C/min的速度降温至室温。

[0108] 本实施例所制备的致密化六方氮化硼陶瓷的密度为2.2g/cm<sup>3</sup>,弯曲强度为43MPa。

[0109] 本发明权利要求和/或说明书中的技术特征可以进行组合,其组合方式不限于权利要求中通过引用关系得到的组合。通过权利要求和/或说明书中的技术特征进行组合得到的技术方案,也是本发明的保护范围。

[0110] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均仍属于本发明技术方案的范围内。

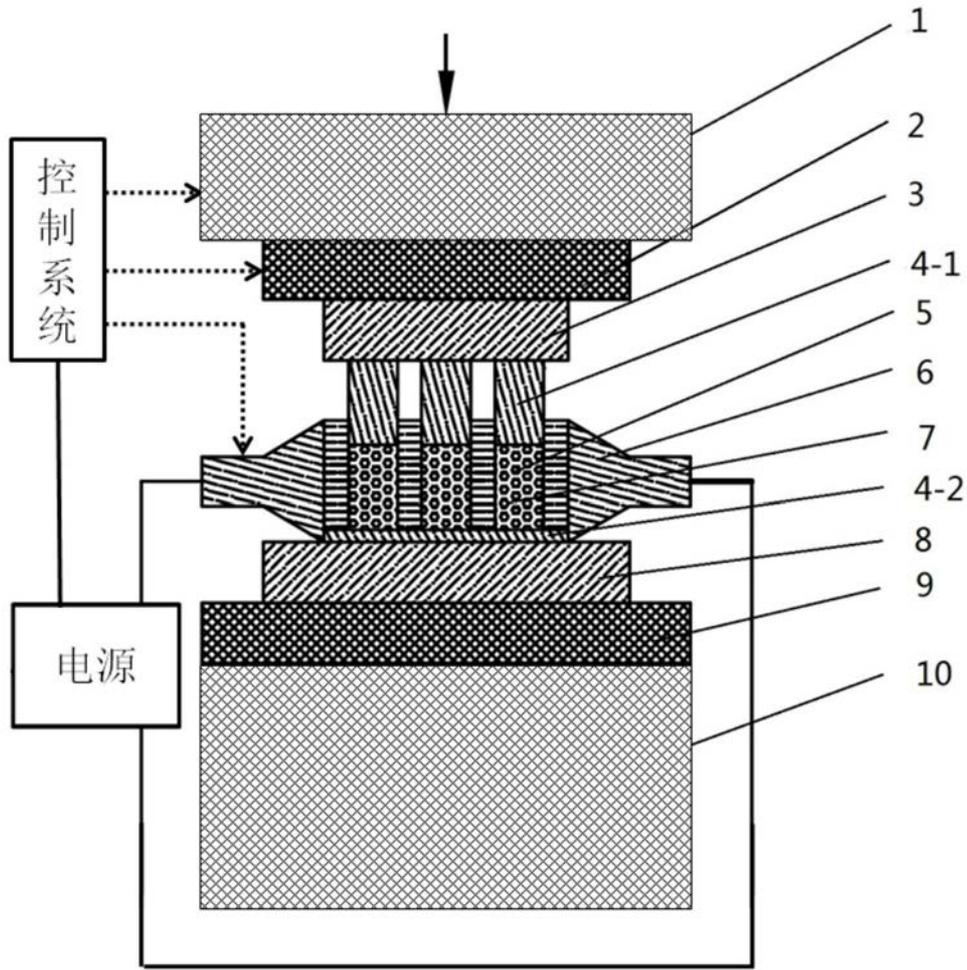


图1

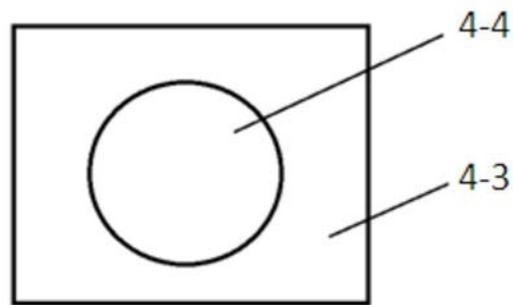


图2

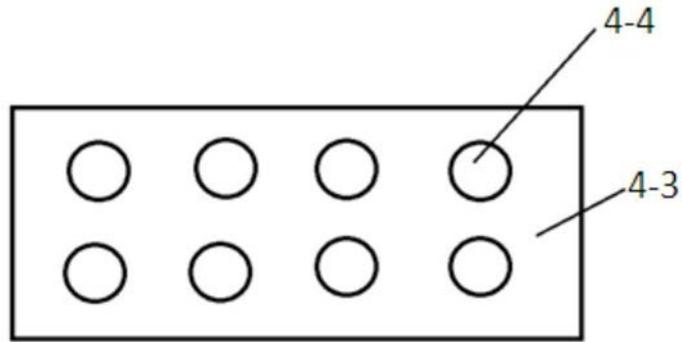


图3