



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111560589 B

(45) 授权公告日 2021.03.05

(21) 申请号 202010418357.7

(22) 申请日 2020.05.18

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111560589 A

(43) 申请公布日 2020.08.21

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 夏原 李光

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.
G23C 14/35 (2006.01)
G23C 14/16 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 110098044 A, 2019.08.06
US 2011/0005920 A1, 2011.01.13
DE 102011080898 A1, 2013.02.14
GB 2454743 A, 2009.05.20

审查员 于慧泽

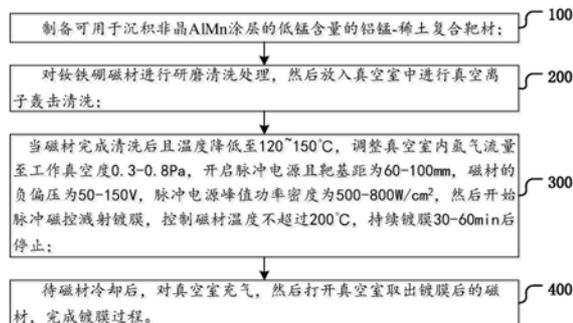
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种应用于钹铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法

(57) 摘要

本发明提供一种应用于钹铁硼的低锰含量非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,制备铝锰-稀土以作为复合靶材;先对钹铁硼磁材进行研磨清洗和真空离子轰击清洗;磁材温度降低至120~150℃,调整真空室内氩气流量至工作真空度0.3~0.8Pa,开启脉冲电源且与靶材基距为60~100mm,负偏压为50-150V,峰值功率密度为500~800W/cm²,然后开始脉冲磁控溅射镀膜,控制磁材温度不超过200℃,持续镀膜30-60min后停止;待磁材冷却后,对真空室充气,取出镀膜后的磁材,完成镀膜过程。本发明通过调整靶基距、偏压、基片温度和功率等参数得到了最适合于制备非晶铝锰涂层的磁控溅射工艺参数,降低了形成铝锰非晶结构所需要的锰含量。



1. 一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤100,制备用于沉积非晶AlMn涂层的铝锰-稀土复合靶材料;

步骤200,对钕铁硼磁材进行研磨清洗处理,然后放入真空室中进行真空离子轰击清洗;

步骤300,当磁材完成清洗后且温度降低至120~150℃,调整真空室内氩气流量至工作真空度0.3-0.8Pa,开启脉冲电源且靶基距为60-100mm,磁材的负偏压为50-150V,脉冲电源峰值功率密度为500-800W/cm²,然后开始脉冲磁控溅射镀膜,控制磁材温度不超过200℃,持续镀膜30-60min后停止;

步骤400,待磁材冷却后,对真空室充气,然后打开真空室取出镀膜后的磁材,完成镀膜过程。

2. 根据权利要求1所述的一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,

所述复合靶材的制备过程如下:

步骤101,按百分含量准备Mn 10~12%,Pr 0.8~1.5%,其余为Al;

步骤102,首先将Al进行加热熔化,再依次加入Mn和Pr,待添加物全部熔化后,再加入造渣剂进行10min静置除渣;

步骤103,将除渣后的熔液倒入水冷模具冷却后得到合金铸锭;

步骤104,将获取的合金铸锭经过热锻、轧制、剪切和表面处理后,得到铝锰-稀土形成的复合靶材。

3. 根据权利要求1所述的一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,

所述步骤200中,对磁材进行研磨清洗处理过程如下:

步骤201,先将所述磁材置于振动式研磨机内,使用碳化硅与棕刚玉的混料对其进行倒角磨面,直至所述磁材的边角圆弧不小于0.5mm时停止;

步骤202,再对所述磁材喷砂处理20min,然后进行抛光处理;

步骤203,将抛光后的所述磁材置于超声波清洗器中,使用金属清洗剂超声清洗30min,然后用去离子水超声波清洗10min,之后使用无水乙醇超声清洗5min,最后用热空气烘干完成清洗过程。

4. 根据权利要求1所述的一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,

所述步骤200中,放入真空室中进行真空离子轰击清洗的过程如下:

步骤211,将清洗后的所述磁材装配于真空室的夹具上,调整靶基距为60~100mm,关闭炉门;

步骤212,然后分别启动机械泵和分子泵进行抽真空操作,当真空室内的真空度为 3×10^{-3} Pa时,向真空室内通入氩气;

步骤213,保持工作气压在1.5~2Pa,施加900V的负偏压,对磁材真空辉光清洗15min,完成清洗过程。

5. 根据权利要求1所述的一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,

所述步骤300中,在对所述磁材进行镀膜前,需要等待所述磁材降温至120~150℃。

6.根据权利要求1所述的一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,

所述步骤300中,在对所述磁材进行镀膜的时间为30~60min。

7.根据权利要求1所述的一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,

所述步骤300中,脉冲电源峰值功率密度为500~800W/cm²。

8.根据权利要求1所述的一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,

所述步骤300中的磁材最终的镀膜厚度为4~6μm。

9.根据权利要求1所述的一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,

所述步骤400中对所述磁材的冷却时间为10min。

10.根据权利要求1所述的一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,

还包括耐腐蚀实验步骤,将镀膜完成后的所述磁材,放入中性盐雾中,经过1000h后取出,磁材表面无腐蚀痕迹表明镀膜成功。

一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及低温等离子体物理与化学中材料表面改性技术领域,具体涉及一种高功率脉冲HIPIMS技术在钕铁硼磁材表面制备铝锰非晶涂层的制备工艺。

背景技术

[0002] 钕铁硼(NdFeB)作为第三代稀土永磁材料,具有非常优异的磁性能和高性价比,广泛应用于电子通讯、航空航天、交通能源、计算机等领域方面。但是钕铁硼磁体是采用粉末烧结技术制成的,疏松多孔的特征导致其很难在磁材表面形成氧化物保护层,极易被腐蚀,所以使用过程中必须在钕铁硼表面制备保护层。

[0003] 目前磁材表面防腐涂层主要是镍、锌或铝层,但是纯金属涂层由于其防腐机理的单一性导致防护能力有限。铝锰合金涂层具有比钕铁硼基体更低的腐蚀电位,在电化学腐蚀环境中作为阳极,对钕铁硼基体构成牺牲阳极保护;同时铝锰合金薄膜表面还可以发生氧化反应形成致密稳定的钝化膜,进一步延缓钕铁硼基体在腐蚀环境中的腐蚀过程。

[0004] 国内NdFeB磁材表面防护主流处理方法为电镀和化学镀,专利CN107923003A使用电镀的方法在磁材表面形成了铝锰涂层,但是电镀和化学镀技术制备涂层普遍存在着附着率低、磁能衰减快等现象,并且废液会导致环境污染严重,不符合绿色环保的发展方向。真空镀膜技术在对NdFeB磁材表面防护处理时具有成本低、无废弃物、无污染等优点,因而将其作为新一代NdFeB磁体表面防护绿色制造技术具有很强的现实意义。

[0005] 在真空镀膜中,磁控溅射技术(HIPIMS)是通过粒子轰击溅射靶材原子制备涂层,为真空腔内的干式镀膜,涂层不易受到污染,有利于形成非晶结构,其具有致密性高、涂层内部针孔少和结合力高等优点,磁控溅射制备的铝锰涂层耐腐蚀寿命是电镀的5-10倍。另外,防腐涂层的晶体结构类型对其耐腐蚀性能影响极大,铝锰非晶涂层的耐腐蚀寿命是铝锰晶体涂层的十倍以上。

[0006] 电镀制备非晶铝锰涂层时通常需要锰含量24%以上才能形成非晶结构,虽然磁控溅射技术更有利于形成非晶涂层,也需要锰含量超过20%时才能形成非晶结构,但是当铝锰合金锰含量超过14%时会析出 Al_6Mn 脆性化合物成为裂纹生产源,导致合金脆性增大、裂纹增多,难以对熔炼合金进行锻造、剪切加工成为磁控溅射靶材。

[0007] 虽然可以使用铝锰拼接靶材制备涂层,但是拼接靶材制备的涂层成分准确率和整洁度都低于熔炼靶材,涂层质量较差。为了在钕铁硼表面使用磁控溅射方法制备铝锰非晶涂层,必须降低靶材涂层中的锰含量,但是降低锰含量会导致涂层非晶结构的转变,所以需要一种新的制备工艺,降低铝锰合金形成非晶结构时对锰含量的需求。

发明内容

[0008] 本文发明的目的是提供一种高功率脉冲磁控溅射技术在钕铁硼磁材表面制备铝锰非晶涂层的制备方法。

[0009] 具体地,本发明提供一种应用于钕铁硼的非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,包括

如下步骤：

[0010] 步骤100,制备铝锰-稀土以作为复合靶材;制备可用于沉积非晶AlMn涂层的低锰含量的铝锰-稀土复合靶材;

[0011] 步骤200,先对钹铁硼磁材进行研磨清洗处理,然后放入真空室中进行真空离子轰击清洗;

[0012] 步骤300,当磁材完成清洗后且温度降低至120~150℃,调整真空室内氩气流量至工作真空度0.3-0.8Pa,开启脉冲电源且靶基距为60-100mm,磁材的负偏压为50-150V,脉冲电源峰值功率密度为500-800W/cm²,然后开始脉冲磁控溅射镀膜,控制磁材温度不超过200℃,持续镀膜30-60min后停止;

[0013] 步骤400,待磁材冷却后,对真空室充气,然后打开真空室取出镀膜后的磁材,完成镀膜过程。

[0014] 在本发明的一个实施方式中,所述复合靶材的制备过程如下:

[0015] 步骤101,按百分含量准备Mn10~12%,Pr0.8~1.5%,其余为Al;

[0016] 步骤102,首先将Al进行加热熔化,再依次加入Mn和Pr,待添加物全部熔化后,再加入造渣剂进行10min静置除渣;

[0017] 步骤103,将除渣后的熔液浇入水冷模具冷却后得到合金铸锭;

[0018] 步骤104,将获取的合金铸锭经过热锻、轧制、剪切和表面处理,得到铝锰-稀土形成的复合靶材。

[0019] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤200中,对磁材进行研磨清洗处理过程如下:

[0020] 步骤201,先将所述磁材置于振动式研磨机内,使用碳化硅与棕刚玉的混料对其进行倒角磨面,直至所述磁材的边角圆弧不小于0.5mm时停止;

[0021] 步骤202,再对所述磁材喷砂处理20min,然后进行抛光处理;

[0022] 步骤203,将抛光后的所述磁材置于超声波清洗器中,使用金属清洗剂超声清洗30min,然后用去离子水超声波清洗10min,之后使用无水乙醇超声清洗5min,最后用热空气烘干完成清洗过程。

[0023] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤200中,放入真空室中进行真空离子轰击清洗的过程如下:

[0024] 步骤211,将清洗后的所述磁材装配于真空室的夹具上,调整靶基距为60~100mm,关闭炉门;

[0025] 步骤212,然后分别启动机械泵和分子泵进行抽真空操作,当真空室内的真空度为 3×10^{-3} Pa时,向真空室内通入氩气;

[0026] 步骤213,保持工作气压在1.5~2Pa,施加900V的负偏压,对磁材真空辉光清洗15min,完成清洗过程。

[0027] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤300中,在对所述磁材进行镀膜前,需要等待所述磁材降温至120~150℃。

[0028] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤300中,在对所述磁材进行镀膜的时间优选为30~60min。

[0029] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤300中,脉冲电源峰值功率密度优选为500

~800W/cm²。

[0030] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤300中的磁材最终的镀膜厚度为4~6μm。

[0031] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤400中对所述磁材的冷却时间为10min。

[0032] 在本发明的一个实施方式中,还包括耐腐蚀实验步骤,将镀膜完成后的所述磁材,放入中性盐雾中,经过1000h后取出,磁材表面无腐蚀痕迹表明镀膜成功。

[0033] 本发明通过在铝锰靶材中添加稀土元素Pr,降低了形成铝锰非晶结构涂层所需要的锰含量,从而不会造成合金铸锭成脆性过大的情况,可以对其进行锻造加工成靶材,实现磁控溅射技术制备非晶铝锰涂层。

[0034] 通过调整靶功率、靶基距、偏压和基片温度等参数得到了最适合于制备非晶铝锰涂层的磁控溅射工艺参数,进一步降低了形成铝锰非晶结构所需要的锰含量。

附图说明

[0035] 图1是本发明一个实施方式的HIPIMS制备方法流程示意图;

[0036] 图2是本发明一个实施方式的复合靶材制备流程示意图;

[0037] 图3是本发明一个实施方式的磁材研磨清洗处理流程示意图;

[0038] 图4是本发明一个实施方式的磁材真空清洗流程示意图;

[0039] 图5是本发明一个实施方式的磁材镀膜过程示意图。

具体实施方式

[0040] 磁控溅射冷镀为真空腔内的干式镀膜,涂层不易受到污染,而且更容易形成非晶结构(AlMn电镀涂层,Mn含量超过24%才能形成非晶,磁控溅射只需20%的Mn就能形成非晶);而且磁控溅射既不排放废液,也无环境污染,具有绿色环保的特点。

[0041] 由于提高功率可以提高溅射粒子能量,使其更容易填补晶格间隙,形成非晶结构涂层,所以在磁控溅射基础上,我们选择使用高功率脉冲磁控溅射(HIPIMS)技术。

[0042] 如图1所示,在本发明的一个实施方式公开中低锰含量非晶铝锰涂层的HIPIMS制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

[0043] 步骤100,制备可用于沉积非晶AlMn涂层的低锰含量的铝锰-稀土复合靶材;

[0044] 为了降低形成铝锰非晶涂层所需要的锰含量,需要对制备工艺参数进行调整以促进涂层的非晶化过程。本方案向铝锰靶材中掺杂微量稀土元素Pr,Pr具有细化晶粒的功能,可以改善涂层的组织结构、提高涂层的致密性,以促进涂层的非晶化。Pr的添加大大减少形成非晶态所需要的锰含量,使在Mn添加量低于14%的条件下就可以形成非晶铝锰合金,避免了脆性化合物的析出导致的合金脆性过大、无法加工等问题。

[0045] 如图2所示,经多组正交实验,给出如下制作复合靶材的步骤:

[0046] 步骤101,按百分含量准备Mn10~12%,Pr0.8~1.5%,其余为Al;

[0047] 磁材在镀非晶铝锰涂层后的防腐蚀性能是晶体铝锰涂层的十倍以上,但如果直接采用磁控溅射制备非晶铝锰涂层,其所需要的锰添加量要超过20%,而当锰含量超过14%时会导致涂层内部析出脆性化合物,导致合金脆性增大,难以对其加工并锻造成靶材而利用于磁控溅射技术。因此,目前没有使用熔炼合金靶材通过磁控溅射技术直接制备非晶铝锰涂层的方案,现有技术中仅能使用铝块、锰块拼接成靶材后制备涂层,但是拼接靶材制备

的涂层成分准确率和整洁度都低于熔炼靶材,且致密性较差,难以在磁材表面制备高质量的非晶铝锰涂层。所以要想使用磁控溅射技术制备高质量的非晶铝锰涂层,必须通过降低形成铝锰非晶涂层所需要的锰含量。

[0048] 添加稀土元素Pr后,Al与Pr会形成金属间化合物阻碍晶粒生长,从而起到细化晶粒的作用,促进了涂层的非晶化,降低了制备非晶铝锰涂层所需要的锰含量。Pr含量0.8~1.5%是因为Pr添加量较低时细化晶粒不明显,但是添加量过高时会导致晶粒聚集,不利于涂层的非晶化。

[0049] 在上述含量下按照设计范围内的参数进行磁控溅射可以最大程度促进涂层的非晶化程度,从而在锰添加量较小的情况下制备非晶铝锰涂层。步骤102,首先将Al进行加热熔化,再依次加入Mn和Pr,待添加物全部熔化后,再加入造渣剂进行10min静置除渣;

[0050] 步骤103,将除渣后的熔液倒入水冷模具冷却后得到合金铸锭;

[0051] 步骤104,将获取的合金铸锭经过热锻、轧制、剪切和表面处理后,得到铝锰-稀土形成的复合靶材。

[0052] 其中的热锻、轧制和表面方法都采用现有技术已有相关处理方案实现。

[0053] 通过上述步骤和含量得到的铝锰-稀土靶材,其生成的铝锰涂层的非晶程度最显著。

[0054] 步骤200,先对钕铁硼磁材进行研磨清洗处理,然后放入真空室中进行真空离子轰击清洗;

[0055] 经过处理后的磁材可减少其表面形状、油污及杂质对刻蚀的影响,提高最终的涂层的效果。如图3所示,对由钕铁硼构成的磁材研磨清洗处理过程如下:

[0056] 步骤201,先将所述磁材置于振动式研磨机内,使用碳化硅与棕刚玉的混料对其进行倒角磨面,直至所述磁材的边角圆弧不小于0.5mm时停止;

[0057] 步骤202,再对所述磁材喷砂处理20min,然后进行抛光处理;

[0058] 步骤203,将抛光后的所述磁材置于超声波清洗器中,使用金属清洗剂超声清洗30min,然后用去离子水超声波清洗10min,之后使用无水乙醇超声清洗5min,最后用热空气烘干完成清洗过程。

[0059] 通过上述步骤可以完全消除磁材表面的杂质,同时可避免边角出现涂层厚薄不均的现象。

[0060] 如图4所示,放入真空室中进行真空离子轰击清洗的过程如下:

[0061] 步骤211,将清洗后的所述磁材装配于真空室的夹具上,调整靶基距为60~100mm,关闭炉门;

[0062] 步骤212,然后分别启动机械泵和分子泵进行抽真空操作,当真空室内的真空度为 3×10^{-3} Pa时,向真空室内通入氩气;

[0063] 步骤213,保持工作气压在1.5~2Pa,施加900V的负偏压,对磁材真空辉光清洗15min,完成清洗过程。

[0064] 通过上述步骤清洗后的磁材表面表现均匀一致,能够为后期的镀膜提供优良的基础,使成型后的膜层与磁材基体结合更强。

[0065] 步骤300,当磁材完成清洗后且温度降低至120~150℃,调整真空室内氩气流量至工作真空度0.3~0.8Pa,开启脉冲电源且与靶材基距为60~100mm,磁材的负偏压为50~150V,

脉冲电源峰值功率密度为 $500\text{--}800\text{W}/\text{cm}^2$,然后开始脉冲磁控溅射镀膜,控制磁材温度不超过 200°C ,持续镀膜 $30\text{--}60\text{min}$ 后停止;

[0066] 由于在磁材辉光清洗时,温度会上升 200°C 以上,此时镀膜不利于非晶相的形成,因此在对磁材进行镀膜前,需要等待磁材降温至 $120\sim 150^\circ\text{C}$ 。

[0067] 靶基距、偏压和功率主要影响的是粒子能量,以促进涂层非晶结构的形成。当粒子能量较小时,不足以消除柱状晶以形成非晶结构;当粒子能量过大时,会导致基体温度升高,促进粗大的柱状晶结构形成。所以本方案根据实验确定了合适范围的靶基距、偏压和功率参数。

[0068] 除了靶材溅射功率,基体偏压、基体温度和靶基距等参数对涂层的晶体结构和耐腐蚀能力均有一定的影响,例如高温会促进涂层的晶化趋势,当基体温度大于 300°C 时会导致涂层的各向异性程度增加,不利于涂层的非晶化。因此为了降低铝锰非晶涂层中锰元素添加量,需要选择最适于生长非晶结构的工艺参数。我们经过多组正交实验得到,当磁控溅射的峰值功率密度为 $500\text{--}800\text{W}/\text{cm}^2$,靶基距为 $60\text{--}100\text{mm}$,基体负偏压为 $50\text{--}150\text{V}$ 时,控制基体温度为不超过 200°C ,可以获得非晶化程度较高的涂层,具有最好的耐腐蚀性能。

[0069] 步骤400,待磁材冷却后,对真空室充气,然后打开真空室取出镀膜后的磁材,完成镀膜过程。

[0070] 该步骤中,磁材的冷却时间可定为 $10\sim 30\text{min}$,使其温度降低至 100°C 以下。

[0071] 经过上述步骤处理后的磁材表面镀膜厚度为 $4\text{--}6\mu\text{m}$ 左右。涂层太厚对防腐蚀性能提升有限,会影响磁材性能,并且沉积时间过长影响生产效率。

[0072] 本实施方式通过调整靶功率、靶基距、偏压和基片温度等参数得到了最适合于制备非晶铝锰涂层的磁控溅射工艺参数,降低了形成铝锰非晶结构所需要的锰含量,不会产生脆性过大的问题,因此可以直接对混合后的合金进行锻造、加工而成为非晶铝锰合金靶材用于磁控溅射镀膜。

[0073] 通过在铝锰靶材中添加稀土元素Pr,进一步降低了形成铝锰非晶结构所需要的锰含量,从而不会造合金铸锭成脆性过大的情况,可以对其进行锻造加工成靶材,实现磁控溅射技术制备高质量的非晶铝锰涂层,提高了钕铁硼磁材的防腐蚀性能,避免了湿镀对磁材产生的腐蚀和带来的污染性问题。

[0074] 向涂层中掺杂微量稀土元素Pr,可以改善组织结构促进涂层的非晶化。添加Pr后,Al与Pr会形成金属间化合物阻碍晶粒长大,从而起到细化晶粒的作用,促进了涂层的非晶化,降低了制备非晶铝锰涂层所需要的锰含量。另外,Pr添加还可以对铝锰合金起到弥散强化作用,从而可以提高涂层的力学性能。

[0075] 本实施方式为了降低形成铝锰非晶涂层所需要的锰含量,对制备工艺参数进行调整,得以促进涂层的非晶化过程。对于磁控溅射技术,提高溅射功率可以提高溅射粒子能量,能量较大的粒子沉积到基片时就更容易扩散并填补晶格空位,所以更容易形成非晶结构。因此我们通过使用高功率脉冲磁控溅射技术(HIPIMS)制备铝锰涂层,以获得更强的工作功率和离化率。由于离化率的增高,高功率脉冲磁控溅射技术制备涂层还具有较高的致密性、光洁性和结合强度。

[0076] 进一步的,镀膜完成后的磁材还包括耐腐蚀实验,将镀膜完成后的磁材放入中性盐雾中,经过 1000h 后取出,磁材表面无腐蚀痕迹表明镀膜成功。

[0077] 经过实验,本实施方式利用高功率脉冲磁控溅射技术在钕铁硼表面制备的非晶结构的铝锰涂层,涂层在中性盐雾实验1000h内没有出现明显点蚀现象,是晶体铝锰涂层寿命的十倍以上,大大提高了钕铁硼磁材的使用寿命。

[0078] 如图5所示,以下以具体实施例说明本方案的制作过程:

[0079] 1. 首先进行低锰含量的铝锰-稀土复合靶材的制备。

[0080] 按百分含量准备Mn12%,Pr1.2%,其余为Al的比例配比配料;首先将Al进行加热熔化后,依次加入Mn和Pr进行熔炼;待添加物全部熔化后,加入造渣剂,静置10min,将所造渣料取出;将剩余的熔化合合金浇入水冷模具形成合金铸锭;所获取的合金锭经过热锻、轧制、剪切和表面处理,获得铝锰稀土合金复合靶材,用于后续磁控溅射镀膜。

[0081] 2. 再对磁材进行前处理。

[0082] 首先将块状NdFeB磁铁置于振动式研磨机内,对其进行倒角磨面,使磁铁的边角圆弧不小于0.5mm,倒角后喷砂处理20min,然后对其进行抛光处理;将表面处理完毕的磁材置于超声波清洗器中,使用金属清洗剂超声清洗30min;最后使用去离子水超声波清洗10min后,之后使用无水乙醇超声清洗5min脱水;烘干待用。

[0083] 3. 对处理后的磁材进行真空离子轰击清洗。

[0084] 将经过处理的磁材装配于真空室夹具上,调整靶基距为80mm,关闭炉门,分别启动机械泵和分子泵抽真空,至工作真空度为 3×10^{-3} Pa时,通入氩气,保持工作气压在1.8Pa,施加900V的负偏压,对靶材进行辉光清洗15min。

[0085] 4. 然后利用高功率脉冲磁控技术对磁材溅射镀膜。

[0086] 离子清洗结束后,待磁材降温后即开始镀膜,调整氩气流量至工作真空度0.5Pa,开启HIPIMS电源,降低负偏压为80V,电源峰值功率密度设置为 $600\text{W}/\text{cm}^2$,镀膜期间控制基片温度为 180°C ,稳定后持续镀膜30min,所镀膜层厚度为 $4.7\mu\text{m}$ 。

[0087] 5. 冷却后取出镀膜后磁材成品。

[0088] 镀膜结束后,维持镀膜室在真空下冷却10min后,充气开炉,取出镀制完毕的钕铁硼磁材。

[0089] 6. 进行防腐蚀性能检测。

[0090] 制备结束后,开炉取出磁材样品,从块状磁材中任取十块进行中性盐雾试验,经过1000h后观察,磁铁均完好,表面未出现任何腐蚀锈点。

[0091] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

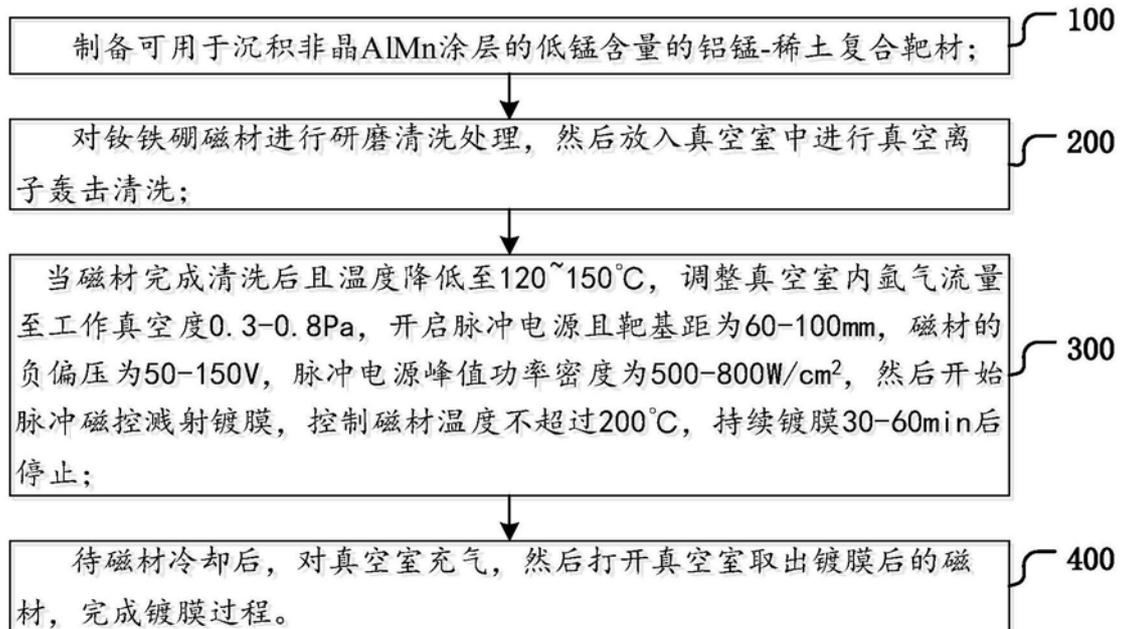


图1

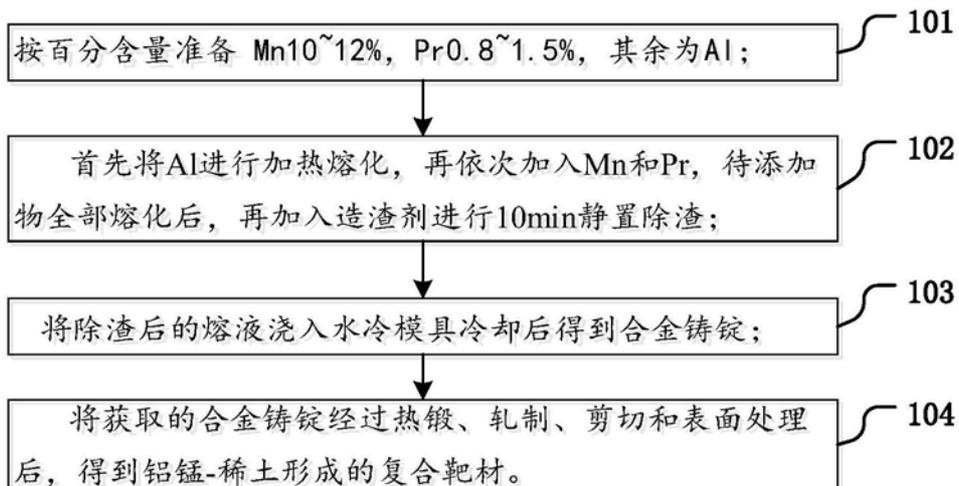


图2

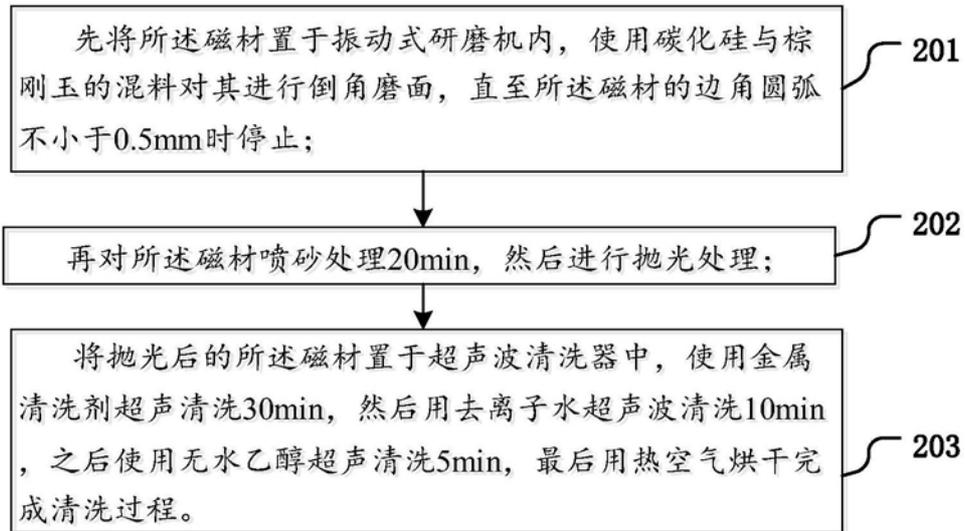


图3

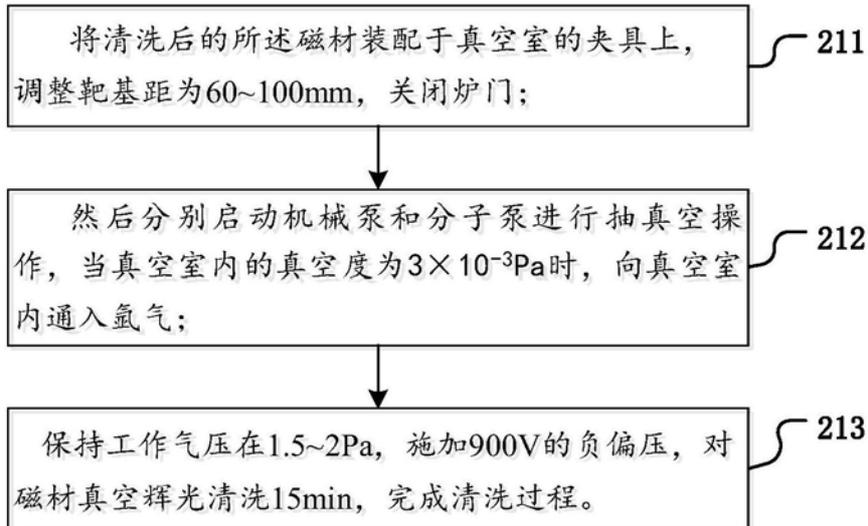


图4

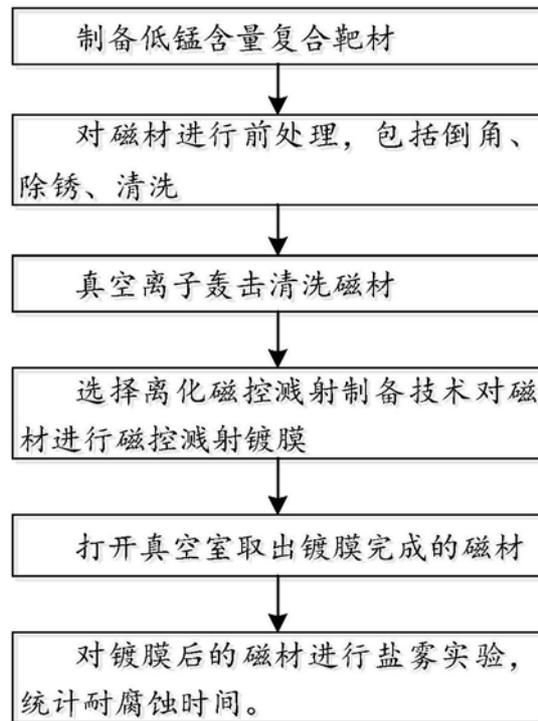


图5