



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104409306 A

(43) 申请公布日 2015. 03. 11

(21) 申请号 201410655724. X

(22) 申请日 2010. 08. 10

(30) 优先权数据

12/546, 785 2009. 08. 25 US

(62) 分案原申请数据

201080048029. 7 2010. 08. 10

(71) 申请人 ATI 资产公司

地址 美国俄勒冈州

(72) 发明人 R·M·福布斯琼斯

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限
责任公司 11287

代理人 林斯凯

(51) Int. Cl.

H01J 37/305(2006. 01)

H01J 37/077(2006. 01)

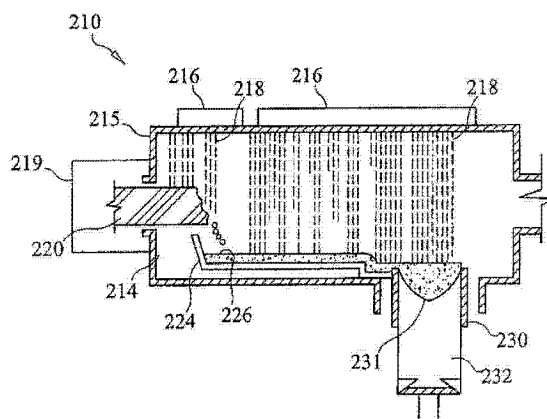
权利要求书1页 说明书21页 附图8页

(54) 发明名称

生成电子场的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种生成电子场的方法,用于使熔化炉内的导电材料熔化。该方法包括:设置具有第一非线性形状的阳极;向所述阳极施加电压;在所述阳极处生成包含正阳离子的等离子;设置具有第二形状的阴极;相对于所述阳极定位所述阴极;向所述阴极施加电压,其中所述电压构造成对所述阴极充负电;朝所述阴极加速所述正阳离子以生成自由的二次电子;以及使用所述自由的二次电子形成电子场,所述电子场的截面轮廓具有第三形状,其中所述第三形状对应于所述阳极的所述第一非线性形状。



1. 一种生成电子场的方法,用于使熔化炉内的导电材料熔化,所述方法包括:
设置具有第一非线性形状的阳极;
向所述阳极施加电压;
在所述阳极处生成包含正阳离子的等离子;
设置具有第二形状的阴极;
相对于所述阳极定位所述阴极;
向所述阴极施加电压,其中所述电压构造成对所述阴极充负电;
朝所述阴极加速所述正阳离子以生成自由的二次电子;以及
使用所述自由的二次电子形成电子场,所述电子场的截面轮廓具有第三形状,其中所述第三形状对应于所述阳极的所述第一非线性形状。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述电子场的第三形状对应于所述阴极的所述第二形状。
3. 如权利要求 2 所述的方法,其中,所述电子场的第三形状大致与所述阴极的所述第二形状相同。
4. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述阳极包括金属丝、导电薄板、导电薄片和导电薄箔中的一者。
5. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述电子场的第三形状大致与所述阳极的所述第一非线性形状相同。

生成电子场的方法

[0001] 本申请是申请日为 2010 年 8 月 10 日, 申请号为 201080048029.7, 发明名称为“用于熔化炉的离子等离子电子发射器”的申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请在 35 U.S.C. § 120 下要求 2008 年 3 月 26 日提交的美国专利申请 No. 12/055,415 的优先权并且是美国专利申请 No. 12/055,415 的部分继续申请, 而美国专利申请 No. 12/055,415 在 35 U.S.C. § 119(e) 下要求 2007 年 3 月 30 日提交的美国临时专利申请 No. 60/909,118 的优先权。这两个提及的在先申请均通过引用整体并入本文。

技术领域

[0004] 本公开涉及用于熔化金属和金属合金(以下称为“合金”)的设备和技術。本公开更具体地说涉及利用电子来熔化或者加热合金和/或形成在熔融合金内的冷凝物的设备和技术。

背景技术

[0005] 合金熔化过程涉及制备适当材料的炉料然后熔化炉料。熔融的炉料或者“熔体”然后可以被精炼和/或处理,以改变熔体化学性质,从熔体中去除不想要的成分,和/或影响由熔体铸成的制品的显微结构。熔化炉通过电力或者通过化石燃料的燃烧供给能量,并且适当设备的选择受到相对成本和可适用的环境规制以及被制备材料的特征的极大影响。目前可获得多种不同的熔化技术和设备。熔化技术的一般类别包括例如感应熔化(包括真空感应熔化)、电弧熔化(包括真空电弧凝壳熔化)、坩锅熔化和电子束熔化。

[0006] 电子束熔化通常涉及利用热离子电子束枪来生成高能量大致线性的电子流,这些电子流用于加热靶材料。热离子电子束枪通过向丝极供电进行的操作,从而加热丝极至高温,并使电子“沸腾”脱离丝极。从丝极生成的电子然后被聚焦,并以非常窄的大致线性的电子束的形式朝靶加速。一种离子等离子电子束枪也已用于制备合金熔体。具体说,在 V. A. Chernov 的“Powerful High-Voltage Glow Discharge Electron Gun and Power Unit on Its Base”1994 年 Electron Beam Melting 的国际会议(Reno, Nevada),第 259-267 页中描述的“辉光放电”电子束枪,已被并入可从乌克兰基辅 Antares 获得的某些熔化炉中。这种装置通过生成包括阳离子的冷等离子体进行操作,所述阳离子轰击阴极并生成电子,所述电子被聚焦以形成大致线性的电子束。

[0007] 通过前述类型的电子束枪生成的大致线性的电子束被引导到电子束熔炼炉的真空熔化室中,并入射到待熔化和/或保持在熔融状态的材料上。电子穿过导电材料的传导将它们快速地加热至超过特定熔点的温度。鉴于大致线性的电子束的高能量,其可以是例如约 $100\text{kW}/\text{cm}^2$,线性电子束枪是非常高温的热源,并且能够轻松地超过大致线性的射束入射到其上的材料的熔点,在一些情况下,超过汽化温度。使用磁气偏转或者类似的方向性器件,大致线性的电子束以高频率扫描横跨熔化室内的靶材料,使被引导的射束横跨宽的区域并且横跨具有多个和复杂形状的靶。

[0008] 因为电子束熔化是表面加热方法,它通常只生成浅的熔池,其就限制铸锭中的缩松和偏析而言是有利的。因为由电子束生成的过热金属池处于炉子熔化室的高真空环境下,所以该技术也有益地趋向于对熔融材料除气。此外,合金内具有比较高的蒸汽压的不想要的金属和非金属组分可以选择性地在熔化室中蒸发掉,从而改进合金纯度。另一方面,则必须考虑到由高聚焦的大致线性的电子束造成的想要组分的蒸发。不想要的蒸发必须被纳入生产的考虑中,并且可能在使用电子束熔炼炉时显著地复杂化合金生产。

[0009] 各种熔化和精炼方法涉及使用热离子电子枪对供给坯料进行电子束熔化。吹灰熔炼是一种在热离子电子束枪熔化炉中使用的用于处理例如钽和铌等耐火金属的经典方法。呈棒材形式的原料通常被供给到炉室中,并且聚焦在棒材上的线性电子束将材料直接滴熔进静态或者拉拔模具(withdrawal mold)中。当在拉拔模具中铸造时,通过抽拔铸锭底部,在生长的铸锭的顶部上维持液池水平。所供给的材料作为上述除气和选择性蒸发现象的结果得到精炼。

[0010] 电子束冷炉膛熔化技术常用于处理和回收活性金属和合金。通过向给料棒材的一端上入射大致线性的电子束来滴落式熔化给料。熔化的给料滴落到水冷铜质炉膛的端部区域中,形成保护性凝壳。随着熔融材料会集在炉膛中,它发生外溢并通过重力掉落到拉拔模具或者其它铸造装置中。在熔融材料在炉膛内的滞留时间期间,大致线性的电子束被快速地扫描横跨材料的表面,使它保持熔融形态。这通过蒸发掉高蒸汽压成分,还具有对熔融材料进行除气和精炼的效果。炉膛还可以将尺寸做成促进高密度与低密度固体夹杂物之间的重力分离,这时氧化物和其它较低密度的夹杂物残留在熔融金属中达到足以允许溶解的时间,而高密度颗粒沉入底部并滞留在凝壳中。

[0011] 鉴于常规电子束熔化技术的各种好处,对该技术做进一步改进是有利的。

发明内容

[0012] 根据本公开的一个非限制性方面,描述了一种用于熔化导电金属材料的设备。该设备包括真空室、设置在真空室中的炉膛和至少一个离子等离子电子发射器,所述至少一个离子等离子电子发射器设置成位于所述真空室中或者邻近所述真空室,并且定位成向真空室中引导具有第一截面积的第一电子场。第一电子场具有足够的能量,以将导电金属材料加热至其熔点。所述设备进一步包括定位成从炉膛接收导电金属材料的模具和雾化设备中的至少一者,以及设置成位于真空室中或者邻近真空室并且定位成向真空室中引导具有第二截面积的第二电子场的辅助离子等离子电子发射器。第二电子场具有足够的能量,以实现以下情况中的至少一者:将导电金属材料的部分加热至至少其熔点,熔化导电金属材料内的任何固体冷凝物,以及向正形成的铸锭的区域提供热量。所述第一电子场的第一截面积不同于所述第二电子场的第二截面积。由辅助离子等离子电子发射器发射的第二电子场是可导向的。

[0013] 根据本公开的另一非限制性方面,描述了一种用于熔化导电金属材料的设备。该设备包括真空室、设置在真空室中的炉膛和构造成熔化导电金属材料的熔化装置。所述设备进一步包括定位成从炉膛接收熔融导电金属材料的模具和雾化设备中的至少一者,以及设置成位于真空室中或者邻近真空室并且定位成向真空室中引导具有截面积的聚焦电子场的辅助离子等离子电子发射器。聚焦电子场具有足够的能量,以实现以下情况中的至少

一者：熔化导电金属材料的部分，熔化导电金属材料内的固体冷凝物，以及加热正凝固铸锭的区域。聚焦电子场是可导向的，以朝导电金属材料的部分、固体冷凝物和正凝固的铸锭中的至少一者引导聚焦电子场。

[0014] 根据本公开的又一非限制性方面，描述了一种用于熔化导电金属材料的设备。该设备包括辅助离子等离子电子发射器，其构造成生成包括具有第一形状的截面轮廓的聚焦电子场。该设备进一步包括导向系统，其构造成引导所述聚焦电子场，以将所述聚焦电子场入射到所述导电金属材料的至少一部分上，以实现以下情况中的至少一者：熔化所述导电金属材料的任何凝固部分，熔化所述导电金属材料内的任何固体冷凝物，以及向正形成的铸锭的区域提供热量。

[0015] 根据本公开的再一方面，提供了一种处理材料的方法。该方法包括：向相对于大气压维持在低压的炉室中引入包括金属和金属合金中的至少一者的材料，以及使用至少第一离子等离子电子发射器生成具有第一截面积的第一电子场。该方法进一步包括：使炉室内的材料受到第一电子场的作用以加热所述材料至高于所述材料的熔点的温度，以及使用第二离子等离子电子发射器生成具有第二截面积的第二电子场。该方法进一步包括使用导向系统来使所述材料内的任何固体冷凝物、所述材料的任何凝固部分和正凝固铸锭的区域中的至少一者受到第二电子场的作用，以熔化或者加热所述固体冷凝物、所述凝固部分和所述正凝固铸锭的区域中的至少一者。所述第一电子场的第一截面积不同于所述第二电子场的第二截面积。

[0016] 根据本公开的再一方面，提供了一种处理材料的方法。该方法包括：向相对于大气压维持在低压的炉室中引入包括金属和金属合金中的至少一者的材料，以及使所述炉室内的材料受到构造成将所述材料加热至高于所述材料的熔点的温度的熔化装置的作用。所述方法进一步可以包括：使用辅助离子等离子电子发射器生成聚焦电子场，并使用导向系统来使所述材料内的任何固体冷凝物、所述材料的任何凝固部分和正凝固铸锭的区域中的至少一者受到所述聚焦电子场的作用，以熔化或者加热所述固体冷凝物、所述凝固部分和所述正凝固铸锭的区域中的至少一者。

[0017] 根据本公开的又一方面，提供了一种处理材料的方法。所述方法包括：使用辅助离子等离子电子发射器生成包括具有第一形状的截面轮廓的聚焦电子场，并对所述聚焦电子场进行导向以使所述聚焦电子场入射到所述材料上，并熔化或者加热所述材料内的任何固体冷凝物、所述材料的任何凝固部分和正凝固铸锭的区域中的至少一者。

[0018] 根据本公开的再一方面，提供了一种生成用于使熔化炉内的导电材料熔化的电子场的方法。该方法包括：设置具有第一非线性形状的阳极，向阳极施加电压，以及在阳极处生成包含正阳离子的等离子。所述方法进一步包括：设置具有第二形状的阴极，相对于所述阳极定位所述阴极，以及向所述阴极施加电压。该电压构造成对所述阴极充负电。所述方法进一步包括：使正阳离子朝所述阴极加速以生成自由的二次电子，以及使用自由的二次电子形成电子场。所述电子场具有呈第三形状的截面轮廓。所述第三形状对应于阳极的第一非线性形状。

附图说明

[0019] 可以通过参考附图来更好地理解本文所述方法和设备的特征和优点，附图中：

- [0020] 图 1 是一常规热离子电子束枪熔化炉的实施例的截面示意图；
- [0021] 图 2 是丝状放电离子等离子电子发射器的实施例的某些部件的简化视图；
- [0022] 图 3 是本公开的包括多个丝状放电离子等离子电子发射器的电子束冷炉膛熔化炉的一个非限制性实施例的截面示意图；
- [0023] 图 4 是丝状放电离子等离子电子发射器的一个非限制性实施例的示意图；
- [0024] 图 5 是包括作为电子源的丝状放电离子等离子电子发射器的电子束熔炼炉的本公开的一个非限制性实施例的示意图；
- [0025] 图 6 是可以适配成在本公开的电子束熔炼炉中使用的丝状放电离子等离子电子发射器的一个非限制性实施例的部分剖切的透视图；
- [0026] 图 7 是示出图 6 所示丝状放电离子等离子电子发射器的操作的图；
- [0027] 图 8 是本公开的电子束冷炉膛熔化炉的一个实施例的截面示意图；
- [0028] 图 9 是本公开的包括多个离子等离子电子发射器和辅助离子等离子电子发射器的电子束冷炉膛熔化炉的一个非限制性实施例的截面示意图；
- [0029] 图 10 是本公开的包括辅助离子等离子电子发射器的电子束冷炉膛熔化炉的一个非限制性实施例的截面示意图；
- [0030] 图 11 是本公开的用于辅助离子等离子电子发射器的导向系统的一个非限制性实施例的示意图；
- [0031] 图 12 是本公开的用于辅助离子等离子电子发射器的导向系统的一个非限制性实施例的从顶部透视的示意图；
- [0032] 图 13 是本公开的辅助离子等离子电子发射器的一个非限制性实施例的俯视示意图；
- [0033] 图 14 是本公开的辅助离子等离子电子发射器的一个非限制性实施例的另一俯视示意图；而
- [0034] 图 15 是本公开的辅助离子等离子电子发射器的一个非限制性实施例的再一俯视示意图。
- [0035] 读者在考虑本公开的设备和方法的某些非限制性实施例的以下详细描述后将理解上述详情以及其它方面。读者还能在实施或者使用本文所述设备和方法后领会某些这种附加详情。

具体实施方式

[0036] 在对非限制性实施例的描述中，除在操作示例中或者另有说明外，表示成分和产品的数量或特性的所有数字以及加工条件等均应理解为在所有情况下均被术语“约”修正过。因此，除非有相反说明，在以下描述中给出的任意数字参数均为近似值，该近似值可以根据某人寻求在本公开的设备和方法中获得的期望性能发生变化。至少来说，并非为了试图限制相当于权利要求的范围的教义的应用，每个这种数字参数均应至少根据报告过的有效数字的数字并通过应用常规舍入技术来解释。

[0037] 整体地或者部分地被叙述为通过引用并入本文的任何专利、出版物或者其它公开材料，只被并入达到使所并入的材料不与本公开中给出的现有定义、陈述或者其它公开材料发生冲突的程度。如此一来，并且达到必要的程度，如本文所给出的公开将取代通过引用

并入本文的任何冲突材料。被叙述为通过引用并入本文但是与本文给出的现有定义、陈述或者其它公开材料有冲突的任何材料或其部分,只被并入达到在所并入的材料与现有公开材料之间不发生冲突的程度。

[0038] 本公开部分地涉及一种改善的设计,用于熔化金属和金属合金的电子束炉和/或用于将材料维持在熔融状态以便于制备金属铸件或者粉末。常规热离子电子束枪熔化炉在图1中示意性地示出。炉110包括被室壁115围绕的真空室114。多个热离子电子束枪116定位在室114外并邻近室114,并且引导离散的线性电子束118进入室114中。呈金属棒材120和合金粉末122形式的供给材料分别被常规棒材供给器119和常规颗粒或者细粒供给器117引入室114中。电子束枪116之一的线性电子束118入射到棒材120的端部上并熔化棒材120的端部,所得熔融合金124掉落到室114内的水冷铜精炼炉膛126(“冷炉膛”)中。热离子电子束枪116属于常规设计,并通过加热适当的丝极材料生成电子。枪116将生成的电子聚焦到一点,并且电子以紧紧聚焦的大致线性的射束形式从枪116射出。因此,从枪116射出的电子基本作为点源入射到标靶。电子点源对标靶的加热通过线性电子束118横跨对象的至少一部分进行扫描而得到促进,类似于电子横跨阴极射线电视管的荧光屏进行扫描的方式。例如,横跨棒材120的端部区域扫描热离子电子束枪116的大致线性的电子束118,熔化棒材120。

[0039] 进一步参考图1,沉积在炉膛126中的熔融合金124通过横跨熔融合金124的表面以预定和程式化的模式扫描某些大致线性的电子束118,而维持在熔融状态。通过供给器117引入熔融合金124中的粉末或者微粒状合金材料122被并入熔融材料中。熔融合金124横跨炉膛126前进,并通过重力从炉膛降落到铜质拉拔模具130中。拉拔模具130包括可平移基座134,以容纳生长铸锭132的长度。熔融合金124最初作为熔池131会集在拉拔模具130中,并逐渐凝固成铸锭132。电子通过横跨熔池的表面扫描大致线性的电子束118中的一个或多个而向熔池131上的入射,有利地将熔池131的区域,特别是池缘,维持在熔融状态。

[0040] 在利用一个或多个大致线性的电子束来加热炉室中的材料的炉中,例如常规热离子电子束枪熔化炉,包括挥发性元素(即,在炉子熔点处蒸汽压比较高的元素)的合金趋于从熔池蒸发,并冷凝在炉室的比较冷的壁上。(在一般通过电子束熔化获得的温度下具有比较高的蒸汽压的常见合金元素包括例如铝和铬。)大致线性电子束熔化技术特别有助于促进挥发,相对于精炼或者净化,这在合金化处理时是常规电子束炉的一个显著缺点,原因至少有两个。第一,由于高挥发性元素从熔池的不可避免的损失,合金的整体和局部化学成分在熔化期间变得难以控制。第二,挥发元素的冷凝物随着时间的流逝趋于积累在炉壁上,并且可能降落回到熔体中,由此,以夹杂物污染熔体,并导致熔体化学性质的局部变化。

[0041] 在不打算被任何特定理论约束的情况下,发明人认为常规电子束熔化炉的前述缺点是由于常规的大致线性的电子束对在电子束炉内受到处理的材料的作用引起的。如以上参考图1的描述所建议的,常规电子束冷炉膛熔化技术利用大致线性的电子束来熔化被引入炉中的原料,并且随着熔融材料沿冷炉膛流动并且流过冷炉膛进入铸造模具中,维持熔融材料温度。这种炉子通常包括多个电子束源,其中每个源生成基本为点源的大致线性的电子束。强烈电子浓度的这些“点”必须迅速地扫描待加热的区域,以便在整个标靶区域中达到熔化材料并允许熔融材料充分流动所需的平均温度。然而,由于线性电子束的点源性

质,电子束入射到合金上的点位被加热至极高的温度。这种局部强烈加热的现象可以作为从电子束入射到炉内的固态或者熔融合金上的特定点位发射的可见白色辐射被观察到。可以认为,出现在这些点位的强烈过热效果,以及炉室中维持的高真空,容易使合金内比较容易挥发的元素蒸发,导致挥发性元素的过度蒸发以及在室壁上的伴随冷凝。如上所述,这种冷凝导致使池污染的风险,因为冷凝的材料降落回到熔融合金中,而这可能例如在铸锭中引起显著的成分不均匀。

[0042] 本文所述的电子束熔化炉的改进设计利用一个或多个离子等离子电子发射器,例如丝状放电离子等离子电子发射器,来作为这种炉子中的电子源的至少一部分。虽然在本文中作为示例性离子等离子电子发射器公开的是丝状放电离子等离子电子发射器,但是应该明白的是,本公开也可以使用其它适当的离子等离子电子发射器(例如,非丝状放电离子等离子电子发射器),如以下将更详细地论述的。如本文所使用的,术语“离子等离子电子发射器”和“丝状放电离子等离子电子发射器”是指通过向阴极上入射带正电的离子来生成相对较宽的非线性电子场,从而从阴极释放二次电子场的设备。由离子等离子电子发射器生成的电子束不是线性射束,而是三维场或者电子“潮”,其在入射到标靶上时,覆盖二维区域,该二维区域相对于被向标靶上入射大致线性的电子束覆盖的小点是非常大的。如此一来,由离子等离子电子发射器生成的电子场在本文被称为“宽域”电子场,对照的是由电子束熔化炉中使用的常规电子枪生成的相对非常小的接触点。丝状放电离子等离子电子发射器在本领域是已知的(用于不相关的应用)并且有多种称呼,例如,“金属丝离子等离子(WIP,wire ion plasma)电子”枪或发射器,“WIP 电子”枪或发射器,以及稍微有点迷惑的“线性电子束发射器”(涉及的是装置的某些实施例内的等离子生成用丝状电极的线性性质)。

[0043] 丝状放电离子等离子电子发射器能以多种不同设计获得,但是所有这类发射器共享某些基本的设计属性。每个这种发射器包括等离子或者电离区域,所述等离子或者电离区域包括呈细长丝状阳极的形式以生成包括阳离子的等离子体的正离子源,以及与金属丝所生成的正离子分离并定位成拦截金属丝所生成的正离子的阴极。大的负电压被施加至阴极,使由金属丝正离子源生成的等离子体中的正离子的一部分朝阴极表面加速并与阴极表面碰撞,以使二次电子从阴极射出(“一次”电子与正离子一起存在于等离子体内)。从阴极表面生成的二次电子形成非线性电子场,其通常具有影响阴极的正离子等离子体的三维形状。二次电子然后从阴极背面附近朝阳极加速,在穿越发射器内的低压气体的过程中经受几次碰撞。通过恰当地设计和配置丝状放电离子等离子电子发射器的各个部件,高能二次电子的宽场能够在阴极处形成,并从发射器加速并趋向标靶。图 2 是丝状放电离子等离子电子发射器的部件的简化视图,其中电流被施加至细丝状阳极 12 以生成等离子 14。等离子 14 内的正离子 16 朝带负电的阴极 18 加速并与带负电的阴极 18 碰撞,释放出宽域二次电子云 20,其通过电极之间的电场的作用,沿阳极 12 的方向加速,并趋向标靶。

[0044] 根据本公开的一个非限制性实施例,呈电子束熔化炉形式的用于熔化导电金属材料设备包括真空室(熔化室)和设置在真空室中并适配成保持熔融材料的炉膛。至少一个丝状放电离子等离子电子发射器被设置成处于真空室中或者邻近真空室,并且定位成引导由发射器生成的非线性的宽域电子场进入室中。丝状放电离子等离子电子发射器生成非线性电子场,具有足够的能量以将导电金属材料加热至其熔点。模具或者其它铸造或雾化

(atomizing) 装置被设置成与室连通, 并定位且适配成从炉膛接收材料。该炉子可以用于熔化能够使用常规电子束熔化炉熔化的任何材料, 例如, 钛、钛合金、钨、铌、钽、铂、钯、锆、铪、镍、镍基合金、铁、铁基合金、钴和钴基合金等。

[0045] 根据本公开的电子束熔化炉的实施例可以包括适配成向真空室中引入导电材料或者其它合金化添加剂的一个或多个材料供给器。优选地, 供给器将材料引入真空室中处在高于炉膛的至少一个区域或者位于所述至少一个区域之上的一个位置, 以使重力允许呈固态或者熔融态的材料向下掉落并进入炉膛中。供给器类型可以包括例如棒材供给器和线材供给器, 并且所选择的供给器类型将取决于炉子的特定设计要求。在本公开的炉子的某些实施例中, 炉子的一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器中的至少一个和材料供给器被设置成使得由丝状放电离子等离子电子发射器发射的电子场至少部分地入射到被供给器引入室中的材料上。如果被供给器引入真空室中的材料是导电的, 则电子场, 如果具有足够强度, 将加热和熔化材料。

[0046] 并入本公开的熔化炉的实施例中的炉膛可以从本领域已知的各种炉膛类型中选择。例如, 炉子可以通过在真空室中并入冷炉膛, 或者更具体地说例如水冷铜质冷炉膛, 而呈电子束冷炉膛熔化炉的性质。如本领域的技术人员已知的, 冷炉膛包括使炉膛内的熔融材料冷凝至炉膛表面并在其上形成保护层的冷却器件。作为另一示例, 炉膛可以“自生”炉膛, 它是镀有在炉子中熔化的合金或者由在炉子中熔化的合金制成的炉膛, 这时炉膛的底面也可以被水冷以防止烧穿。

[0047] 包括在真空室中的特定炉膛可以包括熔融材料保持区域, 其中熔融材料停留一定的滞留时间, 然后去往与真空室流体连通的铸造或者雾化装置。在本公开的炉子的某些实施例中, 炉膛和炉子的一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器中的至少一个被设置成使得由丝状放电离子等离子电子发射器发射的电子场至少部分地入射到熔融材料保持区域上。这样, 电子场可以被施加, 以将熔融材料保持区域内的材料维持在熔融状态, 并且电子场的加热作用也可以用于对熔融材料进行除气和精炼。

[0048] 本公开的炉子的某些非限制性实施例包括用于铸造熔融材料的模具。该模具可以是本领域已知的任意适当的模具, 例如静态模具、拉拔模具或者连续铸造模具。替代地, 炉子可以包括用于从熔融材料生成例如粉末材料的雾化设备, 或者与所述雾化设备相关联。

[0049] 本公开的电子束熔化炉的一个特定非限制性实施例包括真空室和设置在真空室中的炉膛, 其中所述炉膛包括熔融材料保持区域。炉子进一步包括设置成处于真空室中或者邻近真空室的一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器。炉膛和所述至少一个丝状放电离子等离子电子发射器被设置成使得由发射器生成的电子场至少部分地入射到熔融材料保持区域上。拉拔模具与真空室连通, 并且定位成从炉膛接收熔融材料。至少一个供给器被包括在炉子中, 并且被适配成将材料引入真空室中位于炉膛的至少一个区域之上的一个位置。

[0050] 关于本公开的设备, 可以使用任意适当的丝状放电离子等离子电子发射器。丝状放电离子等离子电子发射器的适当实施例在例如美国专利 No. 4, 025, 818 ; No. 4, 642, 522 ; No. 4, 694, 222 ; No. 4, 755, 722 和 No. 4, 786, 844 中公开, 它们的全部内容通过引用并入本文。适当的发射器包括能够生成非线性宽域电子场的发射器, 所述非线性宽域电子场能够被引导进入炉子的真空室中, 并且将置入炉室中的导电供给材料加热至期望的温度。

[0051] 在丝状放电离子等离子电子发射器的一个实施例中,发射器包括等离子区域和阴极区域。等离子区域包括至少一个细长丝状阳极,所述至少一个细长丝状阳极被适配成生成包括正离子的等离子。阴极区域包括阴极,所述阴极电气地连接至被适配成对阴极充负电的高电压电源。在丝状放电离子等离子电子发射器中,用于生成等离子体的电极可以是沿等离子区域的长度定位的一个金属丝或者多个金属丝。被正离子冲击的阴极的至少一部分由适合于生成电子的材料构成。设置于发射器的阴极区域中的阴极的某些非限制性实施例还可以包括插入物,例如具有高熔点和低功函数以促进电子生成的钼插入物等。阴极和阳极相对于彼此定位成使得由丝状阳极生成的等离子体中的正离子在电极之间的电场的影响下朝阴极加速并入射到阴极上,以从阴极释放出宽域二次电子场。

[0052] 丝状放电离子等离子电子发射器的某些非限制性实施例包括至少一个适当的电子透射窗口,例如穿过炉子真空室的壁开设的细电子透射钛或铝箔。可以构成电子透射窗口的替代材料包括例如 BN、金刚石和由低原子序数元素构成的某些其它材料。如本文论述的,丝状放电离子等离子电子发射器的另一些实施例不包括电子透射窗口,这时发射器的等离子区域与保持熔融材料的真空室流体连通。在任一情况下,所得宽域电子场进入炉室,并且能够入射到室内的材料上。如果电子透射窗口使电子发射器的内部与真空室分离(如本文进一步论述的),则电子场穿过窗口,正如它从电子发射器射出进入真空室中一样。在丝状放电离子等离子电子发射器的某些非限制性实施例中,电气地耦合至阴极的高电压电源对阴极供电至大于 20,000 伏特的负电压。负电压起到使等离子体中的正离子朝阴极加速的功能,然后从阴极并且朝阳极排斥二次电子场。

[0053] 如果丝状放电离子等离子电子发射器内的压力与炉室内的压力有显著不同,则电子透射窗口是必需的,这时箔窗口用于隔离两个不同压力的相邻区域。丝状放电离子等离子电子发射器相对于例如热离子电子束枪等不含气体的电子发射器的优点是:丝状放电离子等离子电子发射器必须在等离子区域内包括气体以用作等离子源。虽然丝状放电离子等离子电子发射器可以在极低的气压下操作,但是这种装置也可以在比较高的气压下有效地操作。相比之下,常规电子束熔化炉一般在超低真空状态进行操作,这时电子透射窗口将是必需的,以使丝状放电离子等离子电子发射器内的气体氛围与附近的炉室内真空环境分离。然而,看起来炉室内的挥发性元素蒸发可以通过使炉室内的气压增大超过常规线性(热离子发射器)电子束熔化炉的超低水平而得到降低。这些常规压力水平通常处于 10^{-3} 到 7.5μ (10^{-3} 到 1Pa),并且不超过 15μ (2Pa)。使炉室内的压力增大超过常规水平,即,至超过 40μ (5.3Pa) 的压力,或者更优选超过 300μ (40Pa),会增大炉室内熔融材料的表面处的压力,从而降低不想要的汽化的驱动力。例如,在 H. Duval 等人的“Theoretical and Experimental Approach of the Volatilization in Vacuum Metallurgy”中提出的数据表明,相对于 4.27Pa(35mTorr) 氩气,在 66.7Pa(500mTorr) 氩气下,铬蒸汽输送显著减少。因为丝状放电等离子离子电子发射器已经需要部分气压环境(通常是氩气)来得到操作,发明人认为丝状放电等离子离子电子发射器和炉室两者能够以大致相同的压力进行操作,其中压力是充分高的,以允许电子发射器操作并且高于常规电子束炉中的,从而降低炉室内的不想要的挥发。在这种情况下,电子透射窗口可以被省略,使得发射器和炉室内的气体环境是大致相同的。替代地,在丝状放电离子等离子电子发射器的另一实施例中,由发射器生成的电子穿过对电子是可穿透的不透气窗口,其中发射器内的可离子化气体的压力适合

于电子发射器操作,并且炉室在大于电子束炉中的常规压力的压力下得到操作,并且适合于最小化或者降低不想要的挥发。应该明白的是,不想要的基本汽化的降低将通过利用一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器(其不生成强烈加热点)以及大于电子束炉中的常规压力的炉室压力两者,得到最佳化。

[0054] 以下给出对电子束熔化炉的可能实施例以及相对于本公开的炉子有用的丝状放电离子等离子电子发射器的可能实施例的进一步讨论。

[0055] 图3示意性地示出了本公开的改进电子束熔化炉的一个可能的非限制性实施例。炉子210包括至少部分地由室壁215限定出的真空室214。丝状放电离子等离子电子发射器216定位在室214外并且邻近室214。丝状放电离子等离子电子发射器216向室214的内部中射出宽域电子场218。类似于图1所示的常规炉子110,合金棒材220被棒材供给器219引入室214中。通过将至少一个丝状放电离子等离子电子发射器216的宽域电子场218入射到棒材220上,生成熔融合金226。从棒材220熔化出的熔融合金226降落到水冷铜质炉膛224中,并在炉膛224中停留一定滞留时间,这里它通过由发射器216生成的宽域电子场218中的一个或多个得到加热、除气和精炼。熔融合金226最终从炉膛224降落到铜质模具230中,并形成熔池231。熔池231最终且逐渐地凝固在模具230中以形成铸锭232。宽域电子场218中的至少一个优选以有利于控制所形成铸锭232的凝固速率的方式加热池231内的熔融合金。

[0056] 如上所述,炉子210的丝状放电离子等离子电子发射器216设计成生成高能电子的场或“潮”,相对于由常规电子束炉中使用的电子束枪生成的大致线性的射束的点状覆盖,覆盖宽区域。电子场发射器216将电子扩散到宽区域上,并且入射到炉子210内待熔化的和/或维持在熔融状态的材料上。因为它生成的电子场将覆盖炉室内的宽区域,丝状放电离子等离子电子发射器将相对于常规电子束炉在电子束熔化炉内维持更均匀的温度,并且消除扫描高度聚焦的电子点位的必要。然而,本公开的电子束炉的某些实施例可以包括生成电场的部件或者按照需要对一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器生成的电子场进行导向的其它适当部件。例如,在炉子210中,可以希望的是从一侧到另一侧扫描由丝状放电离子等离子电子发射器216生成的广阔场,以实现炉膛224的边缘的额外加热。通过以高能电子场扫描比较宽的区域,而不是横跨该区域扫描电子点源,会显著地降低与使用常规电子束熔化炉时出现的大致线性的电子束相关联的局部强烈加热效果(例如,能量每单位面积)。这消除了或者至少显著地降低了相对容易挥发的合金元素的不希望地蒸发的程度,因为没有生成相对极高的温度点。这进而部分地或者全部地消除了常规电子束炉设计中固有的成分控制和污染问题。

[0057] 如以上指出的,丝状放电离子等离子电子发射器的各种实施例通常包括生成正离子等离子体的一个或多个细长丝状阳极,其中等离子体入射到阴极上以生成二次电子的场,所述二次电子能够被加速以入射到待加热的标靶上。先前使用在其它不相关的应用中的丝状放电离子等离子电子发射器的一个已知设计的示意图在图4中示出。该发射器310包括在其中生成正离子等离子体的电离或者等离子体区域314,和包括阴极318的阴极区域316。等离子体区域314填充有处于低压的可离子化气体,所述气体在等离子体区域中电离,以生成含阳离子的等离子体。例如,电离区域314可以填充有例如处于大致20mTorr的氦气。小直径细长丝状阳极319穿过等离子体区域314的长度。正电压通过电源322施加至丝状阳极319,这

引发氦气电离成包括氦阳离子和自由电子（“一次”电子）的等离子。一旦氦气的电离被引发后，等离子通过向细丝状阳极 319 施加电压而得到保持。等离子内的带正电的氦离子通过维持在高负电位的取出栅 326 从电离室 314 中取出，并通过高电压间隙加速进入阴极区域 316 中，其中等离子中的阳离子冲击高负电压阴极 318。阴极 318 可以是例如有涂层或者没有涂层的金属或者合金。氦离子对阴极 318 的冲击从阴极 318 释放出二次电子。高电压间隙 328 沿与氦阳离子的运动方向相反的方向加速二次电子，穿过取出栅 326 并进入等离子区域 314 中，然后穿过由对电子穿透性较高的材料制成的薄金属箔窗口 329。如以上指出的，取决于电子发射器和炉室内的相对气压，可以省略箔窗口 329，这时由发射器生成的电子将直接进入炉室。

[0058] 丝状电极 319 和阴极 318 可以设计并配置成更好地促进带正电的氦离子向阴极 318 的移动。此外，阴极 318 和取出栅 326 可以设计并配置成使穿过栅 326 的二次电子透射最大化，并具有适合于穿透箔窗口 329（如果存在的话）的射束轮廓。离开发射器 310 的高能电子宽域场可以被引导成入射到定位在箔窗口 329 的相反侧并且位于熔化炉的真空室内的标靶上。此外，窗口 329 的尺寸可以做成尽可能薄，以使从发射器 310 的电子透射最大化。如有必要，厚度允许足够的电子透射同时还在发射器 310 内维持低真空环境的铝型或者钛型箔，可以用作箔窗口 329。可以用作设备中的窗口（如果存在的话）的其它强度适当并且电子透射率可接受的材料对本领域的技术人员将是已知的。如本文大体论述的，如果发射器 310 的内部与包含标靶的真空室之间的压力差不明显，则可以省略窗口 329。

[0059] 根据本公开，一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器，例如发射器 310，可以设置成向电子束熔化炉的真空室中供给高能电子，替代生成大致线性的电子束的电子束枪。如图 5 所示，本公开的电子束熔化炉 330 的一个非限制性实施例包括定位成邻近真空室 311 的一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器 310。宽域电子场 332 穿膜窗口 329 离开发射器 310，并涌向炉膛 336 中的熔融合金 334 的表面的至少一个区域，从而加热合金以将它维持在熔融状态。因为入射到炉膛 336 中的合金上的电子横跨比较宽的区域扩散，所以在任何特定局部区域中聚焦在熔融材料上的能量不足以从合金引起有问题程度的元素挥发，从而降低或者消除在常规电子束熔化炉的使用中固有的合金污染和不均质性问题。如以上指出的，如果发射器 310 与真空室 311 之间的操作压力差不明显，则可以省略膜窗口 329。此外，如以上指出的，真空室 311 优选以高于常规压力的压力进行操作，以进一步降低或者消除不想要的基本汽化，而这时对于将电子发射器与炉室分隔的膜窗口的需求将再次取决于设计中固有的特定压力差。可选地，用于对宽域电子场进行磁性导向的部件 340 被设置成允许进一步对真空室 311 内的熔化过程进行改进的控制。

[0060] 虽然图 5 提供的是本公开的丝状放电离子等离子电子熔化炉的包括有单个电子发射器的一个实施例的简化视图，但是本领域的技术人员应该清楚的是这种设备的实际或者替代实施例可以具有多个丝状放电离子等离子电子发射器。还应清楚的是，一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器可以被并入这种设备中以：(1) 熔化被引入炉子中的呈例如合金棒材或者线材形式的原料；(2) 将停留在炉膛中的熔融合金维持在高于合金熔点的温度（并且可能对熔融合金进行除气和 / 或精炼）；和 (3) 将逐渐前进的铸锭的表面的熔池的期望区域维持在熔融状态，从而以期望方式影响铸锭凝固速率。此外，在某些实施例中，一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器可以与生成常规大致线性的电子束的一个

或多个电子束枪一起使用。

[0061] 图6和7提供了与可以适于在本公开的电子束熔化炉的一个实施例中用作高能电子源的丝状放电离子等离子电子发射器510的一个可能非限制性实施例有关的额外详情。图6是丝状放电离子等离子电子发射器实施例510的部分剖切的透视图。图7是以简化方法示出了发射器510的操作的示意图。发射器510包括电气地接地的壳体513,所述壳体513包括阴极区域511,电离或者等离子区域514,以及电子透射性箔窗口515。细长丝状电极516延伸穿过电离区域514的长度。箔窗口515电气地耦合至室513,从而形成阳极,该阳极进行操作以使室513内的电子加速穿过其中,从而以箭头“A”所示的一般方向离开室513。室513填充有处于例如1-10mTorr的低压的氦气,并且以气源517供气。气源517通过穿过阀521的管道519连接至壳体513。通过泵523在室513中维持低真空环境,所述泵523通过管道524连接至室513。

[0062] 阴极区域511包括阴极518,阴极518进而包括安装在其下表面上的插入物520。插入物520可以由例如钼构成,但是也可以由具有适当高的二次电子发射系数的任何材料构成。阴极518与壳体513的壁适当地均匀地间隔开,以防止Paschen崩溃。阴极518通过电缆525耦合至高电压电源522,所述电缆525穿过绝缘体526并进入电阻器528中。电源522向阴极518供给高的负电位,例如200-300KV。阴极518和插入物520可以被例如穿过管道527循环的油或者其它适当的冷却流体适当地冷却。

[0063] 电离区域514包括电气地并且机械地耦合的多个薄金属肋条530。每个肋条530包括中心切口区域,以允许丝状电极516穿过电离室514。肋条530的面对阴极518的侧部形成取出栅534。全部或者一部分肋条530的相反侧为电子透射箔窗口515提供支承栅536。可以设置冷却通道540来穿过肋条530并在肋条530附近循环冷却流体,以允许热从电离区域514排出。电子透射箔窗口515,其可以由例如铝或钛箔构成,被支承在栅536上,并且被O形圈或者足以在壳体513内维持高真空氦气环境的其它结构密封至壳体513。在发射器510的某些实施例中,设置气体歧管来冷却箔窗口515,例如以加压氮气。如本文大体论述的,如果发射器510的室513的内部与包含电子场的标靶的室之间的压力差不明显,则窗口515可以省略。

[0064] 电气控制装置548经由连接器549连接至丝状电极516。在控制装置548的激活时,丝状电极516被通电至高的正电位,并且电离区域514内的氦气被电离以生成包括氦阳离子的等离子。一旦等离子在电离区域514中被引发后,阴极518被电源522供电。电离区域514中的氦阳离子被从阴极518延伸到等离子区域514中的电场电气地吸引至阴极518。氦阳离子沿场线行进,穿过取出栅534,并进入阴极区域511中。在阴极区域511中,氦阳离子加速横跨由通电阴极518生成的电场的整个电位,并且作为阳离子的平行射束有力地入射到阴极518上。冲击的阳离子从插入物520中释放出二次电子。由插入物520生成的二次电子场沿与氦阳离子的行进方向相反的方向加速,趋向丝状电极516,并穿过箔窗口515(如果存在的话)。

[0065] 可以设置器件来监视室513内的实际气压,因为压力的变化能够影响氦离子等离子体的密度,进而影响在阴极518处生成的二次电子场的密度。可以通过适当地调节的阀521在壳体513内设定初始压力。一旦在等离子区域514中引发含阳离子的等离子后,可以设置电压监视器550来间接地监视室513内的即时静态压力。电压的上升表明较低的室压力。

电压监视器 550 的输出信号用于通过阀控制器 552 控制阀 521。通过控制装置 548 供给至丝状电极 516 的电流也受控于电压监视器 550 的信号。利用由电压监视器 550 生成的信号来控制气源阀 521 和控制装置 548,能允许来自发射器 510 的稳定电子场输出。

[0066] 由发射器 510 生成的电流可以通过冲击阴极 518 的阳离子的密度确定。冲击阴极 518 的阳离子的密度可以通过经由控制装置 548 调节丝状电极 516 上的电压来控制。从阴极 518 射出的电子的能量可以通过经由电源 522 调节阴极 518 上的电压来控制。发射出的电子的电流和能量两者可以被独立地控制,并且这些参数与外加电压之间的关系是线性的,使发射器 510 的控制既高效又有效。相比之下,常规热离子电子束枪在调节射束参数时不能以相应的线性方式控制。

[0067] 图 8 是本公开的电子束熔化炉的一个实施例的示意图,其中炉子 610 包括有两个丝状放电离子等离子电子发射器 614、616,它们具有如图 6 和 7 大致示出并且如以上参考这些附图描述的设计。炉子 610 包括真空室 620、材料供给器 622 和铸造或者雾化装置 624。如上所述,操作发射器 614 和 616 所需的电流通过电源线 626 供给至发射器,并且发射器 614、616 与真空室 620 之间的界面包括电子透射箔窗口 634、636,它们允许发射器 614、616 生成的电子场 638 进入真空室 620。如果发射器 614、616 与真空室内的操作压力相同或者没有显著不同,则可以省略箔窗口 634、636。可以将用于对电子场 638 进行磁性导向的器件 639 包括在真空室 620 内,以提供额外的工艺控制。炉膛 640,其可以是例如冷炉膛,设置在真空室 620 中。操作中,丝状放电离子等离子电子发射器 614、616 被通电,并生成电子场 618。导电供给材料 644 被供给器 622 引入真空室 620 中,被从发射器 614 射出的电子场 638 熔化,并降落至炉膛 640。由发射器 616 发射的宽域电子场 638 在停留于炉膛 640 中的同时对熔融材料 642 进行加热、除气和精炼。熔融材料 642 沿炉膛 640 前进,并降落到铸造或者雾化装置 624 中,并被处理成期望形态。

[0068] 本公开的离子等离子电子发射器的多个不同非限制性实施例,例如上述丝状放电离子等离子电子发射器等,可以在高于常规热离子电子束枪的真空压力处操作。熔化炉在这些较高压力的操作能够降低被熔化材料内的挥发性元素的挥发,也如以上详细地论述的。然而,如果这些挥发性元素中的任一种确实从熔融材料蒸发了,即使在熔化炉中的较高蒸汽压条件下,并冷凝在熔化炉的比较冷的室壁上,所形成的冷凝物也可能从室壁脱落并掉入熔体中。掉进熔体中的冷凝物可能以夹杂物污染熔体和 / 或在熔体化学性质中产生局部变异。发明人感觉到有利的是开发出用于防止或者抑制这种冷凝物在离子等离子电子发射器熔化炉和其它类型的熔化炉中的形成的设备和方法。

[0069] 如此一来,本公开,部分地,涉及包括至少一个辅助电子发射器的设备,所述至少一个辅助电子发射器呈离子等离子电子发射器的形式,例如丝状放电离子等离子电子发射器等,其构造成与包括一个或多个其它离子等离子电子发射器(例如丝状放电离子等离子电子发射器)的熔化炉一起使用,以熔化导电金属材料。本公开的其它非限制性实施例涉及包括至少一个辅助电子发射器的设备,所述至少一个辅助电子发射器呈离子等离子电子发射器的形式,例如辅助丝状放电离子等离子电子发射器,其构造成与包括一个或多个热离子电子束枪的熔化炉和 / 或其它熔化装置一起使用。因为本公开的辅助电子发射器包括作为电子源的离子等离子电子发射器,在本文中称为辅助离子等离子电子发射器、辅助电子发射器,或者在一个示例性实施例中称为辅助丝状放电离子等离子电子发射器。本领域

的技术人员在检阅本公开后将意识到,虽然丝状放电离子等离子电子发射器和辅助丝状放电离子等离子电子发射器在本文做了详细论述,但是任意其它适当的离子等离子电子发射器或者辅助离子等离子电子发射器也可以被使用,并处于本公开的范围内。其它适当的离子等离子电子发射器和其它适当的辅助离子等离子电子发射器的示例在以下更详细地论述。此外,如下所述,丝状放电离子等离子电子发射器和辅助丝状放电离子等离子电子发射器的“丝状(wire)”可以形成为任意适当的形状,例如圆形、线形、方形、矩形、卵形、椭圆形或者三角形等,以形成具有各种形状的截面积或者轮廓的电子场。

[0070] 在某些非限制性实施例中,本公开的辅助电子发射器可以包括构造和功能与上述各种丝状放电离子等离子电子发射器相同或者相似的丝状放电离子等离子电子发射器。例如,辅助丝状放电离子等离子电子发射器可以包括等离子区域和阴极区域,所述等离子区域包括丝状电极,例如构造成生成包括正离子的等离子体的细长丝状阳极,所述阴极区域包括与高电压电源电气地连接的阴极,所述高电压电源构造成对阴极充负电。在多个不同非限制性实施例中,阴极可以相对于丝状电极定位成使得由丝状电极生成的正离子朝阴极加速并入射到阴极上,从阴极释放出电子并生成电子场,例如聚焦电子场等。聚焦电子场可以通过例如电磁体的使用,被电磁地“聚焦”和/或引导至熔化室的适当区域。为了本公开的目的,短语“聚焦电子场”是指至少在电磁聚焦后截面积小于由上述各种离子等离子电子发射器发射的电子场(以下称为“宽域电子场”)的截面积的场。电子场的聚焦可以通过例如提供更大的电子密度每单位面积,来使电子场能量更高。应该明白的是,当在本公开中提及电子场的“截面积”或者“截面轮廓”时,截面将是在某一特定时刻沿与各种电子场的行进路径大致垂直的方向所取得的。

[0071] 在某些非限制性实施例中,当与由上述各种丝状放电离子等离子电子发射器生成的能量较低、密度较稀且聚焦度较低的电子场相比时,辅助丝状放电离子等离子电子发射器可以以比上述各种丝状放电离子等离子电子发射器高的能量来进行操作,以提供更高能量、更高电子密度和/或聚焦的电子场。在一个示例性实施例中,如果阴极被充电至较高的负电压,则电子场的电子能量将更大,因为从阴极出来的自由电子的电子能量更高。此外,如果阳极被施加较高电压,则电子场的电子的密度将更大,因为阳极处生成的离子数量更多。在另一示例性实施例中,较高电压可以被施加至阳极和阴极(负电压),以生成更高能量和更密集的电子场。该电子场于是可以被电磁地聚焦和/或引导至熔体的一些部分。如此一来,这类实施例的聚焦电子场可以用于熔化例如冷凝物、熔体内的冷凝物、熔体内的凝固部分和/或熔体内的未熔化部分。聚焦电子场也可以用于将熔化炉的真空室内的熔融材料在适当的温度下维持在真空室的各个不同区域处。可以使用较高能量、较密集和/或更聚焦的电子场,因为熔体内的冷凝物、凝固部分和/或未熔化部分在真空室的区域中的停留时间有限。如此一来,希望的是在冷凝物、凝固部分和/或未熔化部分向真空室的其它区域中移动前熔化它们。辅助丝状放电离子等离子电子发射器也可以被适配成或者可导向成使得由辅助电子发射器生成的聚焦电子场的方向可以移动和/或被引导至例如熔化炉的真空室内的任何其它适当区域,以使它入射到特定的期望标靶上。在一个非限制性实施例中,例如,聚焦电子场可以入射到正形成或者正凝固铸锭的一个区域上,以有利地影响熔池 231 的凝固动力学,从而影响固态铸锭 232 的特征。

[0072] 本领域的技术人员将意识到的是,本公开的辅助丝状放电离子等离子电子发射器

可以包括例如上述各种丝状放电离子等离子电子发射器的任意适当的特征。如此一来,为了简洁之故,这些特征在相对于辅助丝状放电离子等离子电子发射器的这部分中将不再做具体叙述。应该明白的是,图 9-15 中标号与上述图 1-8 中任何部件、要素和 / 或部分相同的任何部件、要素和 / 或部分可以是相同或者相似的,并且可以具有相同或者相似的结构和 / 或功能。此外,以上相对于图 1-8 所示的各种示例性实施例描述的部件、要素和 / 或部分中的任一个可以与图 9-15 中描述的各种示例性实施例协同使用。

[0073] 在一个非限制性实施例中,参考图 9,辅助丝状放电离子等离子电子发射器 700 可以定位成位于熔化炉 210 的真空室 214 中或者邻近熔化炉 210 的真空室 214。辅助丝状放电离子等离子电子发射器 700 可以与一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器 216 协同地或者独立地使用。在一个非限制性实施例中,一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器 216 可以用于加热和熔化金属材料的棒材 220,并且一个或多个丝状放电离子等离子电子发射器 216 可以用于加热和精炼炉膛 224 中的熔融金属材料 226。在某些非限制性实施例中,辅助丝状放电离子等离子电子发射器 700 可以用于熔化形成于真空室 214 的壁 215 上的任何冷凝物,和 / 或熔化存在于炉膛 224 中的已熔化金属材料中的包括冷凝物的任何凝固部分。在另一些非限制性实施例中,辅助丝状放电离子等离子电子发射器可以用于加热熔池 231 或者用于正形成或正凝固铸锭 232 的其它区域,如本文论述的。

[0074] 因此,在多个不同非限制性实施例中,辅助丝状放电离子等离子电子发射器 700 可以适配成选择性地熔化形成于室壁 215 上的冷凝物,从而防止或者降低固态冷凝物从室壁 215 脱离并掉入熔融材料 226 中的可能性。此外,在多个不同非限制性实施例中,辅助丝状放电离子等离子电子发射器 700 可以适配成例如沿炉膛 224 在期望区域处提供额外的加热,以熔化熔融材料 226 内的例如冷凝物等固体,和 / 或在沿炉膛 224 的一个或多个区域处将熔融材料 226 维持在熔融状态。此外,在多个不同非限制性实施例中,辅助丝状放电离子等离子电子发射器 700 可以适配成加热熔池 231 的区域,并且有利地影响熔池 231 的凝固动力学和铸锭 232 的特征。向熔池 231 施加由辅助丝状放电离子等离子电子发射器 700 发射的聚焦电子场,能够改善拉拔期间铸锭 232 的表面光洁度,使铸锭 232 内的金属撕裂最小化,和 / 或有利地影响例如铸锭 232 的所得显微结构。

[0075] 在一个非限制性实施例中,仍然参考图 9,辅助丝状放电离子等离子电子发射器 700 构造成生成聚焦的电子场,例如聚焦电子场 702 等。该聚焦电子场 702 是三维电子场,因此,当入射到标靶上时,覆盖的区域远大于由常规热离子电子束枪生成的大致线性的电子“束”所覆盖的区域。然而,聚焦电子场 702 可以覆盖面积比例如由如上所述的丝状放电离子等离子电子发射器 216 发射的相对宽域的电子场 218 所覆盖的区域小或者小得多的区域。在一个非限制性实施例中,聚焦电子场 702 在它入射到熔化炉的真空室中的标靶上时,可以具有例如 0.5 平方英寸到 50 平方英寸的面积,或者 1 平方英寸到 30 平方英寸的面积,或者 1 平方英寸到 20 平方英寸的面积。聚焦电子束,在某些实施例中,是可导向的,或者至少是可引导的,以使它能够入射到熔体内的冷凝物或者其它固态部分上。本领域的技术人员,在考虑本公开后,将意识到的是聚焦电子场对于特定应用可以具有任意适当的截面积或者轮廓。

[0076] 在一个非限制性实施例中,聚焦电子场 702 的截面积和 / 或截面形状可以是例如辅助电子发射器的阳极和 / 或阴极的尺寸和形状的函数。例如,在某些非限制性实施例中,

阳极和阴极具有比较大的尺寸,并且聚焦电子场 702 覆盖比较大的截面积。然而,该比较大的截面积通常小于宽域电子场的截面积,但是充分大于由常规热离子电子发射器发射的大致线性的“射束”的基本为“点状”覆盖面积。基于阳极的形状,聚焦电子场还可以包括各种截面形状,例如圆形或者正方形等。在一个非限制性实施例中,可以协同阴极使用具有圆形形状的阳极,以生成具有例如圆形或者大致圆形的截面形状的聚焦电子场。

[0077] 在一个非限制性实施例中,再次参考图 9,丝状放电离子等离子电子发射器 216 可以发射具有第一截面积的至少一个第一电子场 218(即,宽域电子场)。辅助丝状放电离子等离子电子发射器 700 可以发射具有第二截面积的第二电子场,例如聚焦电子场 702。在多个不同实施例中,第一截面积可以大于、等于或者小于第二截面积。涉及描述特定电子场时,术语“面积”可以指电子场入射到熔融材料内的冷凝物、固态部分上时的电子场的覆盖面积,正形成或者正凝固铸锭的区域,和 / 或真空室的其它区域。

[0078] 在一个非限制性实施例中,由辅助丝状放电离子等离子电子发射器 700 发射的聚焦电子场 702 具有比丝状放电离子等离子电子发射器 216 发射的宽域电子场小的截面积。在该实施例中,比起丝状放电离子电子发射器 216 发射的宽域电子场,聚焦电子场 702 可以更聚焦,并且可选地具有更高的能量(例如,更高电子密度和 / 或更高能量电子)。聚焦电子场 702 的更高电子密度可以例如通过向阳极施加更高电压来生成,以在阳极处生成更多离子,从而生成更多来自阴极的二次电子。聚焦电子场 702 的能量可以增大或者减小,以适当地熔化熔体的冷凝物或者固态部分。在这种实施例中,例如,阴极的电子加速电压(kV)和电子电流(kW)可以变化,以进行适当的熔化。在一个非限制性实施例中,电子电流(kW)可以增大成引起更快的熔化。在另一些非限制性实施例中,聚焦电子场 702 也可以进一步聚焦,以增大聚焦电子场 702 内的电子密度,从而引起更快的熔化。

[0079] 在一个非限制性实施例中,聚焦电子场 702 可以被引导朝向熔融合金 226 或者熔池 231 内的任何冷凝物、凝固部分和 / 或未熔化部分。另外,在某些实施例中,聚焦电子场 702 可以被引导至熔池 231,以影响熔融材料向铸锭 232 中的凝固。聚焦电子场 702 也可以被引导至室壁 215 的在其上具有冷凝物的区域以熔化冷凝物,或者被引导至熔化炉 210 的其它区域。

[0080] 再次参考图 9,聚焦电子场 702 可以被导向系统引导,例如导向系统 704。导向系统 704 例如可以生成和操作一个或多个电场和 / 或磁场,以对聚焦电子场 702 进行导向,以将之入射到熔化炉 210 的真空室 214 内的期望区域或者物体上。本领域的技术人员已知的例如磁偏转等用于操作电子场的方向的常规技术和设备,可以适当地适配成用于导向系统 704 中。鉴于用于操作电子场的这种技术和设备对本领域的技术人员是已知的,所以在本文将不做详细描述。此外,例如,导向系统 704 可以设计成围绕熔化炉 210 的真空室 214 内的特定区域,选择性地扫描由辅助离子等离子电子发射器 700 生成的聚焦电子场 702。各种常规技术和设备用来扫描电子束对本领域的技术人员是已知的,并且可以适当地适配成用于导向系统 704 中。鉴于用于扫描电子场的这种技术和设备对本领域的技术人员是已知的,所以在本文将不做详细描述。在一个非限制性实施例中,聚焦电子场 702 的扫描可以将场快速地移动到室壁 215 上的冷凝材料的区域上以熔化冷凝物,移动到炉膛 224 内的材料的凝固部分或者未熔化部分上以熔化材料,和 / 或移动到熔池 231 上以按照需要影响正形成铸锭 232 的凝固。聚焦电子场 702 的扫描还可以用于消除或者至少有助于降低以下可能

性：多余的动力或者能量被聚焦电子场 702 传输至聚焦电子场 702 所入射到其上的冷凝物、凝固部分和 / 或熔融材料。多余的电子能量 / 单位面积和 / 或电子密度 / 单位面积向冷凝物、凝固部分和 / 或熔融材料的施加，可能使冷凝物或者材料内的挥发性元素挥发，这可能使材料在室壁 215 上的冷凝恶化。在一个非限制性实施例中，导向系统 704 可以用于将聚焦电子场 702 引导至熔化炉 210 内的任意适当的位置。

[0081] 在一个非限制性实施例中，用于聚焦电子场 702 的导向系统可以被选择性地操作，以使操作员能够将聚焦电子场 702 具体地引导至熔体的需要熔化和 / 或重新加热的特定部分。这种选择性的导向系统可以移动导向装置 704，或者其它导向装置，从而引导聚焦电子场 702 至真空室内的适当区域，例如引导至熔体内的冷凝物颗粒上。在另一些非限制性实施例中，各种不同的导向装置，例如电磁体等，可以在真空室内恰当地配置，以使聚焦电子场 702 能够被引导至真空室的预定区域，和 / 或能够通过操作员例如在真空室的第一预定区域与真空室的第二预定区域之间是可选择性地移动的。

[0082] 图 10 示出了包括在电子束熔化炉 610 中的另一非限制性实施例的辅助离子等离子电子发射器 700'，例如丝状放电离子等离子电子发射器。电子束熔化炉 610 的各种要素以包括在图 8 中的并在以上描述过的标号标出。辅助离子等离子电子发射器 700' 可以发射类似于聚焦电子场 700 的聚焦电子场 702'，其可以入射到设置于炉膛 640 中的熔融材料 642 和 / 或熔融材料 642 内的固体（例如从室壁掉落的冷凝物）上。在一个非限制性实施例中，辅助离子等离子电子发射器 700' 可以包括导向系统 704'，其例如可以具有如上所述的构造。

[0083] 在图 11 中示意性地示出的一个非限制性实施例中，一示例性导向系统被适配成与辅助离子等离子电子发射器 700 或 700'（总称为“700”）协同使用。用于辅助离子等离子电子发射器 700 的聚焦电子场 702 的导向系统可以包括第一磁气和 / 或电气导向装置 706 和第二磁气和 / 或电气导向装置 708。第一导向装置 706 可以定位在聚焦电子场 702 的第一侧上，而第二导向装置 708 可以定位在聚焦电子场 702 的第二侧上。第一和第二导向装置 706、708 可以构造成在其间生成磁场和 / 或电场，所述磁场和 / 或电场是可平移的，以沿期望方向引导聚焦电子场 702。作为结果，第一和第二导向装置 706、708 可以用于将聚焦电子场 702 引导至熔化炉的真空室内的期望区域或者位置。导向系统可以包括额外的导向装置，以使聚焦电子场 702 能够在真空室内沿任意适当的方向得到引导。图 11 所示的示例性导向系统还可以用于使聚焦电子场 702 聚焦或者进一步聚焦。

[0084] 用于聚焦电子场 702 的导向系统的另一非限制性实施例在图 12 中示意性地示出。在这种实施例中，导向系统可以包括围绕聚焦电子场 702 定位的多于一个的导向装置 710（图 12 中未示出，但是沿进入页面中并且大致垂直于页面的路径突出）。类似于以上第一和第二导向装置 706 和 708，导向装置 710 可以各自生成构造成作用于聚焦电子场 702 上的磁场和 / 或电场。通过设置例如多于一个、多于两个或者多于三个的导向装置 710，聚焦电子场 702 能够被精确地引导至熔化炉的真空室内的任何期望区域或者物体。本领域的技术人员将意识到的是，可以协同本文所述的辅助离子等离子电子发射器使用用于对电子场进行导向的其它常规系统，以引导聚焦电子场 702 的方向。类似于图 11 的示例性导向系统，图 12 的示例性导向系统也可以用于使聚焦电子场 702 聚焦或者进一步聚焦。

[0085] 在一个非限制性实施例中，用于熔化导电金属材料的设备可以包括辅助丝状放电

离子等离子电子发射器和导向系统,所述辅助丝状放电离子等离子电子发射器构造成生成包括具有第一形状的截面轮廓的聚焦电子场,所述导向系统构造成引导聚焦电子场,以入射到导电金属材料的至少一部分上,以熔化其中的任何固体冷凝物或者其它固体。聚焦电子场还可以被导向系统引导到熔池或者正形成或正凝固铸锭的其它区域上,以有利地影响铸锭的凝固动力学。在这种非限制性实施例中,设备可以包括具有第二形状的丝状电极和具有第三形状的阴极。在至少一个实施例中,第一形状可以大致类似于或者相同于第二形状和 / 或第三形状。电子场的截面轮廓的第一形状可以例如大致呈圆形、三角形、矩形、方形、椭圆形或者卵形,也可以呈任意其它适当的形状。因此,本领域技术人员应该意识到的是,聚焦电子场的截面轮廓的第一形状可以是适合于熔化冷凝物、熔化熔体内的固体、熔化熔体内的金属材料的未熔化部分,和 / 或以期望方式加热正凝固铸锭的熔池的任何形状。例如,如果希望具有大致三角形截面轮廓的聚焦电子场,则辅助丝状放电离子等离子电子发射器可以包括大致三角形的丝状电极和 / 或大致三角形的阴极。

[0086] 在一个非限制性实施例中,离子等离子电子发射器或者辅助离子等离子电子发射器可以包括除丝状阳极外的阳极(或者阳离子生成电极)。在这种实施例中,阳极可以是构造成允许从阴极射出的聚焦电子场轻松地穿过其中的导电薄板、片材或者箔。在另一些实施例中,阳极可以包括任意其它适当的构造。导电薄板、片材或者箔式阳极可以包括任意适当的形状,例如大致呈圆形、方形、矩形、三角形、椭圆形、卵形或者任意其它适当的形状。通过以这些种类的形状或者其它各种形状设置阳极,能够控制宽域电子场和 / 或聚焦电子场的截面积或者轮廓的形状。例如,为了生成具有圆形截面形状的聚焦电子场,可以使用圆形薄板、片材或者箔式阳极。在一个非限制性实施例中,离子等离子电子发射器或者辅助离子等离子电子发射器的阴极也可以由具有任意适当尺寸的任何导电薄板、片材或者箔构成。该导电薄板、片材或者箔式阴极可以包括形状与上述各种阳极相似的形状。在一个非限制性实施例中,阴极的形状可以与阳极的形状协同工作,以生成具有各种形状的截面积或者轮廓的宽域电子场或者聚焦电子场。虽然以上参考示例性丝状放电离子等离子电子发射器描述了生成宽域电子场的离子等离子电子发射器,但是本领域的技术人员将意识到的是,具有“非丝状”或者“非直的丝状”阳极的离子等离子电子发射器也可以被使用,并且处于本公开的范围內。

[0087] 类似于上述各种丝状放电离子等离子电子发射器,辅助丝状放电离子等离子电子发射器的多个不同非限制性实施例可以包括:构造成生成含阳离子的等离子体的一个或多个细长丝状阳极,其中等离子阳离子入射到阴极上以生成二次电子场(即,聚焦电子场),其被加速以入射到例如冷凝物等标靶上,所述冷凝物将被熔化以降低熔体内的固体夹杂物。细长丝状阳极可以具有充分大于其厚度尺寸的长度尺寸。虽然描述为“细长”,但是细长丝状阳极可以形成为任意适当的形状。辅助丝状放电离子等离子电子发射器可以大致相同于或者基本类似于以上针对各种丝状放电离子等离子电子发射器描述的方式来构成。如此一来,以上对各种丝状放电离子等离子电子发射器的描述被并入目前对辅助丝状放电离子等离子电子发射器的设计的描述中。另外,在以下给出对本公开的辅助离子等离子电子发射器的某些非限制性实施例的构造和操作的方式的描述。

[0088] 如以上指出的,本公开的辅助离子等离子电子发射器可以构造成生成具有任意适当的截面轮廓或者形状的聚焦电子场,例如大致圆形、正方形、矩形、三角形、卵形或者椭圆

形截面轮廓,或者具有任意其它适当的有边形状的其它截面轮廓。在某些非限制性实施例中,本公开的例如辅助丝状放电离子等离子电子发射器等辅助离子等离子电子发射器,可以生成具有大致矩形截面轮廓(见图 13 和 14)或者大致圆形截面轮廓(见图 15)的电子场。参考图 13,辅助离子等离子电子发射器 802 可以包括电离或者等离子区域和阴极区域,所述电离或者等离子区域类似于图 4 的等离子区域 314,其包括构造成生成含阳离子的等离子体的丝状阳极或者导电薄板、片材或者箔式阳极 819(一起称为 819),所述阴极区域类似于图 4 的阴极区域 316,其包括阴极 818。阴极 818 可以具有任意适当的形状。该等离子区域可以填充有处于低压的可离子化气体,所述气体可以在等离子区域中电离,以生成含阳离子的等离子。例如,等离子区域可以填充有例如处于大致 20mTorr 的氦气。小直径丝状阳极或者导电薄板、片材或者箔式阳极 819 可以定位在等离子区域内。该阳极 819 可以具有任意适当的形状,虽然图 13 示出的是矩形构造。可以通过高电压电源 822 向阳极 819 施加正电压,以引发氦气电离成包括氦阳离子和自由“一次”电子的等离子。一旦氦气的电离被引发后,等离子通过向阳极 819 施加电压而得到保持。等离子内的带正电的氦离子经由被维持在高负电位的类似于图 4 的取出栅 326 的取出栅而从等离子区域中被取出,并经由类似于图 4 的高电压间隙 328 的高电压间隙得到加速,进入阴极区域中,在这里等离子中的阳离子冲击被维持在高负电压的阴极 818。阴极 818 可以是例如有涂层或者没有涂层的金属或者合金。在一个非限制性实施例中,阴极 818 可以包括具有高熔点和低功函数的插入物。高电压电源,例如图 6 的高电压电源 522,对阴极 818 给予例如大于 20,000 伏特的负电压。

[0089] 氦阳离子向阴极 818 上的冲击从阴极 818 中释放出二次电子,从而形成聚焦电子场。二次电子被高电压间隙沿与氦阳离子的运动方向相反的方向加速,穿过取出栅并进入等离子区域中(穿过导电板、片材或者箔,如果存在的话),然后穿过薄金属箔窗口(如果存在的话),所述薄金属箔窗口类似于图 4 的薄金属箔窗口 329,由对电子穿透性较高的材料制成。如以上指出的,取决于辅助电子发射器与熔化炉室内的相对气压,可能能够省略电子透射窗口,这时由辅助电子发射器生成的电子将直接进入熔化炉真空室。

[0090] 仍然参考图 13,在一个非限制性实施例中,来自阳极 819 的正离子可以被加速以入射到阴极 818 上,以生成具有呈矩形或者大致矩形的截面轮廓的聚焦电子场。矩形或者大致矩形的阳极 819 和阴极 818 可以设计并配置成更好地促进带正电的氦离子向阴极 818 的透射。此外,阴极 818 和取出栅可以设计并配置成使透射穿过取出栅的二次电子最大化,并且以适合于穿透电子透射窗口(如果存在的话)(和导电薄板、片材或者箔阳极,如果存在的话)的场轮廓透射穿过取出栅。离开辅助电子发射器 802 的聚焦高能电子场可以被引导以入射到熔化炉的真空室内的标靶上。此外,电子透射窗口,如果存在的话,可以大小做成尽可能薄,以使从辅助离子等离子电子发射器 802 透射的电子最大化。如有必要,厚度允许足够的电子透射同时还在辅助离子等离子电子发射器 802 内维持低真空环境的铝型或者钛型箔,可以用作箔窗口。可以用作设备中的窗口(如果存在的话)的其它强度适当并且电子透射率可接受的材料对本领域的技术人员将是已知的。如本文大体论述的,如果辅助电子发射器 802 的内部与包含标靶的真空室之间的压力差不明显,则可以省略窗口。

[0091] 在一个实施例中,参考图 14,辅助离子等离子电子发射器 902 可以包括类似于辅助离子等离子电子发射器 802 的某些特征。然而,辅助电子发射器 902 包括定位在等离子区

域内的矩形或者大致矩形的丝状阳极或者导电薄板、片材或者箔式阳极（一起称为 919），以及位于阴极区域内的矩形或者大致矩形的阴极 918。来自阳极 919 的正离子可以朝阴极 918 加速以生成具有呈矩形或者大致矩形的截面轮廓的聚焦电子场，所述聚焦电子场构造成冲击任何冷凝物、凝固部分或者熔体内材料的未熔化部分，和 / 或冲击到正形成或正凝固铸锭的区域上。辅助电子发射器 902 还可以包括构造成向阳极 919 供给正电压的电源。虽然未示出，但是应该明白的是，阴极 918 将连接至构造成将阴极 918 充电至高负电压的电源。

[0092] 在图 15 所示的一个实施例中，本公开的辅助电子发射器 1002 可以包括类似于辅助电子发射器 802 和 902 的某些特征。然而，辅助电子发射器 1002 包括定位在等离子区域内的圆形或者大致圆形的丝状阳极或者导电薄板、片材或者箔式阳极（一起称为 1019），以及位于阴极区域内的圆形或者大致圆形的阴极 1018。来自阳极 1019 的正离子可以朝阴极 1018 加速以生成具有呈圆形或者大致圆形的截面轮廓的聚焦电子场，所述聚焦电子场构造成冲击任何冷凝物、凝固部分或者熔体内的未熔化部分，和 / 或冲击到正形成或正凝固铸锭的区域上。辅助电子发射器 1002 还可以包括构造成向阳极 1019 供给正电压的电源。虽然未示出，但是应该明白的是，阴极 1018 将连接至构造成将阴极 1018 充电至高负电压的电源。

[0093] 本公开的各种辅助电子发射器的能量取决于阳极生成的阳离子的密度以及阴极的负电压。电离期间生成的离子的数量取决于向阳极施加的电压（即，越高的电压在单位时间生成的离子数量越多，从而增大生成的电子场的密度），而聚焦电子场内的电子的能量取决于阴极的负电压。在不希望被任何特定理论约束的同时，发明人认为真空室内正熔化的冷凝物将通过利用具有比较高的能量（例如，电子密度和电子能量）的聚焦电子场得到促进，因为在冷凝物在熔体内流动到真空室的另一区域前，任何冷凝物要在真空室的特定区域中被熔化的可利用的停留时间是有限的。相同或者相似理论适用于熔化所述熔体内的已凝固或者未熔化部分。

[0094] 在一个非限制性实施例中，用于熔化导电金属材料的设备包括真空室、设置于真空室中的炉膛和构造成熔化导电金属材料的熔化装置。该设备还可以包括与真空室连通的并且定位成从炉膛接收熔融的导电金属材料的模具、铸造设备和雾化设备中的至少一个。该设备可以包括辅助离子等离子电子发射器，所述辅助离子等离子电子发射器设置成位于真空室中或者邻近真空室，并且定位成向真空室中引导具有截面积的聚焦电子场。聚焦电子场可以具有足够的能量以在利用导向装置或者系统被引导向导电材料、固体冷凝物和凝固铸锭的区域时，实现以下中的至少一者：熔化或者重新熔化导电金属材料的部分，熔化导电金属材料内的固体冷凝物，以及加热凝固铸锭的区域。在一个非限制性实施例中，熔化装置包括设置成位于真空室中或者邻近真空室、并且定位成向真空室中引导宽域电子场的至少一个离子等离子电子发射器。宽域电子场可以具有足够的能量，来加热导电金属材料至其熔点。在另一非限制性实施例中，熔化装置可以包括至少一个热离子电子束枪，所述至少一个热离子电子束枪构造成发射具有足够能量以将导电金属材料加热至其熔点的电子束。

[0095] 在一个非限制性实施例中，辅助离子等离子电子发射器可以与包括一个或多个热离子电子束枪的熔化炉一起使用。鉴于使用热离子电子束枪的熔化炉通常具有压力（例如， 10^3 到 7.5μ (10^3 到 1Pa) 到 15μ (2Pa)) 比使用离子等离子电子发射器的熔化炉的压力

(例如,大于 $40\ \mu$ (5.3Pa) 的压力或者大于 $300\ \mu$ (40Pa) 的压力) 低得多的真空室这一事实,可以在辅助电子发射器 700' 与真空室 214 之间设置电子透射箔,例如图 10 的电子透射箔 705,以例如在真空室 214 和辅助电子发射器 700' 中维持单独的压力。如此一来,各种辅助电子发射器都可以与包括有一个或多个热离子电子束枪和 / 或其它适当熔化装置的熔化炉一起使用,而不管熔化炉的操作压力如何。在多个不同实施例中,可以在一个熔化炉中使用任意适当数量的辅助离子等离子电子发射器。

[0096] 在一个非限制性实施例中,提供了用于使熔化炉内的导电材料熔化的电子场生成方法。该方法可以包括:设置具有第一非线性形状的阳极,向阳极施加电压,以及在阳极处生成包含正阳离子的等离子。术语“非线性形状”可以指除直线或者大致直线外的形状。术语“非线性形状”也可以指具有除例如细长丝状电极 516 等上述各种电极的形状外的形状。所述方法可以进一步包括:设置具有第二形状的阴极,相对于所述阳极定位所述阴极,以及向所述阴极施加电压。该电压可以构造成对所述阴极充负电。所述方法可以进一步包括:使正阳离子朝所述阴极加速以生成自由的二次电子,以及使用自由的二次电子形成电子场。电子场可以具有呈第三形状的截面轮廓。电子场的第三形状可以对应于阳极的第一非线性形状和 / 或阴极的第二形状。在一个实施例中,电子场的第三形状可以大致相同于阳极的第一非线性形状和 / 或阴极的第二形状。在多个不同实施例中,阳极可以包括导电的细长丝状阳极、导电的薄板阳极、导电的薄片阳极或者导电的薄箔阳极。

[0097] 在一个非限制性实施例中,一种处理材料的方法可以包括:向相对于大气压维持在低压的炉室中引入包括金属和金属合金中的至少一者的材料,以及使用第一离子等离子电子发射器生成具有第一截面积的第一电子场。所述炉室内的材料然后可以受到所述第一电子场的作用,以将所述材料加热至高于所述材料的熔点的温度。所述方法还可以包括使用第二离子等离子电子发射器生成具有第二截面积的第二电子场。使用导向装置,可以使所述材料内的固体冷凝物、所述材料的凝固部分和正凝固铸锭的区域中的至少一者受到第二电子场的作用,以熔化或者加热特定标靶。此外,第一电子场的第一截面积可以大于或者以其它方式不同于第二电子场的第二截面积。第一离子等离子电子发射器和第二离子等离子电子发射器内的压力可以被维持成相同或者大致相同于存在于炉室内的压力。在另一些非限制性实施例中,炉室内的压力可以被维持成例如小于第一离子等离子电子发射器和第二离子等离子电子发射器内的压力的压力。

[0098] 在另一非限制性实施例中,一种处理材料的方法可以包括:向相对于大气压维持在低压的炉室中引入包括金属和金属合金中的至少一者的材料,以及使所述炉室内的材料受到构造成将所述材料加热至高于所述材料的熔点的温度的熔化装置的作用。所述方法还可以包括:使用辅助离子等离子电子发射器生成聚焦电子场,并使用导向装置使所述材料内的任何冷凝物、所述材料的任何凝固部分和正形成或正凝固铸锭的区域中的至少一者受到所述聚焦电子场的作用,以熔化或者加热所述冷凝物、所述凝固部分和正形成或正凝固铸锭的区域中的至少一者。在多个不同非限制性实施例中,熔化装置可以包括至少一个热离子电子束枪或者至少一个离子等离子电子发射器。

[0099] 在再一些非限制性实施例中,一种处理材料的方法可以包括:使用辅助离子等离子电子发射器生成包括具有第一形状的截面轮廓的聚焦电子场,并对所述聚焦电子场进行导向以使所述聚焦电子场入射到所述材料上,并熔化或者加热所述材料内的任何固体冷凝

物、所述材料的任何凝固部分和 / 或正形成或正凝固铸锭的区域中的至少一者。所述方法还可以包括使用具有第二形状的电极和具有第三形状的阴极生成聚焦电子场,其中第一形状大致类似于第二形状和 / 或第三形状。在一个非限制性实施例中,从所述辅助离子等离子电子发射器射出的所生成的聚焦电子场可以具有大致圆形截面轮廓和大致矩形截面轮廓中的一者。这种聚焦电子场例如可以使用大致圆形的电极或阳极和大致圆形的阴极生成,或者使用大致矩形的电极或阳极和大致矩形的阴极生成。

[0100] 虽然以上描述必然只能提供有限数量的实施例,但是本领域的技术人员将理解的是本领域的技术人员可以对本文所描述和图示的示例的设备和方法以及其它细节做出多种不同的变型,而所有这些变型均将保持在本文和所附权利要求中所表达的本公开的原理和范围内。例如,虽然本公开必然只提供本公开的电子束熔炼炉的有限数量的实施例,并且必然只论述了有限数量的离子等离子电子发射器和辅助离子等离子电子发射器设计,但是应该明白的是,本公开和相关联的权利要求并不局限于此。本领域的技术人员在考虑本公开后,将在本文所论述的必然为有限数量的实施例的精神内并沿着主线,轻松地识别出额外的离子等离子电子发射器和辅助离子等离子电子发射器设计,并且可以理解额外的炉子设计。因此,应该明白的是,本发明并不局限于本文所公开的或者所包含的特定实施例,而是旨在覆盖如权利要求所限定出的处于本发明的原理和范围内的变型。本领域的技术人员还应理解的是,在不背离本发明的一般创新概念的情况下,可以对上述实施例做出变化。

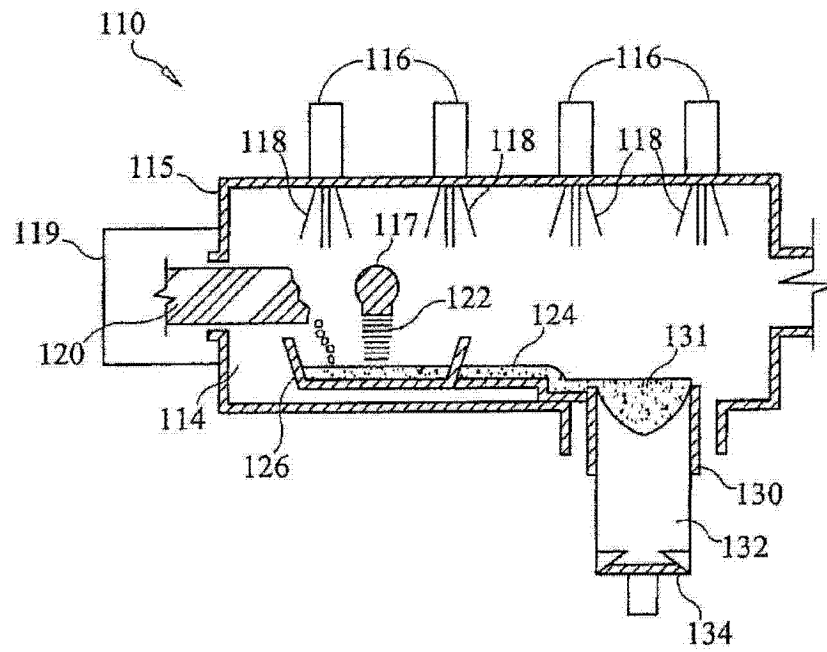


图 1

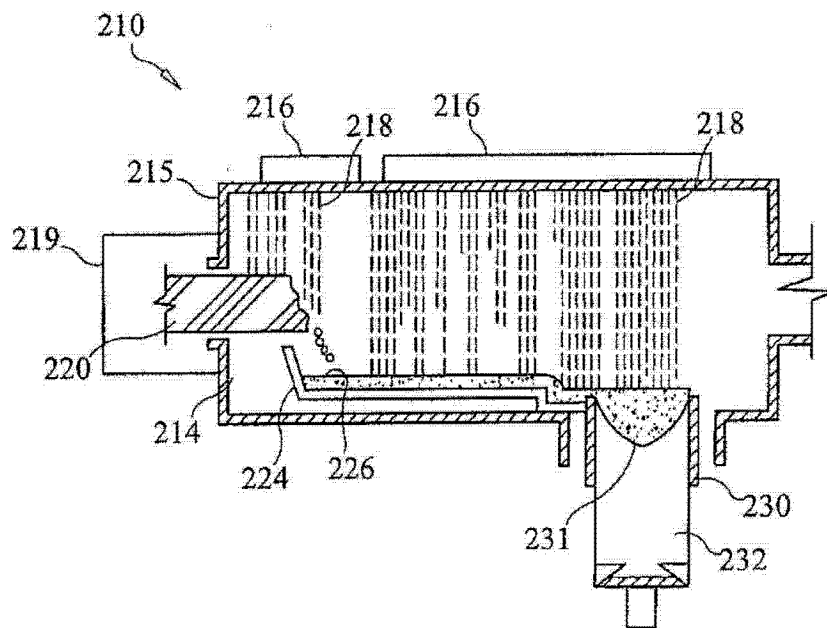


图 3

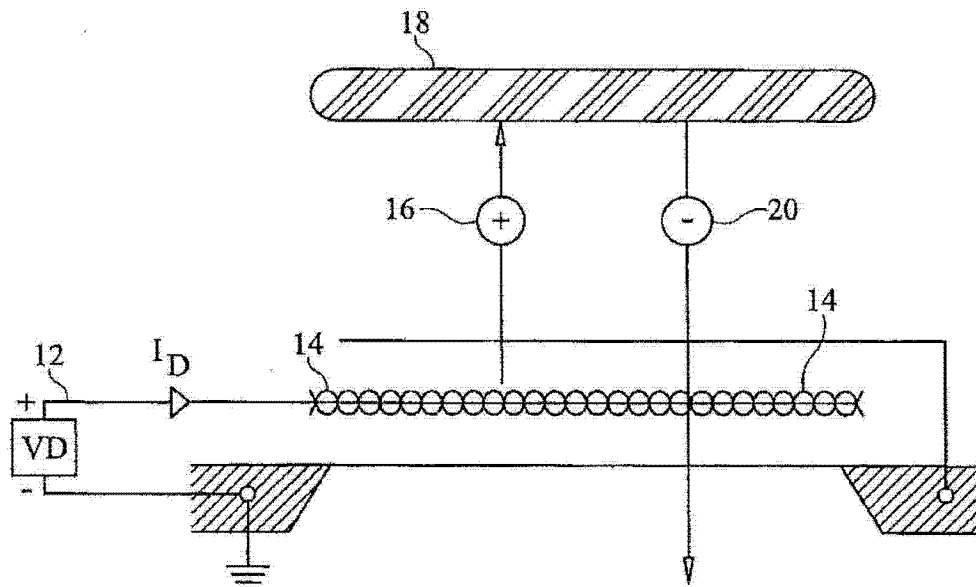


图 2

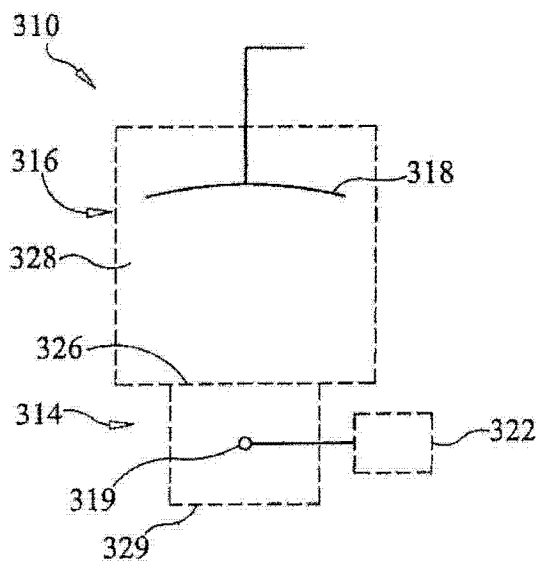


图 4

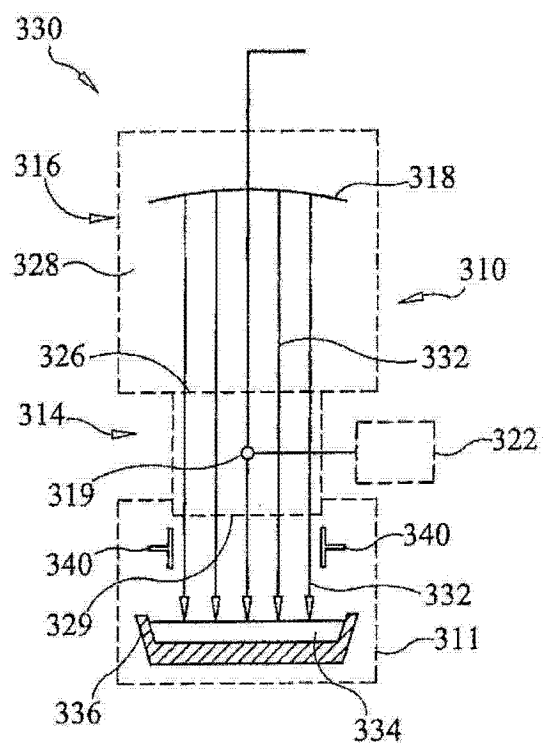


图 5

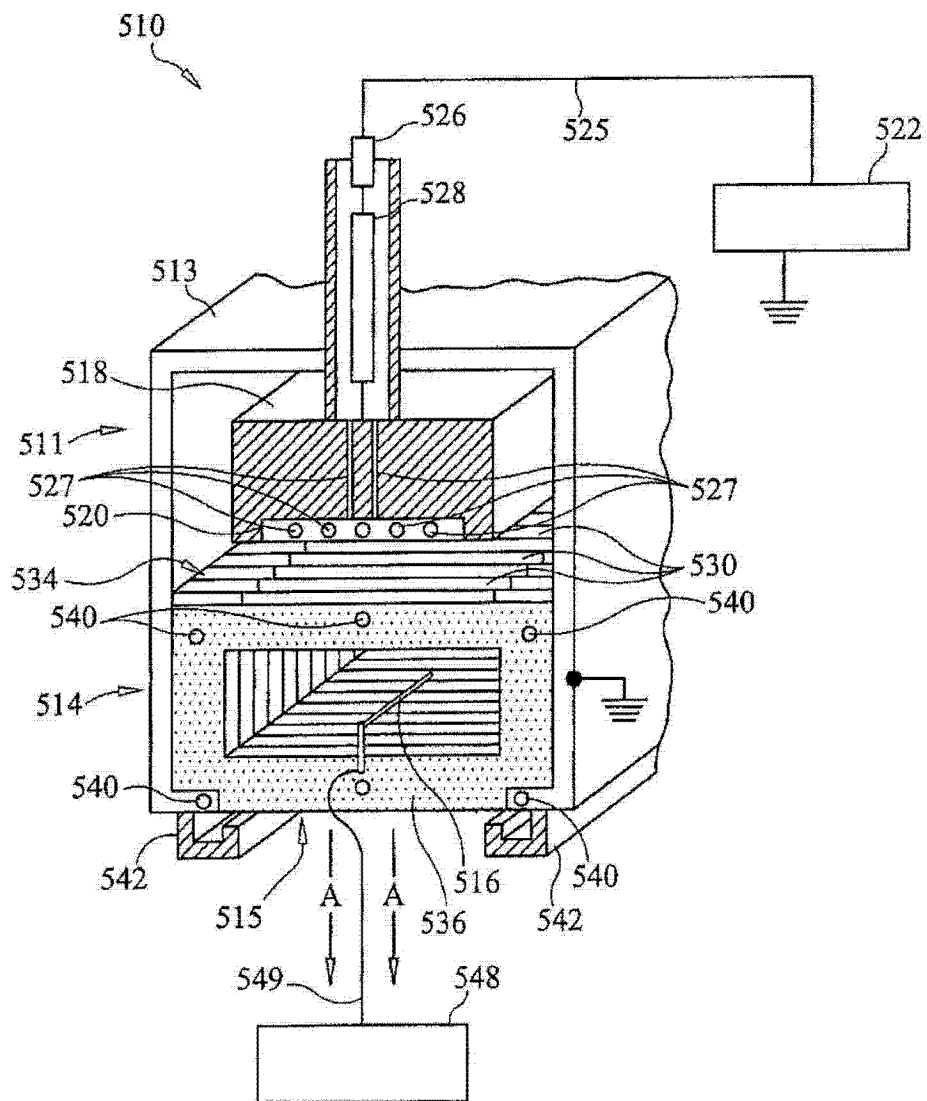


图 6

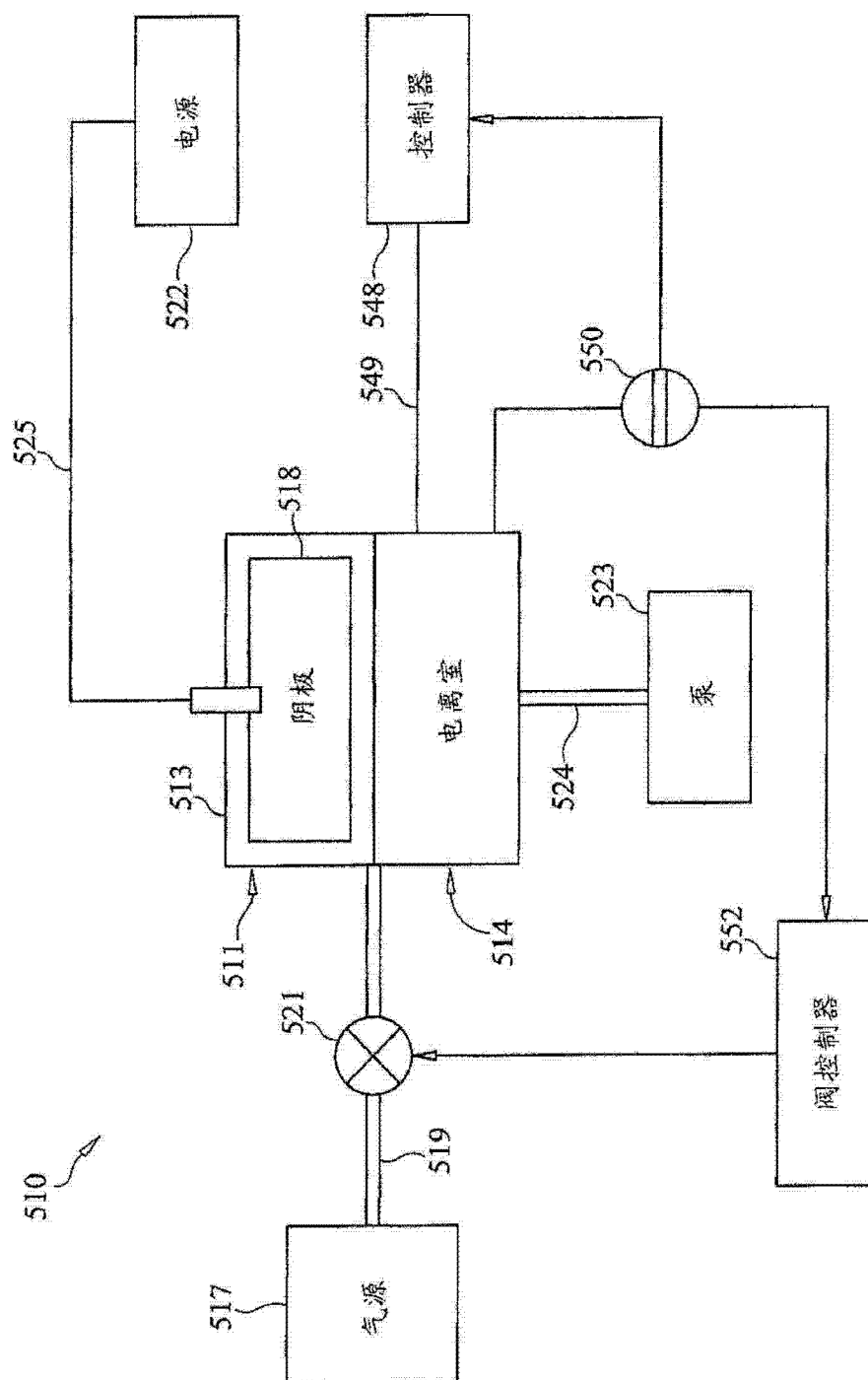


图 7

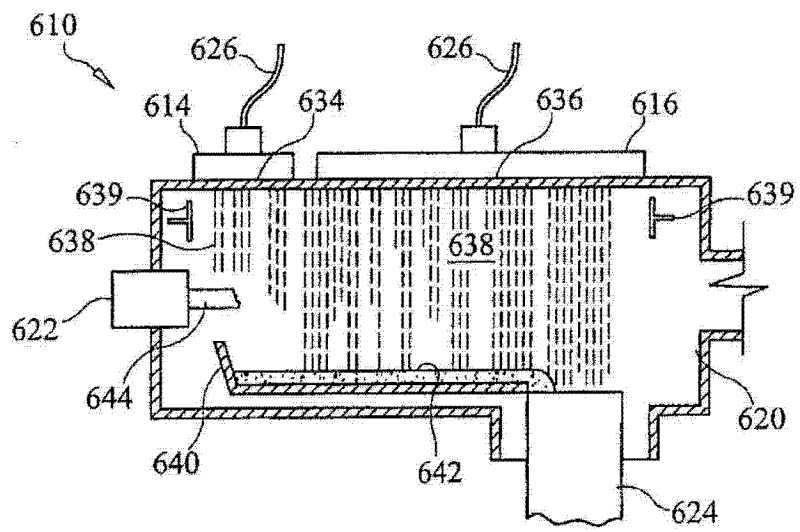


图 8

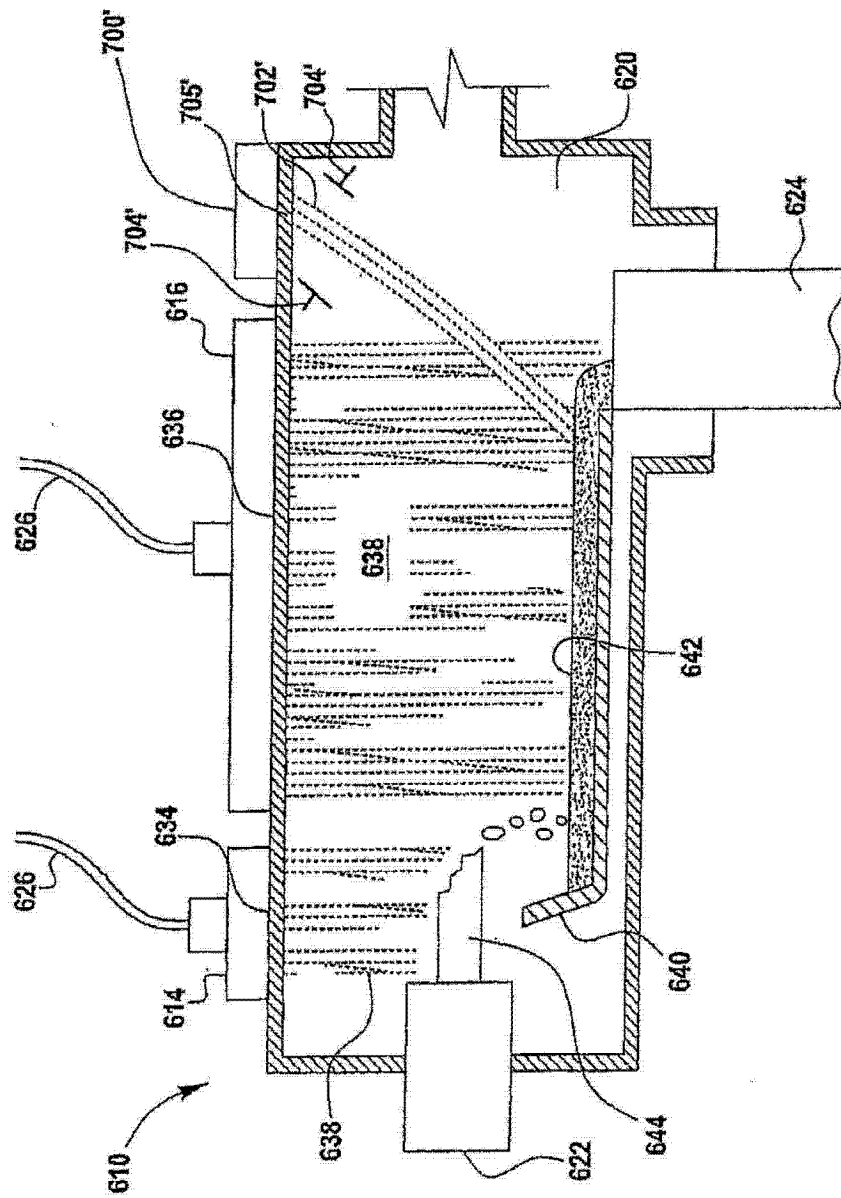


图 10

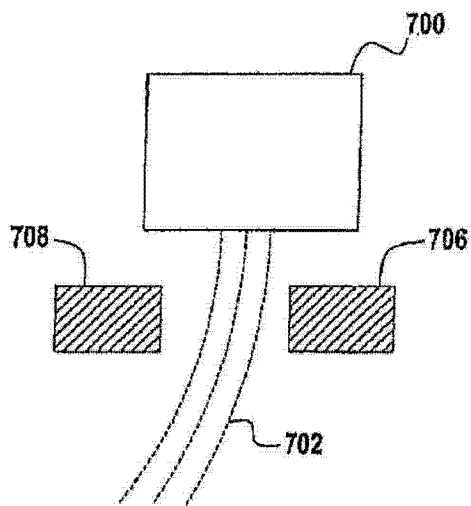


图 11

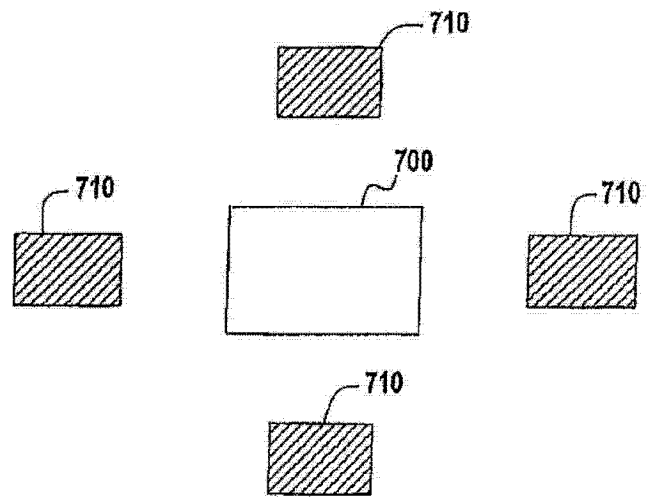


图 12

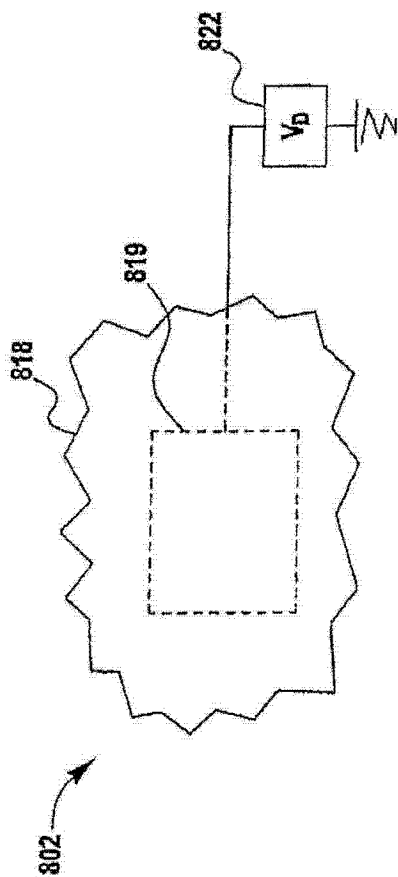


图 13

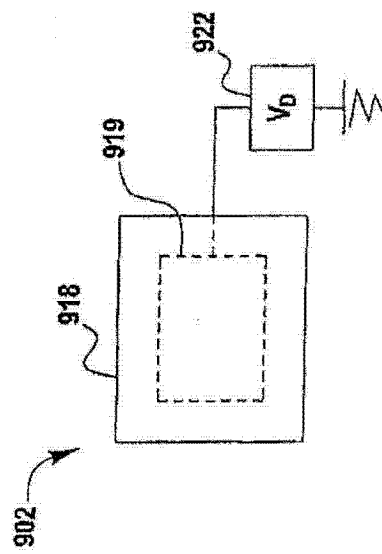


图 14

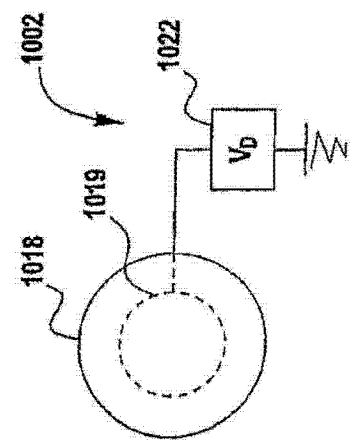


图 15