

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2021 年 9 月 16 日 (16.09.2021)



(10) 国际公布号
WO 2021/180146 A1

(51) 国际专利分类号:
H01F 6/06 (2006.01) *H01L 39/14* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/080088

(22) 国际申请日: 2021 年 3 月 10 日 (10.03.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010165343.9 2020年3月11日 (11.03.2020) CN

(71) 申请人: 上海交通大学 (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国上海市闵行区东川路800号黄振, Shanghai 200240 (CN)。

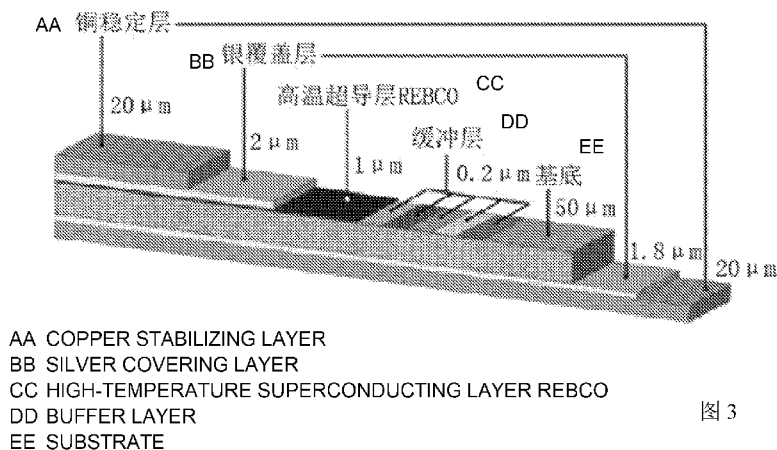
(72) 发明人: 黄振 (HUANG, Zhen); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。

(74) 代理人: 上海剑秋知识产权代理有限公司 (SHANGHAI JIANQIU INTELLECTUAL PROPERTY ATTORNEYS); 中国上海市闵行区光华路18号1幢210室应风晔, Shanghai 201108 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(54) Title: DEVICE FOR IMPROVING EXCITATION EFFICIENCY OF SUPERCONDUCTING CLOSED COIL

(54) 发明名称: 一种提高超导闭合线圈励磁效率的装置



(57) Abstract: A device for improving the excitation efficiency of a superconducting closed coil, belonging to the field of excitation of superconducting closed coils. The device comprises a segment of superconducting tape connected to an excitation superconducting coil, the superconducting tape comprises a conductive layer, a superconducting layer and a substrate, and the conductive layer is configured to have a pattern structure for blocking a current from passing therethrough. The conductive layer is single-layered or multiple-layered. The material of the conductive layer is copper and/or silver. The material of the superconducting layer is REBCO. The device further comprises a buffer layer, and the buffer layer is made of a dielectric material and is substantially insulated. The pattern structure comprises a geometric shape, preferably a slot. The slot is configured in the plane of the conductive layer, and the length of the slot is the same as or less than the width of the substrate. The slot is configured in the plane of the conductive layer, and the depth of the slot is the same as or less than the thickness of the conductive layer. The device excites a closed superconducting coil by means of an external power supply or a flux pump. An insulating material or a material having a weak conductive property covers the surface of the device. The device improves the excitation efficiency of superconducting closed coils in a stable and efficient manner.

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

- 关于发明人身份(细则4.17(i))
- 关于申请人有权申请并被授予专利(细则4.17(ii))
- 关于申请人有权要求在先申请的优先权(细则4.17(iii))
- 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种提高超导闭合线圈励磁效率的装置, 属于超导闭合线圈励磁领域。装置包括一段与励磁超导线圈相连的超导带材, 超导带材包括导电层、超导层和基底, 导电层被配置为具有阻隔电流通过的图样结构。导电层为单层或多层。导电层的材料为铜和/或银。超导层的材料为REBCO。装置还包括缓冲层, 缓冲层为介电材料, 基本绝缘。图样结构包括几何形状, 优选为槽。槽被配置为在导电层的平面内, 槽的长度与基底的宽度相同或不及。槽被配置为在导电层的平面内, 槽的深度与导电层的厚度相同或不及。装置通过外接电源或磁通泵对闭合超导线圈励磁。装置表面覆盖有绝缘或弱导电性能的材料。所述装置以稳定高效的方式提高超导闭合线圈励磁效率。

一种提高超导闭合线圈励磁效率的装置

技术领域

本发明涉及超导闭合线圈励磁领域，尤其涉及一种提高超导闭合线圈励磁效率的装置。

背景技术

超导闭合线圈励磁技术是超导磁体应用中的关键技术之一，应用于磁共振成像、核磁共振波谱仪、高速超导磁悬浮等领域。理想情况下，持续电流开关的正常态电阻应该是无穷大，但现实情况，持续电流开关分为开即正常态（或有阻态）或者关即无阻态，其中以通过温度控制实现有阻无阻最为普遍。正常态时电阻应该足够大，流过持续电流开关的电流不得大于线圈运行电流的 10%。因为持续电流开关变为正常态的电阻和流过其的电流将会产生除了加热器以外的耗散能量。持续电流开关上的励磁损耗一般需要小于 1 W，任何情况下至多不能大于几瓦。这个要求对于低温超导（LTS）开关来说工艺相对成熟，例如：低温超导的超导开关可以使用一种特殊复合 NbTi 线和 Cu-Ni 合金基体来增加其电阻率等。类似二代高温超导材料（REBCO）等涂层导体由于其表面涂有微米级的银覆盖层和铜稳定层，如果直接使用原始带材做持续电流开关其导电性能相对太强，尤其在低温下。较为传统的方法是直接使用超导材料失超时本身的电阻，也可通过绕制有感或无感线圈用更长的材料长度来提高开关正常态时的电阻值，但是这样提高电阻的方法效果依旧不是很显著。

在现有技术中，论文 1（“A REBCO Persistent-Current Switch (PCS): Test Results and Switch Heater Performance”，Philip C. Michael, et al. IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 27, NO. 4, JUNE 2017）中公开了一种超导电流开关，其技术方案单纯为增加物理长度来增加电流开关正常态时的电阻，实际装置中的开关长达 10 厘米。论文 2（“Characteristics of a HTS Persistent Current Switch System Considering the n-Value”，Yong Soo Yoon, et al. IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 16, NO. 2, JUNE 2006）中公开了一种高温超导的超导电流开关，其技术方案将较长的带材组装为线圈形式，以便提高正常态电阻并减小体积。

传统由超导涂层导体构成的热控超导开关的制作方法是用一段超导材料或者将超导材料绕制成有感或无感线圈，用较长的材料长度来提高开关变为正常态时的电阻值，这样制作的由超导涂层导体构成的超导开关正常态电阻值有限并且线圈类型的超导开

关形式占用空间较大且制作起来比较麻烦且浪费超导带材，甚至正常态时可能会形成热岛。用有感或无感线圈制作的超导开关由于其整体热容较大，因此开和关的速度相对比较慢。蓝宝石为基底的 REBCO 超导开关工艺较为复杂且和有些超导线圈连接处的接头较为难做。

因此，本领域的技术人员致力于开发一种提高超导闭合线圈励磁效率的装置，以便以稳定高效的方式提高超导闭合线圈的励磁效率。

发明内容

有鉴于现有技术的上述缺陷，本发明所要解决的技术问题是如何以一种简便稳定高效的方式提高超导闭合线圈励磁效率。

为实现上述目的，本发明提供了一种提高超导闭合线圈励磁效率的装置，所述装置包括一段与励磁超导线圈相连的超导带材，所述超导带材包括导电层，超导层和基底，所述导电层被配置为具有阻隔电流通过的图样结构。

进一步地，所述图样结构在所述导电层表面呈一个或多个几何形状，在所述导电层的截面上呈槽形。

进一步地，单个所述几何形状包括垂直线、斜直线、曲线、封闭多边形。

进一步地，所述图样结构的长度与所述导电层的宽度相同或不及。

进一步地，所述图样结构的深度与所述导电层的厚度相同或不及或超过。

进一步地，所述超导带材的侧面也具有所述导电层，所述侧面的导电层也被配置为具有阻隔电流通过的所述图样结构。

进一步地，位于超导面的所述几何形状的宽度小于或等于位于所述侧面导电层的所述几何形状的宽度。

进一步地，位于超导面的所述几何形状的首和/或尾衔接与位于所述侧面导电层的所述几何形状。

进一步地，制作所述图样结构的方法为刻蚀、激光烧蚀、化学腐蚀或机械加工中一种或几种。

进一步地，所述刻蚀为湿法刻蚀或干法刻蚀。

进一步地，所述装置通过外接电源或磁通泵对所述闭合超导线圈励磁。

进一步地，所述超导带材绕制成线圈形式。

进一步地，所述基底也被配置为具有阻隔电流通过的所述图样结构。

进一步地，所述导电层为单层和/或多层。

进一步地，所述导电层的材料为铜和/或银和/或不锈钢和/或其合金。

进一步地，所述超导层的材料为 REBCO 或铁基超导体。

进一步地，所述装置还包括缓冲层，所述缓冲层为介电材料。

进一步地，所述装置通过外接电源和/或磁通泵对所述闭合超导线圈励磁。

进一步地，所述几何图形内覆盖有绝缘或弱导电性能的材料。

本发明所述技术方案解决了单根类型和线圈类型的由超导涂层导体构成的超导开关在变为正常态时电阻较小的问题，解决了线圈类型的由超导涂层导体构成的超导开关占用空间较大且制作起来比较麻烦且浪费超导带材，甚至正常态时可能会形成热岛的问题；解决了线圈类型的由超导涂层导体构成的超导开关，由于使用制作超导开关的材料相对较多致使其整体热容较大，因此超导开关在有阻态和无阻态相互切换过程中速度相对比较慢的问题；解决了蓝宝石为基底的 REBCO 超导开关和超导线圈连接处的接头较为难做，开关工艺复杂的问题。

以下将结合附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果作进一步说明，以充分地了解本发明的目的、特征和效果。

附图说明

图 1 是现有技术中由超导涂层导体构成的超导开关工作原理图；

图 2 是现有技术中由变压器或直流电源和交流铁芯线圈组成的磁通泵示意图；

图 3 是现有的一种 REBCO 高温超导裸带（即没有加封装时的带材）剖视示意图；

图 4a-图 4i 是本发明的一个较佳实施例的由超导涂层导体构成的超导开关或磁通泵交变场（或行波场）作用主要区域金属层划槽处示意图；

图 5 是超导涂层导体在制备过程中侧面包裹有铜和/或银的示意图；

图 6a-图 6e 是本发明的一个较佳实施例的由超导涂层导体构成的超导开关正常态时产生电阻的主要位置或磁通泵交变场（或行波场）作用的主要区域超导面示意图。

具体实施方式

以下参考说明书附图介绍本发明的多个优选实施例，使其技术内容更加清楚和便于理解。本发明可以通过许多不同形式的实施例来得以体现，本发明的保护范围并非仅限于文中提到的实施例。

在附图中，结构相同的部件以相同数字标号表示，各处结构或功能相似的组件以相似数字标号表示。附图所示的每一组件的尺寸和厚度是任意示出的，本发明并没有限定每个组件的尺寸和厚度。为了使图示更清晰，附图中有些地方适当夸大了部件的厚度。

如图 1 所示，为利用超导持续电流开关（简称：超导开关）给超导闭合线圈励磁或补磁的工作原理图，超导开关里的全部或部分超导材料是超导闭合线圈的一部分，左图为通过对超导开关处加热使得这部分超导材料失超，即从超导态变为正常态（Normal state，也称为有阻态），这时失超后超导开关处的电阻乘以流过的电流就产生

一个电压，这个电压的值就是给超导线圈（这里绕制超导线圈的超导材料可为任意超导材料）励磁时的电压值；右图为励磁完成后结束对超导开关处的超导材料的加热，超导材料恢复到自身临界温度以下变为超导态时，断开电流源的输入和/或输出，电流就可以在闭合线圈内闭环运行。

在本发明的另一个实施例中，不同于超导开关励磁时需要让超导材料失超，闭合线圈也可以通过磁通泵技术进行励磁或补磁（例如：有些整流型磁通泵或行波场型磁通泵等）。其特点之一就是在图 1 的超导开关处放置一个交流电磁铁提供外加交变磁场配合变压器或直流电源（如图 2 所示）或利用一个行波场作用在超导线圈闭合处产生电压，进行励磁或补磁。

超导材料的制备途径通常分为将超导薄膜沉积在金属基底上（通常叫做涂层导体 Coated conductors）和粉末套管法（Powder-in-tube method），本实施例针对对象为超导涂层导体。如图 3 所示为一种超导涂层导体，即 REBCO 高温超导裸带（裸带为一种没有加封装时的带材，带有封装带的超导涂层导体同样适用于本发明，封装带一般由铜或不锈钢等导电材料构成）的剖视示意图，这种超导涂层导体包括铜稳定层（Copper Stabilizer），银覆盖层（Silver Overlayer），高温超导层（(RE)BCO-HTS），缓冲层（Buffer Stack）和基底（Substrate）等。当超导层处于正常态（有阻态）的时候，铜稳定层和银覆盖层为导电性相对较强的层；超导层、缓冲层和基底为导电性相对较弱的层。缓冲层理论上基本绝缘，但有时也会有微弱的导电性。不同厂家的 REBCO 超导裸带会有一些微小的差别（例如非超导面的银覆盖层可以没有，超导面和/或非超导面的铜稳定层可以没有等），但基本结构原理相似。除了 REBCO 超导带材，超导涂层导体还包括了类似一些铁基超导体（Iron-based superconductors）等其他类型的超导体；相同点是这些超导涂层导体基本上是由导电层（可由铜稳定层和/或银覆盖层和/或其合金层和/或不锈钢等一系列导电性较好的材料所构成）和/或超导层和/或缓冲层和/或基底等构成，不同点是构成超导层的材料不同。以下导电层以铜和/或银举例，如为其他导电性较好的材料，可以以此类推。

本实施例的技术方案是将超导涂层导体中导电性相对较强的铜稳定层和/或银覆盖层在电流的通路上进行阻隔，尽可能的迫使电流流经导电性相对较弱的超导层（正常态/有阻态时），由于缓冲层基本绝缘，大大阻碍了电流从超导层通过缓冲层流向基底。导电性能相对较弱的基底也可选择设置电流阻隔。本实施例所述技术方案是从整体上减少或去除铜稳定层和/或银覆盖层和/或基底的通流能力，从而提高超导开关正常态时候的电阻，降低闭合线圈励磁时开关处的损耗，提高超导闭合线圈的励磁效率。

在本发明的另一个通过磁通泵励磁的实施例中，对铜稳定层和/或银覆盖层的通流阻隔可以削弱磁通泵工作时外加交变场（或行波场）作用区域（此区域处于超导线圈闭合处）导电金属层中产生的屏蔽电流场和外加场的叠加效果，这同样能提高超导闭

合线圈的励磁或补磁效率。

上述实施例中所述的阻隔可为导电层完全分开（如图 4a，图 4b，图 4d 以及图 4i 中的槽 2/槽 3 所示）或者部分分开（部分分开意味着分开的槽中仍可以有铜和/或银等，部分分开可以是在导电层内，即槽的宽度不及基底的宽度（如图 4c，图 4e，图 4f，图 4g，图 4h），和/或在与导电层垂直的面内，即槽的深度不及铜稳定层和/或银覆盖层的厚度，如图 4i 中的槽 1）。槽的数量大于或等于 1，划槽图样不限于图 4b-图 4h 所示。分开方式优选为湿法（如化学）或干法（如等离子）刻蚀或激光烧蚀和/或刻痕和/或划槽和/或划线和/或划片的方法或使用机加工或划片机划片或切割或化学腐蚀的方法等等（以下仅用划槽来代替这些方法）。基底电流阻隔选择设置与导电层相似，只是由铜和/或银等变为了基底材料。

由超导涂层导体构成的超导开关或磁通泵交变场（或行波场）作用主要区域划槽示意图如图 4a-图 4i 所示（但划槽图样不仅限于图 4a-图 4i 中的形式，只要能减少铜稳定层和/或银覆盖层和/或基底通流能力的划槽图样都为可行方案，如垂直直线，水平直线，斜直线，放射直线、曲线，间断线等），使得热控超导开关处于正常态的时候电流尽量流过导电性相对较弱（也就是电阻率相对较高）的超导层和/或缓冲层和/或基底，以此来提高超导开关变为正常态时的整体电阻值；也可以用于减少交变场（或行波场）作用时屏蔽电流在导电性相对较强层形成环流的路径和/或面积。

划槽时可以选择单面或双面（如图 3 所示，铜稳定层和/或银覆盖层可能会同时存在在超导涂层导体两面），如果是单面优选为如图 4 所示的超导面（超导带材并非对称结构，以中间基底为中心参考，所谓超导面是基底上面有超导涂层的那一侧的最外面）。优选的划槽处可以为多处（如图 6a 短划线所示，同上所述，划槽图样不仅限于直线，只要能减少铜稳定层和/或银覆盖层和/或基底通流能力的划槽图样都为可行方案），划槽处宽度，数量和划槽处区域大小可根据所需的超导开关正常态电阻值（当利用超导开关励磁）和交变场（或行波场）所覆盖面积（当利用磁通泵励磁或补磁）进行合理选择。如果划槽处数量比较多，导致超导开关所用超导带材长度较长，也可将其绕制成线圈形式。

如图 5 所示，超导涂层导体在实际生产制备过程中，侧面可能会包裹有铜和/或银等和导电层相同的一种或多种材料，为防止超导面和非超导面电流通过侧面包裹的铜和/或银导通，此时可以选择将准备制作超导开关或磁通泵交变场（或行波场）作用主要区域的侧面包裹有铜和/或银的部分部分切除或者完全切除，即应用在超导面上的划槽图样完全也可以应用到位于超导带材侧面的导电层上，例如切除以后平面图如图 6a 和图 6e 所示，图 6a 和图 6e 为制作完成后的由超导涂层导体构成的超导开关或磁通泵交变场（或行波场）作用主要区域超导面示意图，其中图 6a 示出了侧面划槽图样的整体尺寸大于超导面的划槽图样整体尺寸的情形，图 6e 示出了侧面划槽图样整体尺寸小

于超导面的划槽图样整体尺寸的情形。图 4a-图 4i 所示的划槽图样优选处于图 6a 和图 6e 中的完成切除以后的区域，图 6a 和图 6e 所示的短划线用于示意图 4a-图 4i 所示的划槽图样。由于超导开关或磁通泵交变场（或行波场）作用区域处带材的临界电流一般大于超导线圈的临界电流，因此切除侧面铜和/或银包裹处的时候也可以选择切入超导层一些。

热控超导开关通过加热使得开关处处于正常态的时候，加热范围需覆盖部分或者全部划槽处；磁通泵工作时交变场（或行波场）需覆盖部分或者全部划槽处（划槽处示意图如图 6a 和图 6e 短划线所示）。

图 6b 为图 6a 的另一种变换形式，即侧面包裹有铜和/或银的部分可以分段切除。切除分段部分的个数可以如图 6a 对应一条位于超导面的槽，也可以如图 6c 对应多条位于超导面的槽。

图 6a-图 6c 所示出的三种技术方案均表现为在超导面上的槽与在侧面上的槽在两个面的接缝处对齐，这里所说的对齐是指位于侧面的槽的宽度大于或等于位于超导面的槽的宽度，即在这个位置上，位于超导面的槽首尾衔接与位于所述侧面导电层的槽，当电流流过此处时会被迫尽量多的进入电阻较高的超导涂层和/或基底，这样便达到了本实施例提高电阻的目的。

图 6d 为图 6b 的又一种变换形式，即在超导面上的槽与在侧面上的槽在两个面的接缝处不衔接，有一定程度上的错位，在这种情况下，部分超导面的导电层会和侧面的导电层连通，此技术方案所能提高的电阻不及图 6a-图 6c 所示出的三种技术方案。

由于氧化物超导材料（如 REBCO 等）对水非常敏感，遇水后很快就会分解，转变为非超导材料，为防止裸露的氧化物超导层与水发生反应，优选绝缘或者弱导电性能的材料覆盖槽中裸露氧化物超导层的表面。

以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解，本领域的普通技术无需创造性劳动就可以根据本发明的构思作出诸多修改和变化。因此，凡本技术领域中技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案，皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

权 利 要 求 书

1、一种提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述装置包括一段与励磁超导线圈相连的超导带材，所述超导带材包括导电层，超导层和基底，所述导电层被配置为具有阻隔电流通过的图样结构。

2、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述图样结构在所述导电层表面呈一个或多个几何形状，在所述导电层的截面上呈槽形。

3、如权利要求 2 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，单个所述几何形状包括垂直线、斜直线、曲线、封闭多边形。

4、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述图样结构的长度与所述导电层的宽度相同或不及。

5、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述图样结构的深度与所述导电层的厚度相同或不及或超过。

6、如权利要求 2 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述超导带材的侧面也具有所述导电层，所述侧面的导电层也被配置为具有阻隔电流通过的所述图样结构。

7、如权利要求 6 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，位于超导面的所述几何形状的宽度小于或等于位于所述侧面导电层的所述几何形状的宽度。

8、如权利要求 6 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，位于超导面的所述几何形状的首和/或尾与位于所述侧面导电层的所述几何形状衔接。

9、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，制作所述图样结构的方法为刻蚀、激光烧蚀、化学腐蚀或机械加工中一种或几种。

10、如权利要求 9 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述刻蚀为湿法刻蚀或干法刻蚀。

11、如权利要求 9 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述装置通过外接电源或磁通泵对所述闭合超导线圈励磁。

12、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述超导带材绕制成线圈形式。

13、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述导电层的材料为铜和/或银和/或不锈钢和/或其合金。

14、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述基底也被配置为具有阻隔电流通过的所述图样结构。

15、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述导电层为单层和/或多层。

16、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述超导层的材料为 REBCO 或铁基超导体。

17、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述装置还包括缓冲层，所述缓冲层为介电材料。

18、如权利要求 1 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述装置通过外接电源和/或磁通泵对所述闭合超导线圈励磁。

19、如权利要求 2 所述的提高超导闭合线圈励磁效率的装置，其特征在于，所述几何图形内覆盖有绝缘或弱导电性能的材料。

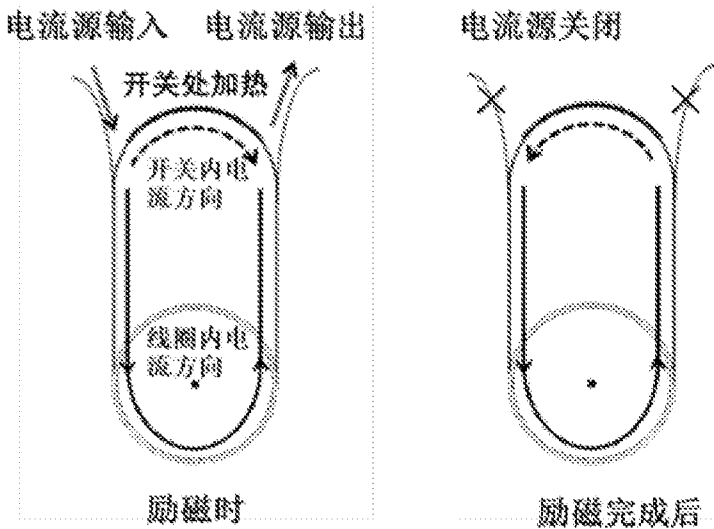


图 1

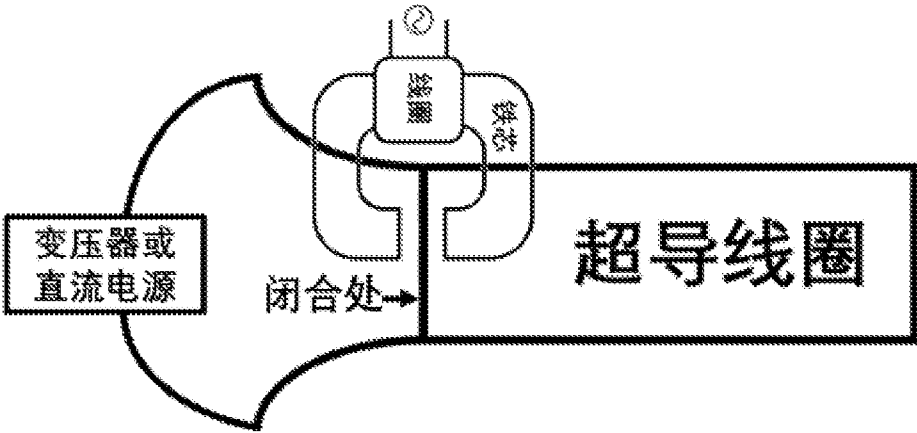


图 2

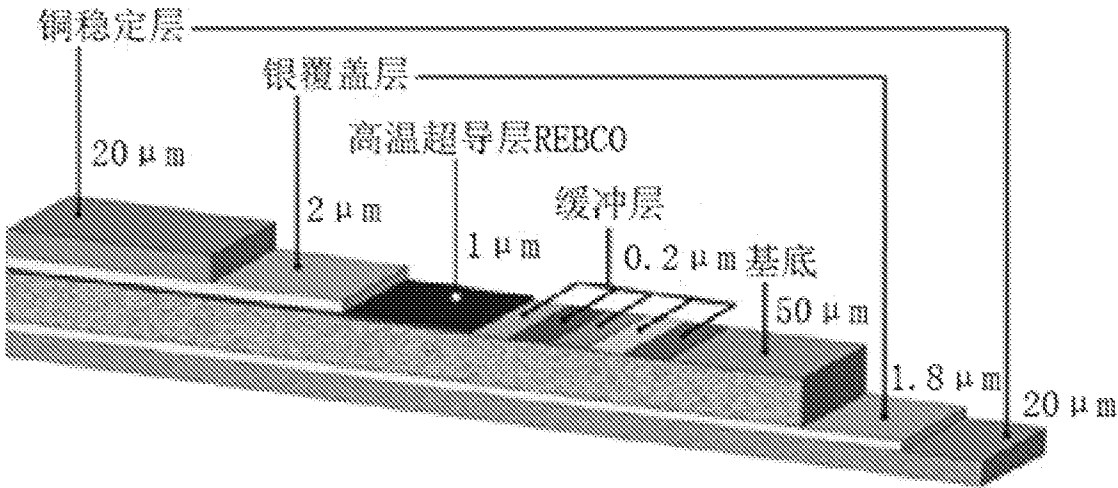


图 3

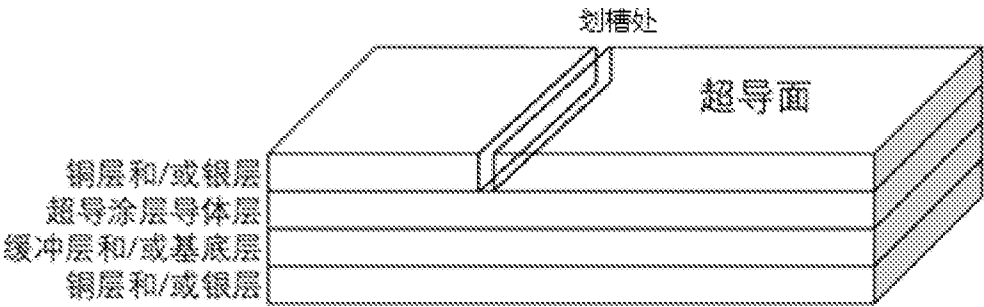


图 4a

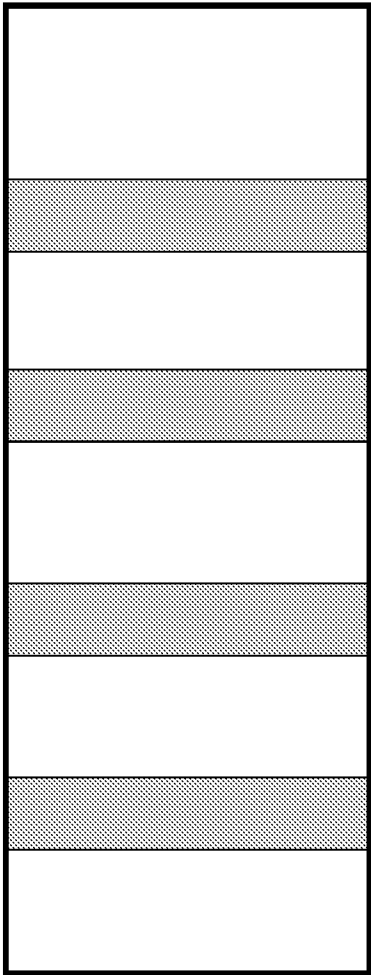


图 4b

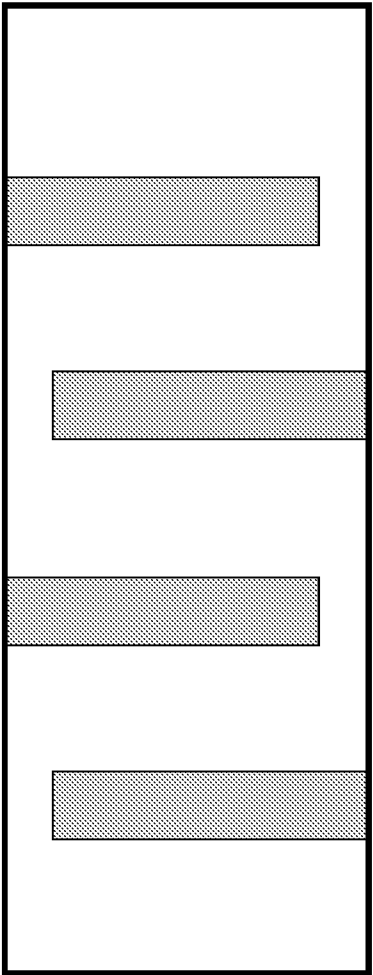


图 4c

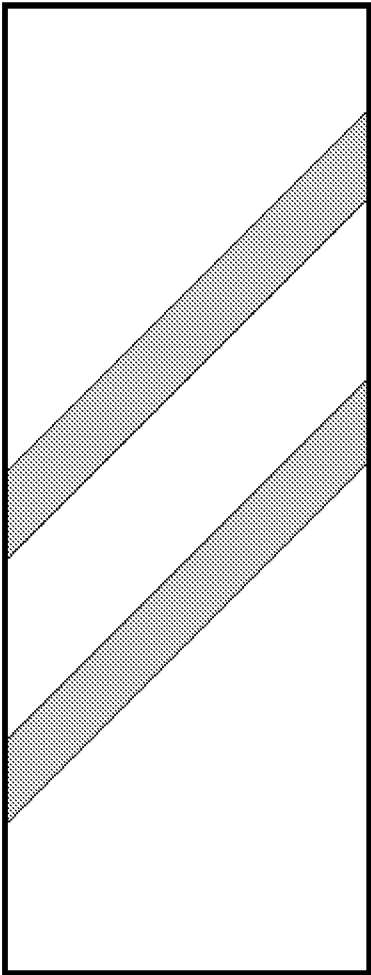


图 4d

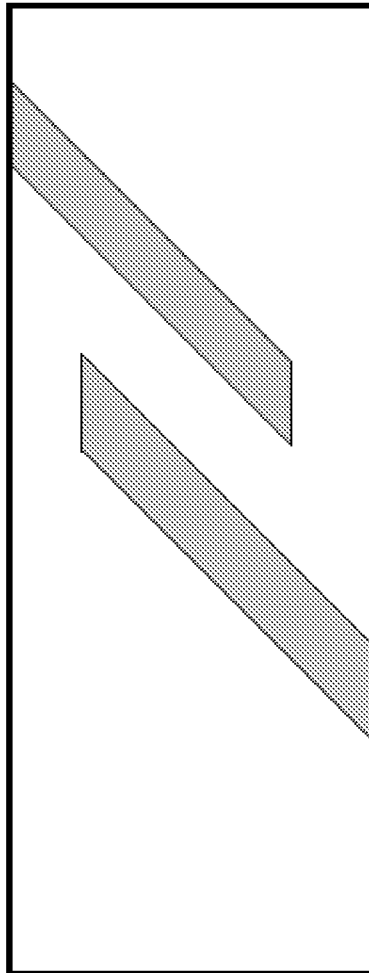


图 4e

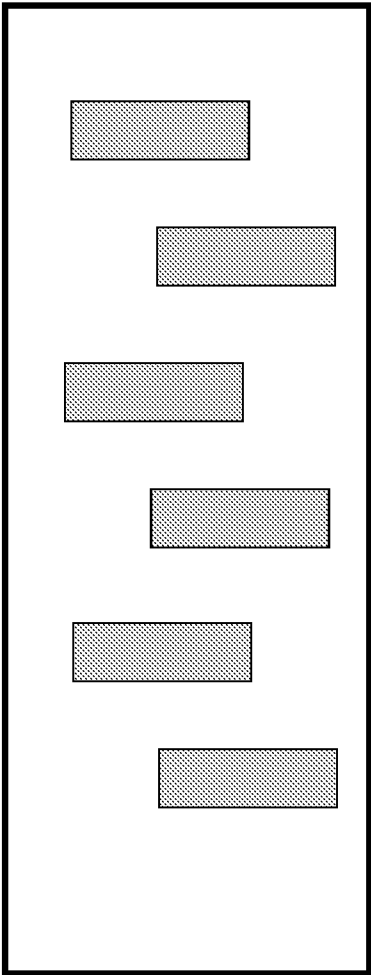


图 4f

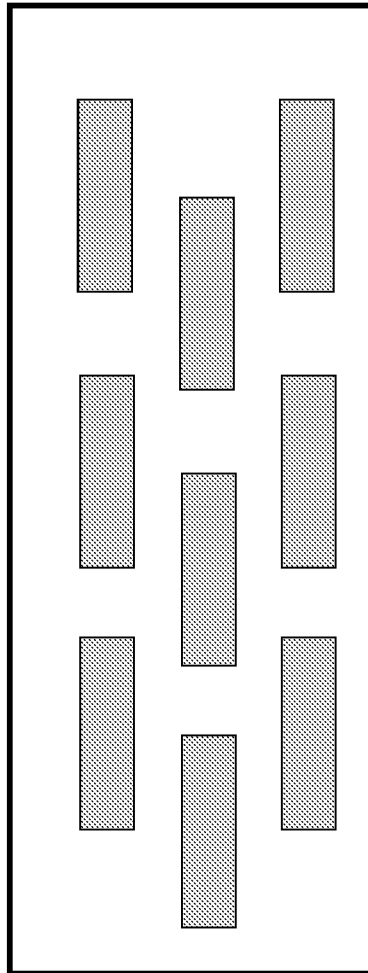


图 4g

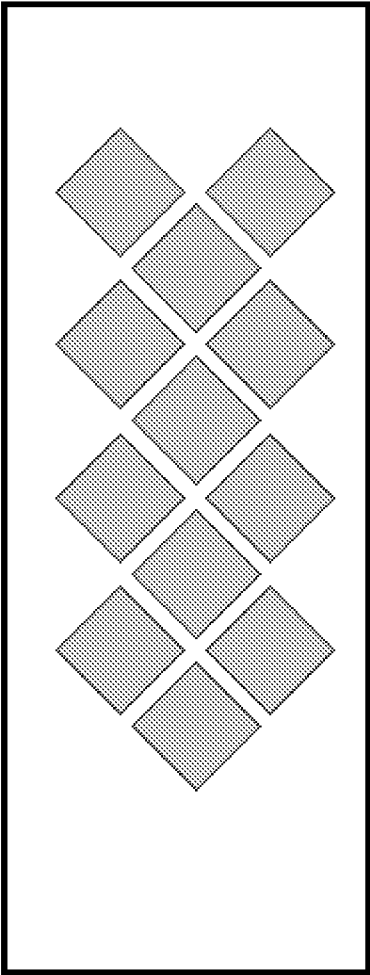


图 4h

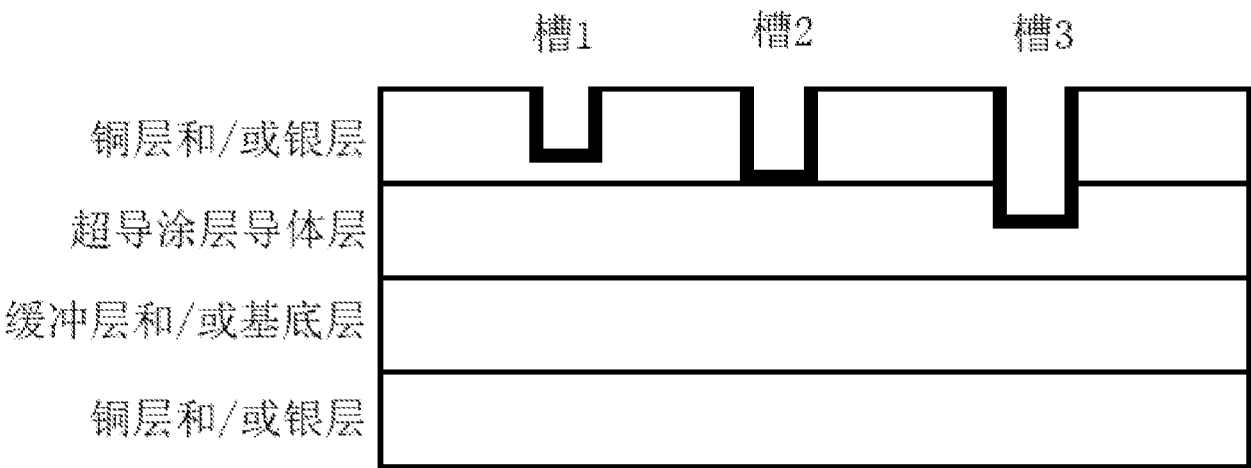


图 4i

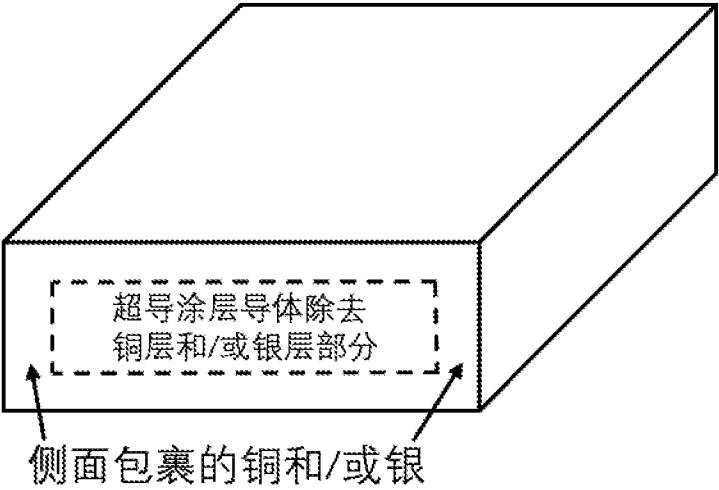


图 5

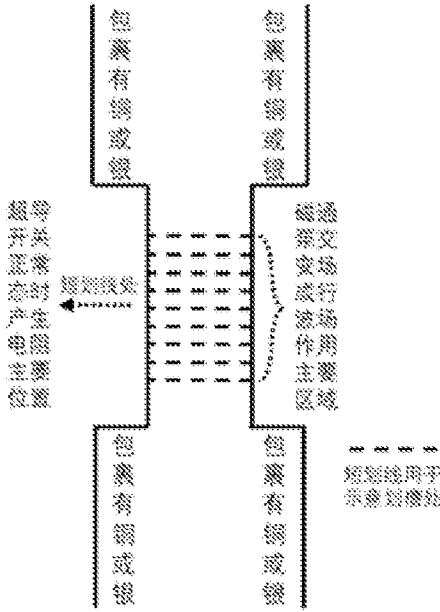


图 6a

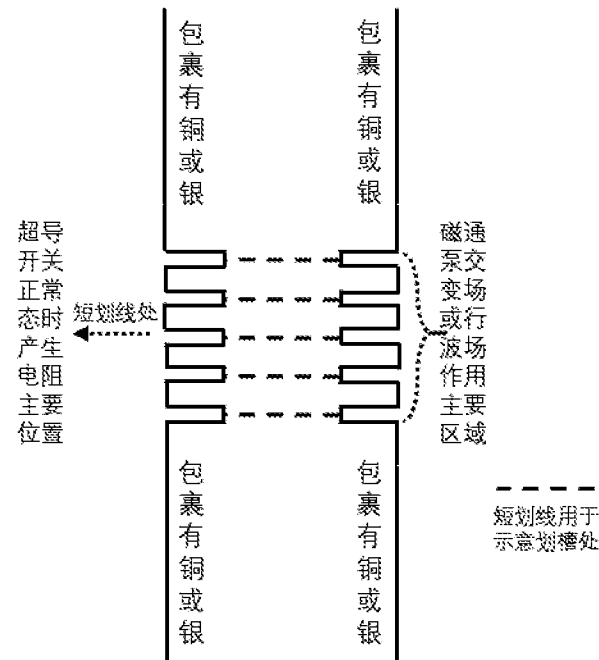


图 6b

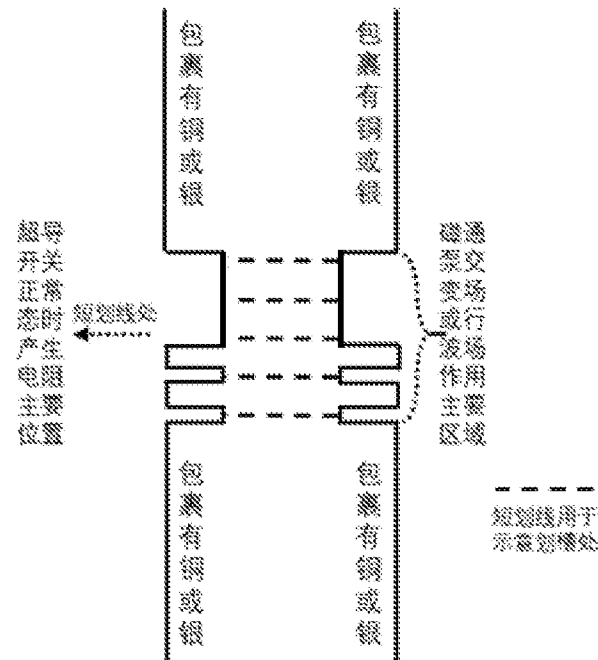


图 6c

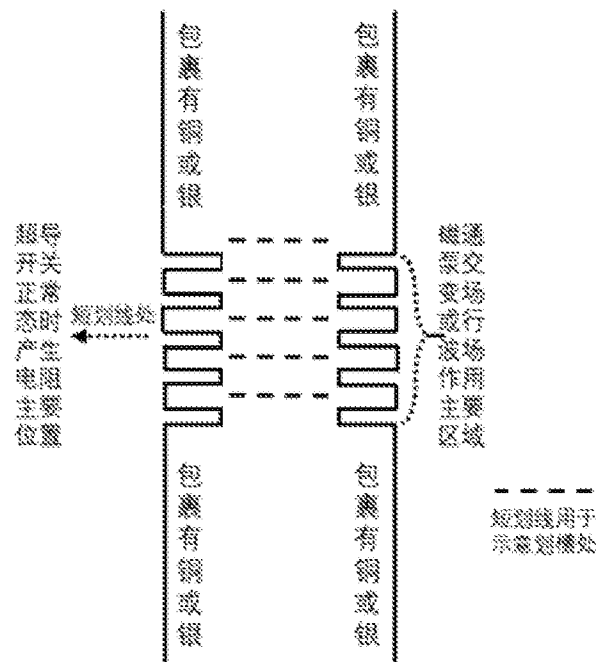


图 6d

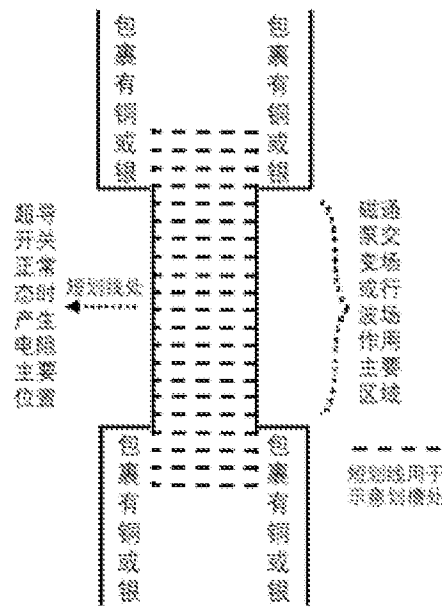


图 6e

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/080088

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01F 6/06(2006.01)i; H01L 39/14(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01F; H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, EPODOC, WPI, CNKI, IEEE: 超导, 永久, 持久, 开关, 电流, 带, 条, 槽, 凹, 电阻, 磁, 阻隔, 阻断, super, ultra, conduct, persistent, current, switch, tape, belt, band, trench, groove, recess, resistance, separate, excitation, magnet

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 108470617 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) 31 August 2018 (2018-08-31) description, paragraphs [0002]-[0051], and figures 1-6	1-19
Y	CN 102484198 A (SIEMENS AG.) 30 May 2012 (2012-05-30) description, paragraphs [0008]-[0072], and figures 3-6	1-19
A	CN 109660235 A (TONGJI UNIVERSITY) 19 April 2019 (2019-04-19) entire document	1-19
A	JP 2000269021 A (RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE) 29 September 2000 (2000-09-29) entire document	1-19
A	JP 2008118121 A (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 22 May 2008 (2008-05-22) entire document	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 May 2021

Date of mailing of the international search report

10 June 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/080088

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
CN	108470617	A	31 August 2018	CN	209015800	U	21 June 2019
CN	102484198	A	30 May 2012	WO	2011023670	A1	03 March 2011
				KR	20120056257	A	01 June 2012
				RU	2546127	C2	10 April 2015
				EP	2471115	B1	01 April 2015
				BR	112012004242	B1	05 November 2019
				KR	101782177	B1	26 September 2017
				CA	2772158	A1	03 March 2011
				CN	102484198	B	03 August 2016
				DE	102009038920	A1	10 March 2011
				RU	2012111340	A	10 October 2013
				JP	5597711	B2	01 October 2014
				JP	2013503422	A	31 January 2013
				EP	2471115	A1	04 July 2012
				CA	2772158	C	01 November 2016
				BR	112012004242	A2	05 April 2016
				US	9024192	B2	05 May 2015
				ES	2536998	T3	01 June 2015
				US	2012181062	A1	19 July 2012
CN	109660235	A	19 April 2019	None			
JP	2000269021	A	29 September 2000	None			
JP	2008118121	A	22 May 2008	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/080088

A. 主题的分类 H01F 6/06(2006.01)i; H01L 39/14(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																				
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) H01F; H01L 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNPAT, EPDOC, WPI, CNKI, IEEE: 超导, 永久, 持久, 开关, 电流, 带, 条, 槽, 凹, 电阻, 磁, 阻隔, 阻断, super, ultra, conduct, persistent, current, switch, tape, belt, band, trench, groove, recess, resistance, separate, excitation, magnet																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 108470617 A (上海交通大学) 2018年 8月 31日 (2018 - 08 - 31) 说明书第[0002]-[0051]段, 附图1-6</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 102484198 A (西门子公司) 2012年 5月 30日 (2012 - 05 - 30) 说明书第[0008]-[0072]段, 附图3-6</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109660235 A (同济大学) 2019年 4月 19日 (2019 - 04 - 19) 全文</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2000269021 A (RAILWAY TECHNICAL RES. INST.) 2000年 9月 29日 (2000 - 09 - 29) 全文</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2008118121 A (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 2008年 5月 22日 (2008 - 05 - 22) 全文</td> <td>1-19</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 108470617 A (上海交通大学) 2018年 8月 31日 (2018 - 08 - 31) 说明书第[0002]-[0051]段, 附图1-6	1-19	Y	CN 102484198 A (西门子公司) 2012年 5月 30日 (2012 - 05 - 30) 说明书第[0008]-[0072]段, 附图3-6	1-19	A	CN 109660235 A (同济大学) 2019年 4月 19日 (2019 - 04 - 19) 全文	1-19	A	JP 2000269021 A (RAILWAY TECHNICAL RES. INST.) 2000年 9月 29日 (2000 - 09 - 29) 全文	1-19	A	JP 2008118121 A (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 2008年 5月 22日 (2008 - 05 - 22) 全文	1-19
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
Y	CN 108470617 A (上海交通大学) 2018年 8月 31日 (2018 - 08 - 31) 说明书第[0002]-[0051]段, 附图1-6	1-19																		
Y	CN 102484198 A (西门子公司) 2012年 5月 30日 (2012 - 05 - 30) 说明书第[0008]-[0072]段, 附图3-6	1-19																		
A	CN 109660235 A (同济大学) 2019年 4月 19日 (2019 - 04 - 19) 全文	1-19																		
A	JP 2000269021 A (RAILWAY TECHNICAL RES. INST.) 2000年 9月 29日 (2000 - 09 - 29) 全文	1-19																		
A	JP 2008118121 A (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 2008年 5月 22日 (2008 - 05 - 22) 全文	1-19																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																			
国际检索实际完成的日期 2021年 5月 27日		国际检索报告邮寄日期 2021年 6月 10日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 杨燕 电话号码 86-(10)-53961450																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/080088

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	108470617	A	2018年 8月 31日	CN	209015800	U	2019年 6月 21日
CN	102484198	A	2012年 5月 30日	WO	2011023670	A1	2011年 3月 3日
				KR	20120056257	A	2012年 6月 1日
				RU	2546127	C2	2015年 4月 10日
				EP	2471115	B1	2015年 4月 1日
				BR	112012004242	B1	2019年 11月 5日
				KR	101782177	B1	2017年 9月 26日
				CA	2772158	A1	2011年 3月 3日
				CN	102484198	B	2016年 8月 3日
				DE	102009038920	A1	2011年 3月 10日
				RU	2012111340	A	2013年 10月 10日
				JP	5597711	B2	2014年 10月 1日
				JP	2013503422	A	2013年 1月 31日
				EP	2471115	A1	2012年 7月 4日
				CA	2772158	C	2016年 11月 1日
				BR	112012004242	A2	2016年 4月 5日
				US	9024192	B2	2015年 5月 5日
				ES	2536998	T3	2015年 6月 1日
				US	2012181062	A1	2012年 7月 19日
CN	109660235	A	2019年 4月 19日	无			
JP	2000269021	A	2000年 9月 29日	无			
JP	2008118121	A	2008年 5月 22日	无			