

(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



(10) 国际公布号

WO 2018/177006 A1

(43) 国际公布日
2018 年 10 月 4 日 (04.10.2018)

(51) 国际专利分类号:
C21D 8/12 (2006.01) H01F 27/245 (2006.01)
B23K 26/364 (2014.01) H01F 41/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/074017

(22) 国际申请日: 2018 年 1 月 24 日 (24.01.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710188472.8 2017年3月27日 (27.03.2017) CN

(71) 申请人: 宝山钢铁股份有限公司(BAOSHAN IRON & STEEL CO., LTD.) [CN/CN]; 中国上海市宝山区富锦路885号, Shanghai 201900 (CN)。

(72) 发明人: 吴美洪(WU, Meihong); 中国上海市宝山区富锦路885号, Shanghai 201900 (CN)。 赵自鹏(ZHAO, Zipeng); 中国上海市宝山区富锦路885号, Shanghai 201900 (CN)。 李国保(LI, Guobao); 中国上海市宝山区富锦路885号, Shanghai 201900 (CN)。 沈侃毅(SHEN, Kanyi); 中国上海市宝山区富锦路885号, Shanghai 201900 (CN)。 胡卓越(HU, Zhuochao); 中国上海市宝山区富锦路885号, Shanghai 201900 (CN)。 凌晨(LING, Chen); 中国上海市宝山区富锦路885号, Shanghai 201900 (CN)。 孙焕德(SUN, Huande); 中国上海市宝山区富锦路885号, Shanghai 201900 (CN)。 章华兵(ZHANG, Huabing); 中国上海市宝山区富锦路885号, Shanghai 201900 (CN)。

(74) 代理人: 上海华诚知识产权代理有限公司 (WATSON & BAND INTELLECTUAL

(54) Title: ORIENTED SILICON STEEL WITH LOW CORE LOSS AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种低铁损取向硅钢及其制造方法

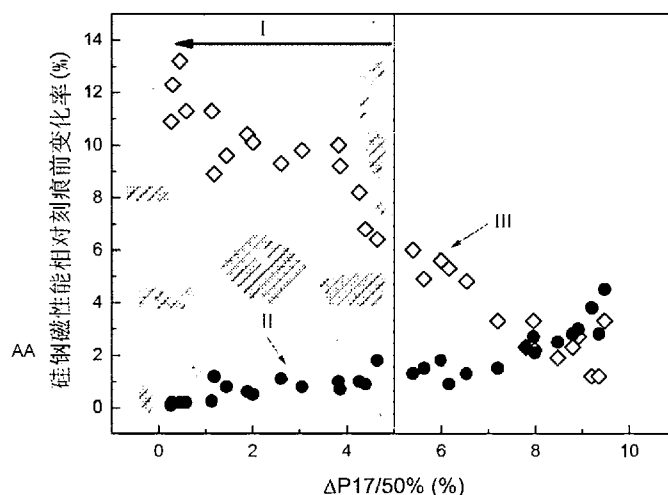


图 3

AA RATE OF RELATIVE CHANGE IN MAGNETIC PROPERTY OF SILICON STEEL BEFORE SCORING

(57) Abstract: Oriented silicon steel with low core loss, wherein the surface thereof is provided with a plurality of grooves, each of the grooves is 10-60 μm in width and 5-40 μm in depth, and the spacing between adjacent grooves is 1-10 mm. The manufacturing method therefor comprises: scoring the surface of the oriented silicon steel with low core loss by using a laser in order to form the grooves. The oriented silicon steel with low core loss can maintain the magnetic domain refining effect in a stress-relief annealing process, and avoid the introduction of more residual stress.

PROPERTY AGENT LTD.); 中国上海市长乐路989号世纪商贸广场27楼, Shanghai 200031 (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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种低铁损取向硅钢, 表面具有若干沟槽, 各所述沟槽的宽度为10~60 μ m, 深度为5~40 μ m之间, 相邻沟槽之间的间距为1~10mm。其制造方法为采用激光在低铁损取向硅钢的表面进行刻痕, 以形成所述沟槽。该低铁损取向硅钢能够在消除应力退火过程中磁畴细化效果不消失, 并且也不会引入较多的残余应力。

一种低铁损取向硅钢及其制造方法

技术领域

本发明涉及一种钢种及其制造方法，尤其涉及一种硅钢及其制造方法。

背景技术

近年来，全球能源环境问题日益突出，节能降耗需求在世界范围内不断增长，各国普遍提高了相应能耗设备标准，降低各类设备对能源的无功消耗。目前，变压器作为电力传输系统中的基本组成部件，其损耗约占在电力传送系统中损耗的 40% 左右；而由取向硅钢材料制造而成的变压器铁芯的损耗约占总损耗的 20% 左右。铁芯损耗通常简称为铁损。可见，降低取向硅钢铁损具有巨大的经济和社会效益。

取向硅钢是一种铁磁材料，以其内部晶粒 $\{110\}<001>$ 位向与钢板轧向排列基本一致而得名。由于在该方向上晶体的导磁性最好，因此取向硅钢板具有优良的磁性能，表现为高导磁性能和低铁损性能，广泛应用于电力传输中输配电变压器的制造。取向硅钢的导磁性一般用 B_8 表征，即在 800A/m 的激励磁场下硅钢板的磁通密度，单位 T；铁损一般用 $P_{17/50}$ 表征，即在 50Hz 的交流励磁场下硅钢板中磁通密度达到 1.7T 时磁化所消耗的无效电能，单位 W/kg。

取向硅钢板的铁损由磁滞损耗、涡流损耗和反常涡流损耗三部分组成：磁滞损耗是在铁磁材料在磁化和反磁化过程中，由于材料中夹杂物、晶体缺陷、内应力和晶体位向等因素阻碍畴壁运动，磁通变化受阻，造成磁感应强度落后磁场强度变化的磁滞现象而引起的能量损耗；涡流损耗是取向硅钢板在交变磁化过程中，磁通改变感生出局部电动势而引起涡电流所造成的能量损耗，与硅钢板的电导率和厚度有关；反常涡流损耗是硅钢板磁化时由于磁畴结构不同而引起的能量损耗，主要受磁畴宽度影响。

众所周知，取向硅钢晶粒内部存在着由于自发磁化和退磁场共同作用形成的磁畴结构，磁畴内部原子磁矩排列方向相同，从而使宏观晶体显示出铁磁性质。无外界磁场条件下主要为反向平行排列的 180° 磁畴，单一磁畴宽度通常可

以达到几十微米甚至数毫米。相邻磁畴间存在着几十到数百个原子层的过渡层，称为磁畴壁。磁化过程中，外场驱动下磁矩转动，磁畴壁迁移使相邻磁畴相互吞并，从而实现导磁功能。磁畴宽度直接影响着硅钢板的磁滞损耗和反常涡流损耗，进而影响其整体铁损性能。细化磁畴，即减小磁畴宽度，可有效降低反常涡流损耗，是降低硅钢板铁损的重要方法，也是硅钢工艺技术进步的主要方向之一。

总而言之，改善取向硅钢板铁损的主要方法，如下：

(1) 冶金学方法：通过成分体系及工艺参数的优化，获得完善的二次再结晶组织，并提高取向度。

(2) 张力控制：改善基板表面涂层的张力，细化磁畴，降低铁损和磁致伸缩。

(3) 表面刻痕：通过激光、电子束、等离子等手段在硅钢表面沿轧向施加一定间距的连续或间断的刻痕线，施加应力或应变以细化磁畴，降低铁损。

近年来，由于利用冶金学方法将取向度提高到很高水平，Hi-B 钢中晶粒的取向偏离角平均水平低于 5° ，提高空间有限。因此，提升硅钢板电磁性能的重点集中在张力涂层和刻痕工艺的改进上。

通过表面刻痕改善取向硅钢铁损的方法其原理是在硅钢表面实施刻痕可以使磁畴得以细化，从而降低铁损。根据刻痕的效果可将刻痕技术分为两类：一类是不耐消除应力退火刻痕，通过激光、等离子束、电子束等方式在硅钢板表面以一定间距形成线状热应力区，使该区域周围出现亚磁畴，从而减小主磁畴宽度，达到降低铁损的目的。此类方法的磁畴细化效果经过消除应力退火后随热应力消除而消失，铁损回复到原来水平，因此只能用于不经消除应力退火的叠片铁芯变压器制造；另一类是耐消除应力退火刻痕，目前报道的技术手段有机械、激光束、电化学腐蚀等，其基本技术方案是在取向硅钢板表面形成线状应变区，使晶体内部能量重新分配，减小主磁畴宽度，从而实现降低铁损的效果，此类方法经过消除应力退火后铁损不发生劣化，因此所生产的硅钢板能够应用于需消除应力退火的卷绕铁芯变压器的制造领域。

公开号为 2003/0164307A1，公开日为 2003 年 9 月 4 日，名称为“Method for Indirect-electrification-type Continuous Electrolytic Etching of Metal Strip and Apparatus for Indirect-electrification-type Continuous Electrolytic Etching”的美国

专利文献公开了一种金属带的间接通电式连续电解腐蚀方法，该专利文献所公开的技术方案利用电解腐蚀的方法形成耐热刻痕硅钢板，其首先通过激光等方法对带底层的取向硅钢板进行线状加工，使该区域裸露出金属基体后再在电解液中浸泡，使硅钢板和铂电极形成电极对，通过交替控制电极电位正负的变化，电解腐蚀基板使该区域形成接近矩形的线状沟槽。

公开号为 US2004/0040629A1，公开日为 2004 年 3 月 4 日，名称为“Grain-oriented Electrical Steel Sheet Excellent in Magnetic Properties and Method for Producing the Same”的美国专利文献公开了一种磁特性优良的单向性电磁钢板及其制造方法，该专利文献所公开的技术方案利用激光束在热拉伸平整退火前或后的硅钢板表面进行线状局部加热，形成重熔区，将涂层物质和部分金属基体熔化后再冷却、固化形成重熔区，通过控制重熔区的宽度和深度使硅钢板铁损降低。并且该专利文献所公开的技术方案采用激光加工形成热熔融区的方案，由于金属熔点高、导热率高，激光加工至材料熔融需要注入极高能量，热扩散使得钢板大范围内形成热应力，必须经过退火才能使用。

公开号为 US2013/0139932A1，公开日为 2013 年 6 月 6 日，名称为“GRAIN-ORIENTED ELECTRICAL STEEL SHEET AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME”的美国专利文献公开了一种方向性电磁钢板的制造方法，该专利文献所公开的技术方案使用连续式激光，通过控制激光光束能量密度在硅钢表面形成具有一定深度的沟槽，沟槽处经过二次再结晶退火时在其下方沿钢板厚度方向形成等轴晶区，由于等轴晶与 Gauss 位向不同，在高温退火过程中该等轴晶区对二次再结晶在该处的进一步长大形成阻碍作用，从而使二次再结晶晶粒尺寸减小，磁畴得以细化。

发明内容

本发明的目的之一在于提供一种低铁损取向硅钢，该低铁损取向硅钢能够在消除应力退火过程中磁畴细化效果不消失，并且也不会引入较多的残余应力，该铁损取向硅钢特别适合直接用于不经消除应力退火的叠片铁芯变压器的制造，也可以适用于卷绕铁芯变压器制造。

基于上述发明目的，本发明提供了一种低铁损取向硅钢，其表面具有若干沟槽，各所述沟槽的宽度为 10~60 μm ，深度为 5~40 μm 之间，相邻沟槽之间

的间距为 1~10mm。

在本发明所述的技术方案中，取向硅钢表面形成一系列沟槽，使磁畴得以细化，并且由于沟槽的存在不会因退火而发生改变，因此铁损降低效果不会在消除应力退火过程消失，因此特别适用于卷绕铁芯。

由于取向硅钢是具有一定硅含量，且其易磁化方向与制造工序轧制方向大致相同的电工钢板。在取向硅钢的钢板内部存在着与晶粒易磁化方向相同的 180° 磁畴，在交流磁化过程中钢板内磁极通过磁畴壁移动而实现快速转动，因此使得取向硅钢具有良好的导磁性能，表现为在较小的磁化力下，即可达到很高磁感，且铁损很低，因而使得取向硅钢所制成的变压器导磁效率高，铁损低。取向硅钢的基本制造流程如下：具有 Si 含量的钢材经过炼铁、炼钢、连铸，而后经过热轧工序，再经过一次或含中间退火的两次冷轧，将钢材轧至所需厚度，之后再经过脱碳退火，形成具有一定氧化膜的初次再结晶钢板；而后在钢板表面涂覆以 MgO 为主的隔离剂后，进行 20Hr 以上的高温退火，形成具有二次再结晶组织的硅钢板，然后再经过热拉伸平整退火，并施以涂层涂覆及烘烤工艺，制成成品取向硅钢板。所获得的取向硅钢板具有高磁感、低铁损特点，能够应用于变压器铁芯的制造。

由于细化磁畴可使硅钢板反常涡流损耗降低，通过激光或电子束等方式在硅钢板表面施加与轧向大致相垂直的微型线状热应力区，应力在其附件区域产生垂直于轧向的 90° 磁畴，实现 180° 磁畴宽度减小，从而降低硅钢板铁损，因而，该类硅钢板已广泛应用于各类叠片铁芯变压器的制造。

随着节能环保的需求越来越高，卷绕铁芯变压器正逐渐受到市场青睐。由于卷绕铁芯的硅钢板是沿钢板易导磁方向卷制而成，因此相比叠片铁芯具有低损耗、低噪音、无剪切废料等优点，特别适用于中小型节能型变压器的制造。但由于该类硅钢板在卷制过程中产生内应力，劣化铁损性能，因此铁芯必须要经过消除应力退火。但是，采用以往激光或电子束产生线状应力区细化磁畴的取向硅钢板，在经过消除应力退火后其细化磁畴效果随应力消失而消失，因此不适用于卷绕铁芯变压器的制造。

为了有效降低取向硅钢铁损，本案发明人通过大量实验研究发现沟槽的宽度、深度对铁损具有影响：当沟槽深度小于 $5\mu\text{m}$ 时，硅钢板铁损无明显改善，当沟槽深度大于 $40\mu\text{m}$ 时，由于沟槽区域产生漏磁过多，磁感显著下降，影

响取向硅钢的导磁能力。而当相邻沟槽之间的间距小于 1mm 时，由于沟槽过于密集，取向硅钢的磁感下降显著，当相邻沟槽之间间距大于 10mm 时，则细化磁畴效果影响区域过小，对取向硅钢的铁损无明显改善。

此外，为了能够使本发明所述的低铁损取向硅钢板能够直接应用于叠片铁芯变压器或卷绕铁芯变压器的制造，需要严格控制沟槽宽度。当沟槽宽度大于 $60\ \mu\text{m}$ 时，所述的低铁损取向硅钢的耐蚀性变差，在变压器使用环境中存在锈蚀导通风险；当沟槽宽度小于 $10\ \mu\text{m}$ 时，则沟槽对磁畴细化效果有限，不能降低取向硅钢铁损，并且由于宽度过小而加大了生产工艺的难度。

因此，在本发明所述的低铁损取向硅钢中对沟槽的尺寸进行限定为：各所述沟槽的宽度为 $10\sim 60\ \mu\text{m}$ ，深度为 $5\sim 40\ \mu\text{m}$ 之间，相邻沟槽之间的间距为 $1\sim 10\text{mm}$ 。

需要说明的是，在本发明所述的技术方案中，沟槽是由耐热刻痕技术形成的。耐热刻痕技术是指采用一定手段例如化学侵蚀、机械压力在钢板表面形成沟槽，沟槽处产生自由磁极使静磁能增高和畴壁能降低，从而使磁畴宽度减小，使磁畴得以细化，铁损降低。由于沟槽不会因退火而发生改变，因此铁损降低效果不会在消除应力退火过程消失，因此，耐热刻痕技术特别适用于卷绕铁芯。

进一步地，在本发明所述的低铁损取向硅钢中，所述沟槽与钢板的宽度方向之间具有不大于 30° 的夹角。这是因为：由于取向硅钢内部主磁畴为 180° 方向，当所述沟槽与钢板的宽度方向之间的夹角大于 30° 时，不能形成有效的磁畴细化效果降低硅钢板铁损，同时，由于夹角过大会使得所述沟槽长度延长，生产效率变低。

进一步地，在本发明所述的低铁损取向硅钢中，所述沟槽由激光刻痕形成。由于采用电化学方式所形成的沟槽，工序复杂，且存在一定程度污染，而采用机械压力或激光热熔融形成的沟槽，由于刻痕时齿辊压力或显著的热扩散效应在金属基体内产生大量残余应力，必须要施行消除应力退火才能得到铁损降低的取向硅钢，不适合应用于叠片铁芯变压器制造。

本案发明人通过研究发现激光刻痕所形成的沟槽，由于采用高能量密度的脉冲激光束实施耐热刻痕工艺，有效控制了热应力现象，所获得的取向硅钢的铁损较低，并且该取向硅钢在消除应力退火前、后磁性能差异小，可无需消除

应力退火，因而该取向硅钢可直接应用于叠片铁芯变压器的制造，同时该取向硅钢也适合应用于需消除应力退火的卷绕铁芯变压器的制造。

进一步地，在本发明所述的低铁损取向硅钢中，其一个表面具有所述沟槽或两个表面均具有沟槽。

进一步地，在本发明所述的低铁损取向硅钢中，其在进行消除应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \% \leq 5\%$ ，其中：

$$\Delta P_{17/50} \% = \frac{P_{17/50}(\text{退火后}) - P_{17/50}(\text{退火前})}{P_{17/50}(\text{退火后})},$$

$P_{17/50}$ 为取向硅钢板的铁损值，单位为 W/kg。

发明人通过反复实验和详细研究发现，由于耐热刻痕技术对材料的烧灼形成沟槽，当 $\Delta P_{17/50} \% \leq 5\%$ 时，烧灼产生的热扩散及应力范围小，能量有效利用率高，得到的低铁损取向硅钢铁损改善率可达到所需要的沟槽宽度、深度及间距要求，因而铁损改善率可以达到 6% 以上，适用于卷绕铁芯变压器制造，同时也适用于不经消除应力退火直接应用于叠片铁芯变压器的制造。当 $\Delta P_{17/50} \%$ 超过 5% 时，此时耐热刻痕技术对材料的烧灼能量因扩散而损失严重，材料内部应力过大，因而形成的沟槽较小，使得取向硅钢的铁损即使在消除应力退火前降低，退火后也会劣化趋于原有水平，因而，不适用于卷绕铁芯变压器的制造。

相应地，本发明的另一目的提供一种上述的低铁损取向硅钢的制造方法，采用该制造方法所获得地低铁损取向硅钢在消除应力退火前后磁性能相差很小，非常适用于卷绕铁芯和叠片铁芯变压器的制造。

基于上述目的，本发明还提供了一种上述的低铁损取向硅钢的制造方法，包括步骤：采用激光在低铁损取向硅钢的表面进行刻痕，以形成所述沟槽。

在本发明所述的制造方法中，由于采用激光在低铁损取向硅钢的表面进行刻痕，以形成所述沟槽，沟槽附近应力分布范围非常有限且影响区域大大减小，因此消除应力退火后取向硅钢不会产生显著的铁损增大现象。这是因为：激光在硅钢表面烧蚀形成沟槽时，由于取向硅钢的熔点很高，且其热传导系数很大，因此。钢的材料微区域接受激光辐照达到熔融温度时不可避免地产生热扩散现象，并由此导致晶格畸变产生大范围热应力

进一步地，在本发明所述的制造方法中，所述激光产生自 CO₂ 激光器、固体激光器或光纤激光器中的一种或几种。

进一步地,在本发明所述的制造方法中,所述激光的平均单脉冲瞬时峰值功率密度不低于 $2.0 \times 10^6 \text{ W/mm}^2$ 。

由于热扩散减弱了激光烧灼形成沟槽的能力,因而,发明人通过大量试验研究激光烧蚀材料时产生的热量扩散范围与平均单脉冲瞬时能量的关系,发现二者存在显著正相关性。也就是说,当平均单脉冲瞬时能量高时,在很短时间内激光向硅钢板表面微区域内注入的能量较大,然而,由于热传导范围有限,激光能量主要用于材料烧蚀形成沟槽,因此,可以通过控制平均单脉冲瞬时能量从而有效控制热量扩散范围,进而有效控制热影响区及应力区,减少因此而产生的亚磁畴数量,从而防止本发明所述的低铁损取向硅钢的铁损在退火后因应力消除而发生显著变化。

由于脉冲激光与材料作用时间依赖于脉冲宽度,但脉冲宽度缩短时,烧蚀时间也随之变短,对材料烧蚀量有限,因此,需要提高平均单脉冲瞬时能量。平均单脉冲瞬时能量可以用平均单脉冲峰值瞬时功率密度来表征,平均单脉冲瞬时峰值功率密度 p_0 表达式如下:

$$p_0 = \frac{P}{f_r \cdot S \cdot t_p}$$

其中, P 为激光输出功率,单位为 W ; f_r 为激光重复频率,单位为 Hz ; S 为光斑面积,单位为 mm^2 ; t_p 为脉冲宽度,单位为 s 。

由上述公式可以看出,平均单脉冲瞬时峰值功率密度 p_0 越大,激光在短时间内向钢板注入的能量越高,刻痕深度越高,同时热影响区越小,因而,取向的铁损效果越明显,同时铁损在消除应力退火前、后变化率越小。发明人通过实验研究,确定了有效降低硅钢板铁损及其在消除应力退火前、后变化率时的阈值,发现当平均单脉冲瞬时峰值功率密度 p_0 超过 $2.0 \times 10^6 \text{ W/mm}^2$ 时,本发明所述的低铁损取向硅钢铁损改善率显著,消除应力退火前、后铁损相差比例不超过 5%,而当低于该数值则不能形成有效的磁畴细化效果。

进一步地,在本发明所述的制造方法中,所述激光的平均单脉冲能流密度 J_F 和脉冲宽度 t_p 满足如下关系式:

$$0.005 \leq t_p \sqrt{J_F} \leq 1$$

其中脉冲宽度 t_p 的单位为 s ; J_F 的单位为 J/mm^2 。

由于取向硅钢受激光刻痕形成沟槽时,热应力场受到脉冲宽度和激光能量

的共同作用影响。为了进一步降低所述的低铁损取向硅钢的铁损度，发明人通过详细研究和反复实验，当平均单脉冲能流密度 J_F 和脉冲宽度 t_p 满足上述关系式时，低铁损取向硅钢在进行消除应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \%$ 不超过 5%

需要说明的是，激光的平均单脉冲能流密度 J_F 表示为：

$$J_F = \frac{P}{f_r S}$$

其中， P 为激光输出功率，单位为 W ； f_r 为激光重复频率，单位为 Hz ； S 为光斑面积，单位为 mm^2 。

激光能流密度表征了单位面积内单脉冲内激光的能量大小，其直接影响激光加工时产生热量的大小。激光能流密度 J_F 越大，激光产生的热量越多，造成热扩散形成应力区的风险越大，因此，需要缩短与材料的作用时间，即脉冲宽度，减小热扩散。而激光脉冲宽度越大，刻痕时与材料作用时间越长，越容易发生热扩散，因此需要有效控制激光导致的表面温度升高，即减小能流密度，但过小的能流密度会导致刻痕效率低下，需要重复多次刻痕才能达到改善铁损的效果。

此外，当 $t_p \sqrt{J_F} < 0.005$ 时，则激光加工效率过低，需要多次扫描才能达到铁损改善要求的沟槽尺寸，不具备工业实用价值；而当 $t_p \sqrt{J_F} > 1$ 时，激光加工热应力明显，在进行消除应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \%$ 大于 5%，导致消除应力退火后取向硅钢板铁损改善率不足。因此，在本发明所述的制造方法中，控制所述激光的平均单脉冲能流密度 J_F 和脉冲宽度 t_p 满足如下关系式：

$$0.005 \leq t_p \sqrt{J_F} \leq 1$$

进一步地，在本发明所述的制造方法中，所述激光的波长不超过 1066nm。本案发明人研究了激光波长对取向硅钢板消除应力退火前、后铁损变化率的影响，发现激光波长越长，产生的热效应越大，硅钢板在消除应力退火前、后铁损变化率越大。产生这种现象的原因是由于低铁损取向硅钢对不同波长激光的吸收率不同。当激光波长大于 1066nm 时，激光加工时产生大量的热吸收现象，材料发生熔化在沟槽附近形成凸起，并在内部形成大量应力，导致硅钢板消除应力退火前、后铁损变化率增大。因此，在本发明所述的制造方法中，对激光

的波长控制在不超过 1066nm。

本发明所述的低铁损取向硅钢能够在消除应力退火过程中磁畴细化效果不消失，并且也不会引入较多的残余应力，因而，特别适合直接用于不经消除应力退火的叠片铁芯变压器的制造，也可以适用于卷绕铁芯变压器制造。

附图说明

图 1 显示了采用现有技术中机械刻痕方式所产生的局部应力场。

图 2 显示了本发明所述的低铁损取向硅钢的沟槽应力分布图。

图 3 显示了在不同的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \%$ 下本发明所述的低铁损取向硅钢的磁感与铁损的改善率的情况。

图 4 显示了在不同的平均单脉冲峰值功率密度 p_0 下本发明所述的低铁损取向硅钢的退火前后铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \%$ 以及铁损改善率的情况。

图 5 显示了在不同的 $t_p \sqrt{J_F}$ 数值下本发明所述的低铁损取向硅钢在进行消除应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \%$ 以及铁损改善率的情况。

具体实施方式

下面将结合说明书附图和具体的实施例对本发明所述的低铁损取向硅钢及其制造方法做进一步的解释和说明，然而该解释和说明并不对本发明的技术方案构成不当限定。

实施例 A1-A19 和对比例 B1-B13

实施例 A1-A19 的低铁损取向硅钢对比例 B1-B13 的常规硅钢采用下述步骤制得：

(1) 经过炼铁、炼钢、连铸、热轧、经过一次冷轧轧至厚度 0.23-0.27mm，其中，实施例 A1-A15 和对比例 B1-B10 的厚度为 0.23mm，实施例 A16-A19 和对比例 B11-B13 的厚度为 0.27mm，经 850℃ 的脱碳退火工艺后，形成表面氧化层后，在其表面涂覆 MgO 隔离剂，卷制成钢卷后在 1200℃ 高温退火条件下保持 20 小时，然后在其表面涂覆绝缘涂层并进行最终退火形成硅钢板。

(2) 采用激光在各实施例和对比例的硅钢板表面进行刻痕，以形成所述沟槽，具体工艺参数见表 1。

表 1 列出了各实施例的低铁损取向用钢在步骤 (2) 中的具体工艺参数。

表 1.

	序号	沟槽宽度 (μm)	沟槽深度 (μm)	相邻沟槽的间距 (mm)	沟槽与钢板的宽度方向之间的夹角	激光光源	平均单脉冲瞬时峰值功率密度 p_0 (W/mm^2)	脉冲宽度 t_p (ns)	平均单脉冲能流密度 J_F (J/cm^2)	$t_p \sqrt{J_F}$	激光波长 (nm)
实 施 例	A1	20	20	5	10°	CO_2 激光器	1.3×10^7	0.2	6.63	0.515	533
	A2	20	20	5	10°	固体激光器	1.3×10^7	0.2	6.63	0.515	267
	A3	20	20	5	10°	光纤激光器	1.3×10^7	0.2	6.63	0.515	267
	A4	20	15	4	12°	CO_2 激光器+固体激光器	1.3×10^7	0.9	1.22	0.996	533
	A5	20	15	4	12°	CO_2 激光器+光纤激光器	1.1×10^7	0.03	0.03	0.005	267
	A6	20	15	4	12°	光纤激光器+固体激光器	2.1×10^6	0.6	0.13	0.214	533
	A7	43	20	4.5	8°	CO_2 激光器+固体激光器+光纤激光器	4.0×10^6	0.2	1.99	0.282	267
	A8	15	20	5	20°	CO_2 激光器	1.3×10^7	0.2	6.63	0.515	533
	A9	10	18	4.5	8°	固体激光	1.1×10^7	0.2	5.31	0.461	267

						器					
A10	60	20	4.5	8°	光纤 激光 器	4.0×10 ⁷	0.2	1.99	0.282	267	
A11	15	40	4.5	8°	CO ₂ 激光 器+固 体激 光器	1.3×10 ⁷	0.2	6.63	0.515	267	
A12	15	5	4.5	8°	CO ₂ 激光 器+光 纤激 光器	2.7×10 ⁶	0.2	1.32	0.23	533	
A13	15	20	1	8°	光纤 激光 器+固 体激 光器	1.3×10 ⁷	0.2	6.63	0.515	267	
A14	15	20	10	8°	CO ₂ 激光 器+固 体激 光器+ 光纤 激光 器	1.3×10 ⁷	0.2	6.63	0.515	533	
A15	15	20	5	30°	CO ₂ 激光 器	1.3×10 ⁷	0.2	6.63	0.515	267	
A16	60	10.8	5	6°	固体 激光 器	2.9×10 ⁶	0.2	1.45	0.241	267	
A17	50	12.6	5	6°	光纤 激光 器	3.5×10 ⁶	0.2	1.77	0.266	267	
A18	40	13.9	5	6°	CO ₂ 激光 器+固 体激 光器	4.4×10 ⁶	0.2	2.21	0.297	533	

	A19	20	16.8	5	6°	CO ₂ 激光器+光纤激光器	8.8×10^6	0.2	4.43	0.421	267
对比例	B1	<u>8</u>	20	5	10°	光纤激光器+固体激光器	1.3×10^7	0.2	6.63	0.515	533
	B2	20	20	<u>11</u>	10°	CO ₂ 激光器+固体激光器+光纤激光器	1.3×10^7	0.2	6.63	0.515	267
	B3	20	<u>4</u>	4	12°	CO ₂ 激光器	<u>1.9×10^6</u>	0.2	0.04	0.039	267
	B4	20	15	<u>13</u>	12°	固体激光器	3.4×10^7	0.7	2.39	<u>1.082</u>	267
	B5	15	<u>42</u>	5	<u>31°</u>	光纤激光器	1.3×10^7	0.2	6.63	0.515	533
	B6	<u>2</u>	20	5	12°	CO ₂ 激光器+固体激光器	2.0×10^7	0.2	9.95	0.631	267
	B7	15	20	<u>0.9</u>	12°	CO ₂ 激光器+光纤激光器	1.3×10^7	0.2	6.63	0.515	267
	B8	15	20	<u>10.5</u>	12°	光纤激光器+固体激光器	1.3×10^7	0.2	6.63	0.515	533

B9	15	<u>41</u>	5	12°	CO2 激光器+固 体激光 器+光 纤激光 器	5.3×10 ⁶	0.2	2.66	0.326	533
B10	15	<u>4.5</u>	5	12°	CO2 激光器	2.2×10 ⁶	0.2	1.10	0.21	267
B11	<u>61</u>	10.5	5	6°	固体 激光器	2.8×10 ⁶	0.2	1.42	0.238	533
B12	<u>63</u>	10.1	5	6°	光纤 激光器	2.7×10 ⁶	0.2	1.35	0.232	267
B13	<u>70</u>	15.5	5	6°	CO2 激光器+固 体激光 器	2.5×10 ⁶	0.2	1.24	0.223	533

将实施例 A1-A3 的低铁损取向硅钢和对比例 B1-B2 的常规硅钢制成容量为 315kVA 的一级能效卷绕铁芯配电变压器，铁芯设计重量均为 430kg，测量其空载损耗和负载损耗，所得结果列于表 2。

表 2.

序号		激光刻痕 前 $P_{17/50}$ (W/kg)	激光刻痕后 $P_{17/50}$ (W/kg)		$\Delta P_{17/50}$ % (%)	刻痕铁 损改善 率 (%)	空载损耗 (W)	负载损耗 (W)
			退火前	退火后				
实施例	A1	0.908	0.802	0.803	0.1	11.6	330.2	3045
	A2	0.903	0.793	0.811	2.3	10.2	328.5	3038
	A3	0.906	0.801	0.840	4.6	7.3	339.8	3065
对比例	B1	0.901	0.805	0.848	<u>5.1</u>	5.9	342.8	3068
	B2	0.905	0.801	0.862	<u>7.1</u>	4.8	348.3	3075

$$\text{刻痕铁损改善率} = \frac{P_{17/50}(\text{刻痕前}) - P_{17/50}(\text{刻痕后} - \text{退火后})}{P_{17/50}(\text{刻痕前})}$$

由表 2 可以看出，本案实施例 A1-A3 的 $\Delta P_{17/50}$ % 不超过 5%，其刻痕铁损改善率均大于 6%，制成的配电变压器的空载损耗低于 340W，负载损耗不超过

3065W；而对比例 B1-B2 的 $\Delta P_{17/50}\%$ 大于 5%，其刻痕铁损改善率小于 6%，制成配电变压器的空载损耗和负载损耗均较本案实施例 A1-A3 高。

表 3 列出了实施例 A4-A6 的低铁损取向硅钢和对比例 B3-B4 的常规硅钢所采用的激光参数以及采用 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 方法测试铁损 $P_{17/50}$ 的测试结果。

表 3.

实施 例	序号	激光 输出 功率 P (W)	重复频 率 fr (kHz)	脉冲 宽度 t_p (ns)	光束轧 向宽度 a (mm)	光束 横向 宽度 b mm	激 光 扫 描 次 数	平均单脉 冲瞬时峰 值功率密 度 p_0 (W/mm ²)	$t_p \sqrt{J_F}$	激光刻痕后 $P_{17/50}$ (W/kg)		$\Delta P_{17/50}\%$ (%)
										退火 前	退火 后	
实施 例	A4	20	800	0.9	0.02	0.13	1	1.3×10^7	0.996	0.767	0.806	4.8
	A5	1.5	600	0.03	0.1	0.1	20	1.1×10^7	0.005	0.801	0.805	0.5
	A6	8	400	0.6	0.1	0.2	5	2.1×10^6	0.214	0.762	0.801	4.9
对比 例	B3	10	400	0.2	0.1	0.82	2	<u>1.9×10^7</u>	<u>0.039</u>	0.791	0.842	<u>6.1</u>
	B4	15	200	0.7	0.02	0.2	2	3.4×10^7	<u>1.082</u>	0.788	0.832	<u>5.3</u>

从表 3 可以看出，对比例 B3 和 B4 中，激光的平均单脉冲能流密度 J_F 和脉冲宽度 t_p 不满足关系式： $0.005 \leq t_p \sqrt{J_F} \leq 1$ ，且 $\Delta P_{17/50}\%$ 均大于 5%，而本案实施例 A4-A6，满足关系式： $0.005 \leq t_p \sqrt{J_F} \leq 1$ ，且 $\Delta P_{17/50}\%$ 均小于 5%。

表 4 列出了实施例 A7-A15 的低铁损取向硅钢和对比例 B5-B10 的常规硅钢所采用的激光参数以及采用 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 方法测试铁损 $P_{17/50}$ 的测试结果。

表 4.

实施 例	序号	光斑轧向 长度 (mm)	光斑横 向长度 (mm)	平均单脉冲 瞬时峰值功 率密度 p_0 (W/mm ²)	$t_p \sqrt{J_F}$	扫描次 数	退火前 B8 (T)	$P_{17/50}$ (W/kg)		$\Delta P_{17/50}\%$ (%)
								退火前	退火后	
实施 例	A7	0.04	0.2	4.0×10^6	0.282	1	1.902	0.803	0.808	0.6
	A8	0.012	0.2	1.3×10^7	0.515	1	1.908	0.801	0.803	0.2
	A9	0.01	0.3	1.1×10^7	0.461	1	1.912	0.812	0.813	0.1
	A10	0.04	0.2	4.0×10^7	0.282	2	1.901	0.797	0.802	0.6
	A11	0.012	0.2	1.3×10^7	0.515	3	1.901	0.791	0.799	1.0
	A12	0.012	1.0	2.7×10^6	0.230	1	1.915	0.821	0.821	0.0
	A13	0.012	0.2	1.3×10^7	0.515	1	1.9	0.788	0.796	1.0
	A14	0.012	0.2	1.3×10^7	0.515	1	1.913	0.823	0.825	0.2
	A15	0.012	0.2	1.3×10^7	0.515	1	1.911	0.822	0.823	0.1

对比例	B5	0.012	0.2	1.3×10^7	0.515	1	1.911	0.831	0.842	1.3
	B6	0.008	0.2	2.0×10^7	0.631	1	1.917	0.838	0.845	0.8
	B7	0.012	0.2	1.3×10^7	0.515	2	1.897	0.782	0.793	1.4
	B8	0.012	0.2	1.3×10^7	0.515	2	1.918	0.837	0.841	0.5
	B9	0.012	0.5	5.3×10^6	<u>0.326</u>	4	1.898	0.783	0.798	1.9
	B10	0.012	1.2	2.2×10^6	0.210	1	1.919	0.839	0.841	0.2

由表 4 可看出, 实施例 A7-A15 的低铁损取向硅钢由于满足其激光工艺和表面刻痕工艺均在本发明所述限定的范围内, 也就是说, 实施例 A7-A15 的低铁损取向硅钢的沟槽的宽度为 10~60 μm , 深度为 5~40 μm 之间, 相邻沟槽之间的间距为 1~10mm, 沟槽与钢板的宽度方向之间具有不大于 30° 的夹角, 激光的平均单脉冲瞬时峰值功率密度不低于 $2.0 \times 10^6 \text{W/mm}^2$, 激光的平均单脉冲能流密度 J_F 和脉冲宽度 t_p 满足如下关系式: $0.005 \leq t_p \sqrt{J_F} \leq 1$, 因而各实施例的低铁损取向硅钢的性能良好, 磁感 B8 在 1.90T 以上, 退火前、后的铁损 $P_{17/50}$ 均在 0.825W/kg 以下; 而对比例 B5-B9 的常规硅钢的表现均不如本案实施例 A7-A15。

实施例 A16-A19 的低铁损取向硅钢和对比例 B11-B13 的常规硅钢采用 500mm $\times$ 500mm 方法测试铁损 $P_{17/50}$, 并采用 IEC68-2-11 标准连续 7hr 盐雾试验, 评估硅钢板表面的耐腐蚀特性, 所获得测试结果见表 5。

表 5.

	序号	光斑 轧向 长度 (mm)	光斑 横向 长度 (mm)	平均单脉 冲瞬时峰 值功率密 度 p_0 (W/mm ²)	$t_p \sqrt{J_F}$	激 光 扫 描 次 数	退火 前 B8 (T)	$P_{17/50}$ (W/kg)		$\Delta P_{17/50}\%$ (%)	锈蚀面 积 (%)
								退火 前	退火 后		
实施例	A16	0.055	0.2	2.9×10^6	0.241	1	1.905	0.885	0.901	1.8	2
	A17	0.045	0.2	3.5×10^6	0.266	1	1.911	0.891	0.905	1.5	1
	A18	0.036	0.2	4.4×10^6	0.297	1	1.912	0.879	0.890	1.2	0
	A19	0.018	0.2	8.8×10^6	0.421	1	1.915	0.868	0.873	0.6	0
对比例	B11	0.056	0.2	2.8×10^6	0.238	1	1.903	0.873	0.882	1.0	5
	B12	0.059	0.2	2.7×10^6	0.232	1	1.901	0.877	0.890	1.5	6
	B13	0.064	0.2	2.5×10^6	0.223	2	1.900	0.866	0.879	1.5	10

从表 5 可以看出, 并在必要时结合表 1, 本案实施例 A16-A19 的沟槽由于沟槽的宽度不超过 60 μm 时, 因而, 其盐雾实验下硅钢板锈蚀面积不超过 2%,

说明本案各实施例的低铁损取向硅钢的耐蚀性能优良；而由于对比例 B11-B13 的沟槽宽度超出 $60\mu\text{m}$ 导致其耐腐蚀性能大幅减弱。

图 1 显示了采用现有技术中机械刻痕方式所产生的局部应力场。由图 1 可看出，由于必须在硅钢板基材上施加大于抗拉强度的机械压力才能在表面形成沟槽，因此，需要的压力值往往超过 200Mpa ，此时应力场在贯穿整个硅钢板厚度方向，在钢板轧向上的分布也大大超过刻痕形变区域。加工残余应力区内产生大量的亚磁畴，增大磁滞损耗，降低硅钢板的磁感特性，因此，使得现有技术的硅钢无法直接应用于叠片铁芯变压器的制造。

图 2 显示了本发明所述的低铁损取向硅钢的沟槽应力分布图。由图 2 可看出，由于本案采用高能量的脉冲激光实施耐热刻痕，沟槽附近应力分布范围非常有限且影响区域大大减小，因此消除应力退火后硅钢板不会产生显著的铁损增大现象，使得本发明所述的低铁损取向硅钢能够适用于卷绕铁芯和叠片铁芯变压器的制造。

图 3 显示了在不同的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \%$ 下本发明所述的低铁损取向硅钢的磁感与铁损的改善率的情况。由图 3 可以看出，处于 I 范围内的本发明所述的低铁损取向硅钢具有较好的磁感 B_8 改善率以及较明显改善率 $>6\%$ 的 $P_{17/50}$ 铁损改善率，因而本发明所述的低铁损取向硅钢可适用于卷绕铁芯变压器制造，也可不经消除应力退火直接应用于叠片铁芯变压器的制造。图中 I 表示 $\Delta P_{17/50} \%$ 取值范围在 $\Delta P_{17/50} \% \leq 5\%$ ，II 表示取向硅钢磁感改善率曲线，III 表示取向硅钢 $P_{17/50}$ 铁损改善率曲线。

图 4 显示了在不同的平均单脉冲峰值功率密度 p_0 下本发明所述的低铁损取向硅钢在进行消除应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \%$ 以及铁损改善率的情况。由图 4 可以看出，处于 IV 范围内时，本发明所述的低铁损取向硅钢在进行消除应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \% \leq 5\%$ ，且此时的铁损改善率较高。图中 IV 表示平均单脉冲峰值功率密度 p_0 不低于 $2.0 \times 10^6 \text{W/mm}^2$ ，V 表示取向硅钢铁损改善率，VI 表示在进行消除应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \%$ 。

图 5 显示了在不同的 $t_p \sqrt{J_F}$ 数值下本发明所述的低铁损取向硅钢在进行消除应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \%$ 以及铁损改善率的情况。由图 5 可以看出，处于 VII 范围内，本发明所述的低铁损取向硅钢的在进行消除

应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \% \leq 5\%$ ，且此时的铁损改善率较高。图中 VII 表示激光的平均单脉冲能流密度 J_F 和脉冲宽度 t_p 满足 $0.005 \leq t_p \sqrt{J_F} \leq 1$ ，VIII 表示取向硅钢铁损改善率，IX 表示在进行消除应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \%$ ，X 表示激光加工区。

需要注意的是，以上列举的仅为本发明的具体实施例，显然本发明不限于以上实施例，随之有着许多的类似变化。本领域的技术人员如果从本发明公开的内容直接导出或联想到的所有变形，均应属于本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种低铁损取向硅钢，其表面具有若干沟槽，其特征在于，各所述沟槽的宽度为 10~60 μm ，深度为 5~40 μm 之间，相邻沟槽之间的间距为 1~10mm。
2. 如权利要求 1 所述的低铁损取向硅钢，其特征在于，所述沟槽与钢板的宽度方向之间具有不大于 30° 的夹角。
3. 如权利要求 1 所述的低铁损取向硅钢，其特征在于，所述沟槽由激光刻痕形成。
4. 如权利要求 1 所述的低铁损取向硅钢，其特征在于，其一个表面具有所述沟槽或两个表面均具有沟槽。
5. 如权利要求 1-4 中任意一项所述的低铁损取向硅钢，其特征在于，其在进行消除应力退火之前和之后的铁损相对变化率 $\Delta P_{17/50} \% \leq 5\%$ ，其中：

$$\Delta P_{17/50} \% = \frac{P_{17/50}(\text{退火后}) - P_{17/50}(\text{退火前})}{P_{17/50}(\text{退火后})},$$

$P_{17/50}$ 为取向硅钢板的铁损值，单位为 W/kg。

6. 一种低铁损取向硅钢的制造方法，其特征在于，包括步骤：采用激光在低铁损取向硅钢的表面进行刻痕，以形成沟槽，各所述沟槽的宽度为 10~60 μm ，深度为 5~40 μm 之间，相邻沟槽之间的间距为 1~10mm。
7. 如权利要求 6 所述的低铁损取向硅钢的制造方法，其特征在于，所述沟槽与钢板的宽度方向之间具有不大于 30° 的夹角。
8. 如权利要求 6 所述的低铁损取向硅钢的制造方法，其特征在于，所述激光产生自 CO₂ 激光器、固体激光器或光纤激光器中的一种或几种。
9. 如权利要求 6-8 中任一项所述的低铁损取向硅钢的制造方法，其特征在于，所述激光的平均单脉冲瞬时峰值功率密度不低于 $2.0 \times 10^6 \text{W/mm}^2$ 。
10. 如权利要求 6-8 任一项所述的低铁损取向硅钢的制造方法，其特征在于，所述激光的平均单脉冲能流密度 J_F 和脉冲宽度 t_p 满足如下关系式：

$$0.005 \leq t_p \sqrt{J_F} \leq 1$$

其中脉冲宽度 t_p 的单位为 ns； J_F 的单位为 J/cm²。

11. 如权利要求 6-8 任一项所述的低铁损取向硅钢的制造方法，其特征在于，所述激光的波长不超过 1066nm。

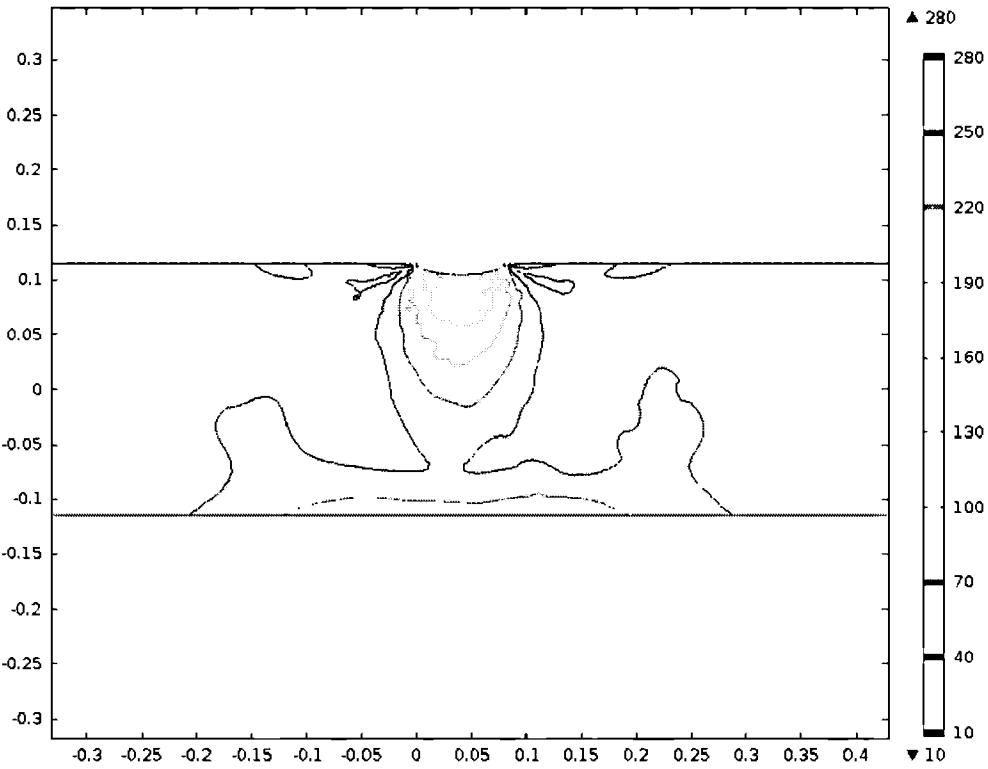


图 1

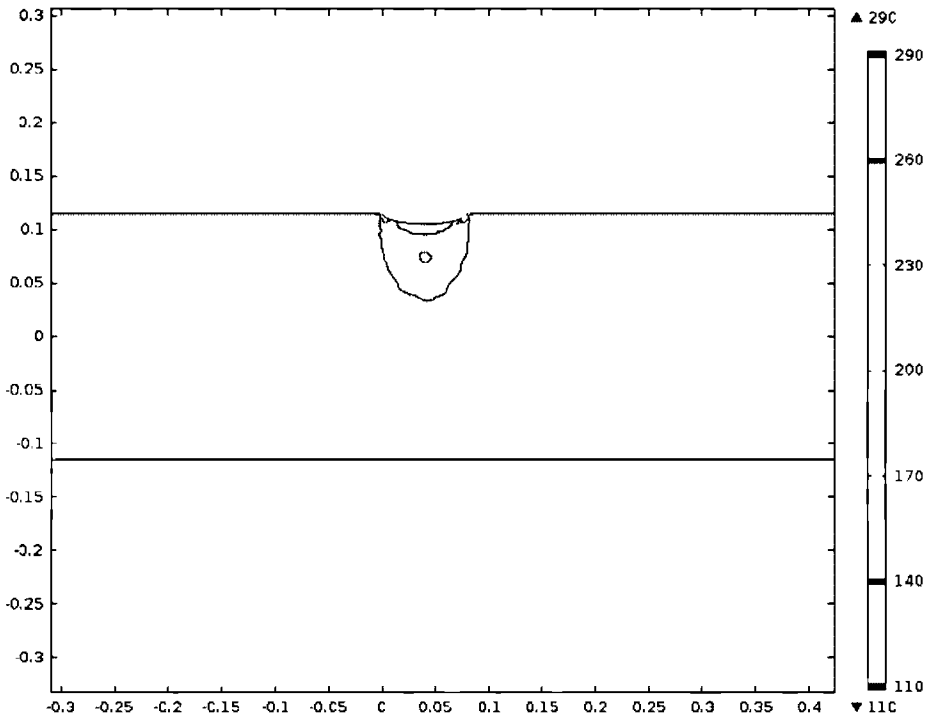


图 2

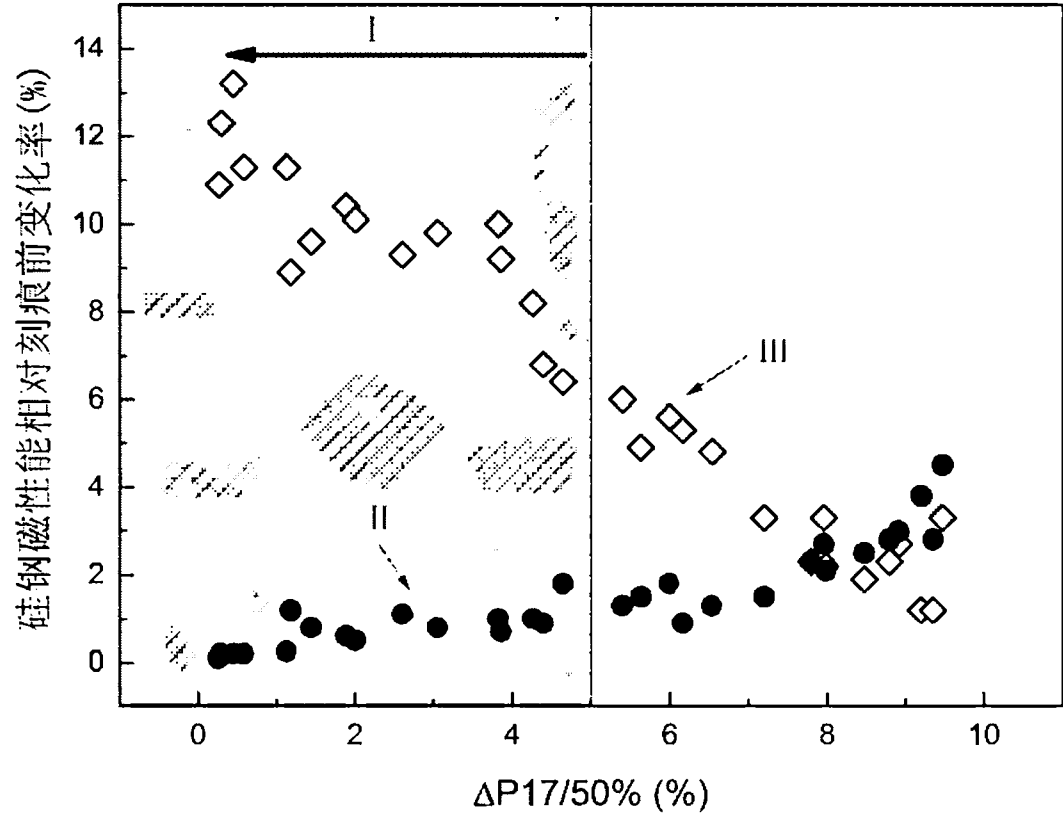


图 3

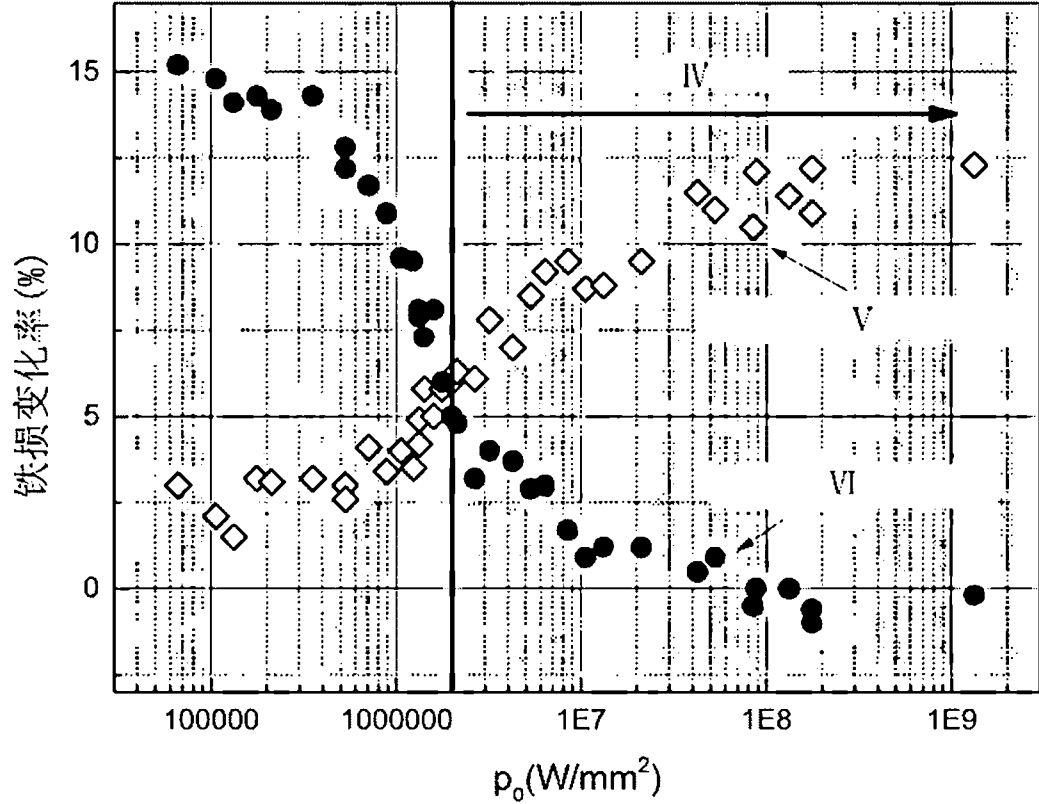


图4

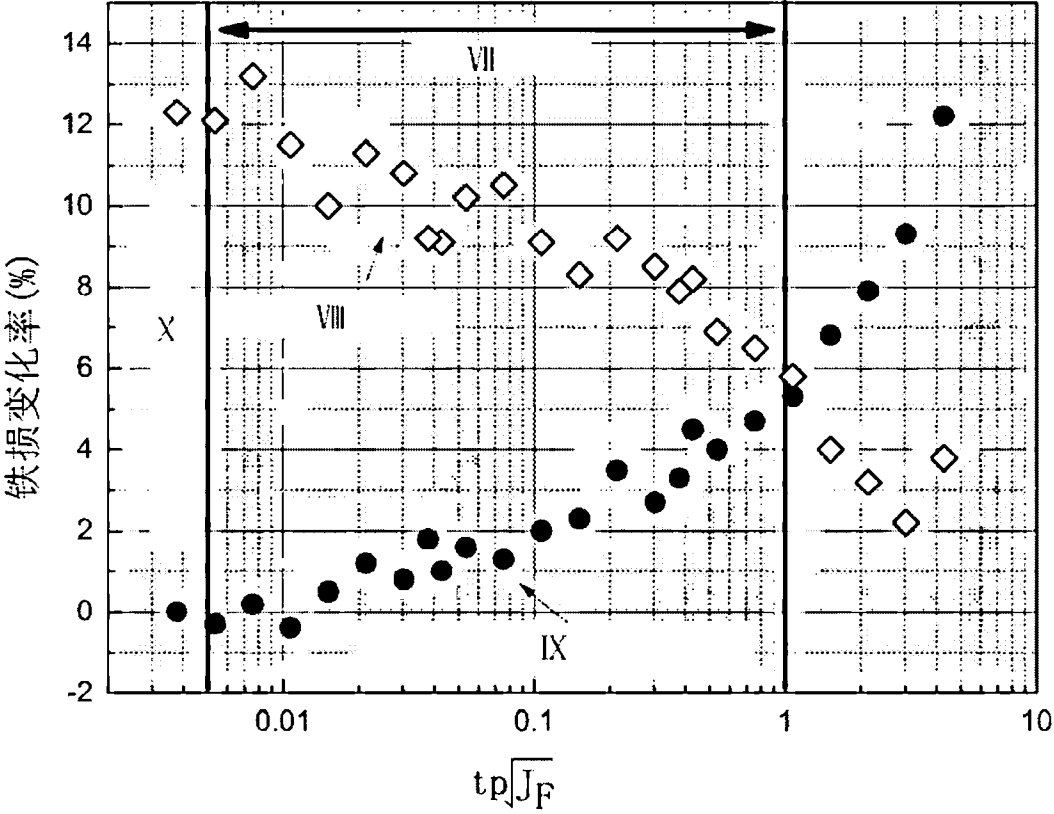


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/074017

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C21D 8/12 (2006.01) i; B23K 26/364 (2014.01) n; H01F 27/245 (2006.01) n; H01F 41/02 (2006.01) n
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)

C21D; H01F; B23K

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)

CNABS, SIPOABS, DWPI, CNTXT, CNKI: 铁损, 钢, 槽, 沟, 激光, iron loss, steel?, groove, notch, laser

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 106282512 A (BAOSTEEL GROUP CORP.), 04 January 2017 (04.01.2017), description, paragraphs 0013-0022 and 0056-0059, and table 4	1-4, 6-9, 11
A	CN 106282512 A (BAOSTEEL GROUP CORP.), 04 January 2017 (04.01.2017), description, paragraphs 0013-0022 and 0056-0059, and table 4	5, 10
X	CN 101979676 A (WUHAN IRON AND STEEL (GROUP) CORP.), 23 February 2011 (23.02.2011), claims 1 and 5, and description, paragraph 0025	1, 3, 6, 8, 9
A	CN 101979676 A (WUHAN IRON AND STEEL (GROUP) CORP.), 23 February 2011 (23.02.2011), claims 1 and 5, and description, paragraph 0025	2, 4-5, 7, 10-11
A	JP 2003129135 A (NIPPON STEEL CORP.), 08 May 2003 (08.05.2003), entire document	1-11
A	EP 0584610 A1 (KAWASAKI STEEL CORP.), 02 March 1994 (02.03.1994), entire document	1-11

☐ 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	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“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
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	“&” document member of the same patent family
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 04 April 2018	Date of mailing of the international search report 28 April 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer ZHANG, Fang Telephone No. (86-10) 62084779

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/074017

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106282512 A	04 January 2017	CN 106282512 B	30 March 2018
CN 101979676 A	23 February 2011	CN 101979676 B	08 February 2012
		WO 2012068868 A1	31 May 2012
JP 2003129135 A	08 May 2003	JP 4189143 B2	03 December 2008
EP 0584610 A1	02 March 1994	KR 960006448 B1	16 May 1996
		US 6228182 B1	08 May 2001
		JP H06100939 A	12 April 1994

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/074017

A. 主题的分类 C21D 8/12(2006.01)i; B23K 26/364(2014.01)n; H01F 27/245(2006.01)n; H01F 41/02(2006.01)n 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) C21D; H01F; B23K 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)) CNABS, SIPOABS, DWPI, CNTXT, CNKI, 铁损, 钢, 槽, 沟, 激光, iron loss, steel?, groove, notch, laser		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 106282512 A (宝山钢铁股份有限公司) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 说明书第0013-0022, 0056-0059段, 表4	1-4, 6-9, 11
A	CN 106282512 A (宝山钢铁股份有限公司) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 说明书第0013-0022, 0056-0059段, 表4	5, 10
X	CN 101979676 A (汉钢铁集团公司) 2011年 2月 23日 (2011 - 02 - 23) 权利要求1, 5说明书第0025段	1, 3, 6, 8, 9
A	CN 101979676 A (汉钢铁集团公司) 2011年 2月 23日 (2011 - 02 - 23) 权利要求1, 5说明书第0025段	2, 4-5, 7, 10-11
A	JP 2003129135 A (NIPPON STEEL CORP) 2003年 5月 8日 (2003 - 05 - 08) 全文	1-11
A	EP 0584610 A1 (KAWASAKI STEEL CORP) 1994年 3月 2日 (1994 - 03 - 02) 全文	1-11
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 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 2018年 4月 4日		国际检索报告邮寄日期 2018年 4月 28日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (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 张芳 电话号码 (86-10)62084779

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/074017

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	106282512	A	2017年 1月 4日	CN	106282512	B	2018年 3月 30日
CN	101979676	A	2011年 2月 23日	CN	101979676	B	2012年 2月 8日
				WO	2012068868	A1	2012年 5月 31日
JP	2003129135	A	2003年 5月 8日	JP	4189143	B2	2008年 12月 3日
EP	0584610	A1	1994年 3月 2日	KR	960006448	B1	1996年 5月 16日
				US	6228182	B1	2001年 5月 8日
				JP	H06100939	A	1994年 4月 12日