

# (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  
2020年2月13日 (13.02.2020)



(10) 国际公布号  
**WO 2020/029435 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
G01N 29/24 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2018/112179
- (22) 国际申请日: 2018年10月26日 (26.10.2018)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201810893704.4 2018年8月8日 (08.08.2018) CN
- (71) 申请人: 苏州博昇科技有限公司 (SUZHOU PHASERISE TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省苏州吴中区角直镇长虹北路169号B幢906室, Jiangsu 215127 (CN)。
- (72) 发明人: 杨龙 (YANG, Long); 中国江苏省苏州吴中区角直镇长虹北路169号B幢906室, Jiangsu 215127 (CN)。 谢明明 (XIE, Mingming); 中国江苏省苏州吴中区角直镇长虹北路169号B幢906室, Jiangsu 215127 (CN)。 金怡胜 (JIN, Yisheng); 中国江苏省苏州吴中区角直镇长虹北路169号

B幢906室, Jiangsu 215127 (CN)。 周新宗 (ZHOU, Xinzong); 中国江苏省苏州吴中区角直镇长虹北路169号B幢906室, Jiangsu 215127 (CN)。 赵军辉 (ZHAO, Junhui); 中国江苏省苏州吴中区角直镇长虹北路169号B幢906室, Jiangsu 215127 (CN)。 朱绪祥 (ZHU, Xuxiang); 中国江苏省苏州吴中区角直镇长虹北路169号B幢906室, Jiangsu 215127 (CN)。 沈宇平 (SHEN, Yuping); 中国江苏省苏州吴中区角直镇长虹北路169号B幢906室, Jiangsu 215127 (CN)。

(74) 代理人: 苏州创元专利商标事务所有限公司 (SUZHOU CREATOR PATENT & TRADEMARK AGENCY LTD.); 中国江苏省苏州市姑苏区干将西路93号5楼, Jiangsu 215000 (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,

(54) Title: ELECTROMAGNETIC ULTRASONIC DOUBLE-WAVE TRANSDUCER

(54) 发明名称: 电磁超声波双波换能器

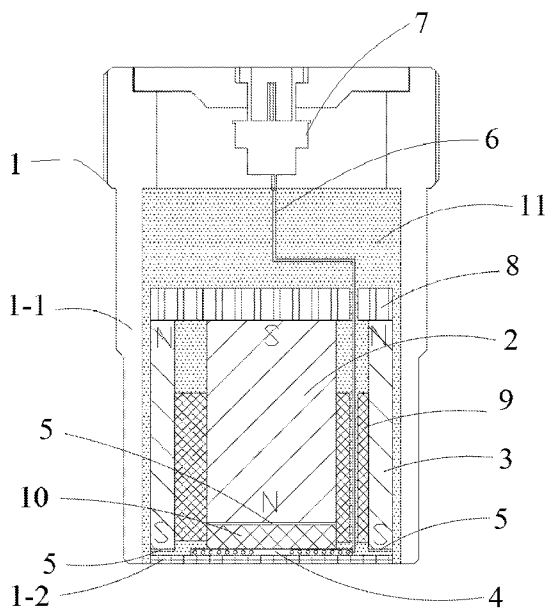


图 1

(57) Abstract: An electromagnetic ultrasonic double-wave transducer, comprising a shell (1), and a permanent magnet assembly, a coil (4), a shielding layer (5), and a wire (6) which are provided in the shell (1). The permanent magnet assembly comprises a first permanent magnet (2) and a second permanent magnet (3) sleeved on the first permanent magnet (2). The magnetizing directions of the first permanent magnet (2) and the second permanent magnet (3) are perpendicular to the bottom of the shell (1), and the magnetic field directions of the first permanent magnet (2) and the second permanent magnet (3) are opposite. A non-conducting non-magnet-conduction bushing material (9) is provided between the first permanent magnet (2) and the second permanent magnet (3), and upper end faces of the first permanent magnet (2) and the second permanent magnet (3) realize magnetic circuit closing by means of a magnetic circuit closing element (8). The coil (4) is fixed on the bottom of the shell (1) and is located below the first permanent magnet (2). The shielding layer (5) is provided between the lower end of the first permanent magnet (2) and the coil (4) and below the second permanent magnet (3). One end of the wire (6) is connected to the coil (4), and the other end is connected to a power supply and a signal plug (7). The electromagnetic ultrasonic double-wave transducer can simultaneously stimulate longitudinal wave and transverse wave on the surface of a workpiece, and the detection accuracy is

WO 2020/029435 A1

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))。

improved.

(57) 摘要: 电磁超声波双波换能器, 包括外壳(1)及设置在外壳(1)内的永磁体组件、线圈(4)、屏蔽层(5)和导线(6); 永磁体组件包括第一永磁体(2)及套设在第一永磁体(2)上的第二永磁体(3), 第一永磁体(2)与第二永磁体(3)的充磁方向均垂直于外壳(1)底部且它们的磁场方向相反, 第一永磁体(2)和第二永磁体(3)之间是不导电不导磁衬套材料(9), 第一永磁体(2)、第二永磁体(3)上端面经磁路闭合件(8)实现磁路闭合; 线圈(4)固定在外壳(1)底部并位于第一永磁体(2)的下方, 屏蔽层(5)设置在第一永磁体(2)下端与线圈(4)之间、以及第二永磁体(3)的下方, 导线(6)一端连接至线圈(4)且另一端连接至电源和信号插头(7)。该电磁超声波双波换能器可在工件表面同时激发纵波和横波, 提高检测精度。

## 电磁超声波双波换能器

### 技术领域

本发明涉及超声波检测技术领域，特别涉及一种电磁超声波双波换能器。

### 背景技术

在超声波检测领域，有时候需要用到两种模式的波来准确地检测工件的某些材料性质、尺寸或者缺陷。比如在球墨铸铁的球化率检测中，如果只有一种模式的波，就不容易区分飞行时间的变化是来自样品厚度的变化还是来自于超声波速度本身的变化。这极大地影响检测的有效性。又比如在螺栓的拉力检测中，如果只用一种模式的超声波，就无法知道超声波的飞行时间是来自于物体尺寸的变化还是来自螺栓拉应力引起的超声波速度的变化。这样就无法通过超声波的方法来检测螺栓拉力。

为了能产生两种不同模态的超声波，公开文献 1 (NDT&E International 42(2009) 164-169) 提到了利用一个特殊设计的压电超声换能器使得超声纵波在被测工件的底面产生模式转换的横波；公开文献 2 (Ultrasonics 54 (2014) 914-920) 提到了利用大功率电源激励以及多次平均的方法使得一个电磁超声横波换能器在被测工件的底部产生模式转换的纵波；公开文献 3 (仪器仪表学报 Vol.17(1996) No.6 662-665) 提到了利用两个压电换能器组合在一起分别在工件中产生超声纵波和超声横波；公开文献 4 (美国专利 US8511165B2) 提到了利用一个压电换能器和一个电磁超声换能器组合起来在工件表面分别产生纵波和横波。

以上公开文献中的方法都不能同时在所检测的工件表面产生纵波和横波，这造成了高精度检测的误差，特别是在螺栓拉力检测中的误差。公开文献 1 到 4 中所涉及到的压电换能器在超声波从压电晶片到工件表面传播或者反向传播的过程中都需要考虑楔块和耦合剂对超声波传播时间的影响。公开文献 2 和公开文献 4 所述的电磁超声换能器都无法在工件表面产生超声纵波。

## 发明内容

基于现有技术中的问题，本发明的目的是提供一种电磁超声波双波换能器，可同时在工件表面激发出纵波和横波。

基于上述问题，本发明提供的技术方案之一是：

电磁超声波双波换能器，其包括外壳、及设置在所述外壳内的永磁体组件、线圈、屏蔽层和导线；

所述永磁体组件包括第一永磁体、及套设在所述第一永磁体上的第二永磁体，所述第一永磁体与所述第二永磁体的充磁方向均垂直所述外壳底部且它们的磁场方向相反，所述第一永磁体和所述第二永磁体之间是不导电不导磁衬套材料，所述第一永磁体、第二永磁体上端面经磁路闭合件实现磁路闭合；

所述线圈固定在所述外壳底部并位于所述第一永磁体的下方，所述屏蔽层设置在所述第一永磁体下端与所述线圈之间、以及第二永磁体的下方，所述导线一端连接至所述线圈且另一端连接至电源和信号插头。

在其中的一个实施例中，所述第一永磁体呈圆柱形，所述第二永磁体呈圆环状。

在其中的一个实施例中，所述第二永磁体的内径比所述第一永磁体的外径大 1~15mm。

在其中的一个实施例中，所述第一永磁体与所述第二永磁体的下端面之间具有 -3mm~3mm 的高度差。

在其中的一个实施例中，所述线圈呈螺旋状，所述线圈的外径大于所述第一永磁体的外径且小于所述第二永磁体的内径。

在其中的一个实施例中，所述线圈与所述屏蔽层之间填充有不导电材料，所述永磁体组件与所述外壳之间填充有不导电不导磁材料。

在其中的一个实施例中，所述外壳包括壳体和设置在所述壳体下端的耐磨片。

基于上述问题，本发明提供的技术方案之二是：

电磁超声波双波换能器，其包括外壳、及设置在所述外壳内的永磁体组件、线圈、屏蔽层、及导线，所述线圈固定在所述外壳底部并位于所述永磁体组件的下方，所述屏蔽层设置在所述永磁体组件与所述线圈之间，所述导

线一端连接至所述线圈且另一端连接至电源插头，所述永磁体组件包括第三永磁体、及与所述第三永磁体并排设置且分别位于所述第三永磁体宽度方向两侧的第四永磁体，所述第四永磁体与所述第三永磁体间隔设置且所述间隔为不导电不导磁衬套材料，所述第三永磁体、第四永磁体上端面经磁路闭合件实现磁路闭合。

在其中的一个实施例中，所述第三永磁体与所述第四永磁体的横截面呈长方形。

在其中的一个实施例中，所述线圈呈蝶型。

在其中的一个实施例中，所述线圈与所述屏蔽层之间填充有不导电材料，所述永磁体组件与所述外壳之间填充有不导电不导磁材料。

在其中的一个实施例中，所述外壳包括壳体和设置在所述壳体下端的耐磨片。

与现有技术相比，本发明的优点是：

采用本发明的技术方案，该超声波换能器可以同时在工作表面激发出纵波和横波，用两种模式的超声波对材料弹性模量等材料性质、缺陷、长度、应力等物理量进行检测，避免压电超声契块和耦合剂延时带来的测量误测，也避免超声波模式转换有可能带来的检测误差，提高检测精度。

#### 附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为本发明电磁超声波双波换能器实施例 1 的结构示意图；

图 2 为本发明实施例 2 的结构示意图；

图 3 为 2 的 A-A 剖视图；

图 4 为实施例 1 电磁超声波双波换能器检测各向同性材料杨氏模量和泊松系数时同时激发出横波信号和纵波信号；

图 5 为实施例 1 电磁超声波双波换能器检测各向同性材料杨氏模量和泊松系数时同时激发出横波信号和纵波信号的增益放大图；

图 6 为实施例 1 电磁超声波双波换能器检测螺栓拉力时同时产生的纵波信号和横波信号；

图 7 为实施例 1 电磁超声波双波换能器检测螺栓拉力时同时产生的横波声时和纵波声时之比与螺栓所受拉力成一一对应的关系；

图 8 为实施例 2 电磁超声波双波换能器检测各向同性材料杨氏模量和泊松系数时同时激发出横波信号和纵波信号的增益放大图；

其中：

- 1、外壳； 1-1、壳体； 1-2、耐磨片；
- 2、第一永磁体；
- 3、第二永磁体；
- 4、线圈；
- 5、屏蔽层；
- 6、导线；
- 7、电源和信号插头；
- 8、磁路闭合件；
- 9、不导电不导磁衬套材料；
- 10、不导电材料；
- 11、不导电不导磁材料；
- 12、第三永磁体；
- 13、第四永磁体。

### 具体实施方式

以下结合具体实施例对上述方案做进一步说明。应理解，这些实施例是用于说明本发明而并不限于限制本发明的范围。实施例中采用的实施条件可以根据具体厂家的条件做进一步调整，未注明的实施条件通常为常规实验中的条件。

参见图 1，为本发明实施例的结构示意图，提供一种电磁超声波双波换能器，其包括外壳 1、及设置在外壳 1 内的永磁体组件、线圈 4、屏蔽层 5 和导线 6。

永磁体组件包括圆柱状的第一永磁体 2、及套设在第一永磁体 2 上的第

第二永磁体 3，第二永磁体 3 呈圆环状，第一永磁体 2 和第二永磁体 3 的充磁方向均垂直外壳底部且它们的磁场方向相反，第一永磁体 2 与第二永磁体 3 之间为不导电不导磁衬套材料 9，第一永磁体 2 与第二永磁体 3 的上端面齐平且经磁路闭合件 8 实现磁路闭合。

线圈 4 固定在外壳 1 底部并位于第一永磁体 2 的下方，屏蔽层 5 设置在第一永磁体 2 下端和线圈 4 之间、第二永磁体 3 的下方，导线 6 一端连接至线圈 4 且另一端连接至电源和信号插头 7。

本例中，磁路闭合件 8 为厚度大于 3mm 的低碳钢或者铁氧体。不导电不导磁衬套材料 9 采用塑料、橡胶或者高分子材料，比如电木材料。

第二永磁体 3 的内径比第一永磁体 2 的外径大 1~15mm，线圈 4 呈螺旋状，且其外径大于或等于第一永磁体 2 的外径且小于第二永磁体 3 的内径。第一永磁体 2 与第二永磁体 3 的下端面可齐平，也可具有小于 3mm 的高度差，即第一永磁体 2 的下端面位于第二永磁体 3 下端面的上方，或位于第二永磁体 3 下端面的下方。

本例中，屏蔽层 5 为高导电的铜片或银片，并贴付在第一永磁体 2、第二永磁体 3 的下端。

为了进一步优化本实用新型的实施效果，在线圈 4 和屏蔽层 5 之间填充有不导电材料 10，比如空气、树脂或者不导电的软磁材料。在永磁体组件与外壳 1 之间填充有不导电不导磁材料 11，不导电不导磁材料 11 为环氧树脂。

本例中，线圈 4 为双层 PCB 板制作或者漆包线绕制。

本例中，外壳 1 包括壳体 1-1 和设置在壳体 1-1 下端的耐磨片 1-2，耐磨片 1-2 采用陶瓷片或者环氧板，壳体 1-1 采用不锈钢、铝合金或者紫铜材料，电源和信号插头 7 固定在壳体 1-1 的上部。

参见图 2-3，为实施例 2 的结构示意图，其它与实施例 1 相同，不同之处在于，永磁体组件的结构不同，线圈 4 的结构不同，该永磁体组件包括第三永磁体 12、及与第三永磁体 12 并列设置并位于第三永磁体 12 宽度方向两侧的第四永磁体 13，第四永磁体 13 与第三永磁体 12 之间为不导电不导磁衬套材料 9。

本例中，第三永磁体 12 与第四永磁体 13 的横截面呈长方形，线圈 4

呈蝶型。

实施中，第一永磁体 2、第二永磁体 3、第三永磁体 12 和第四永磁体 13 均为钕铁硼材料。

电磁超声波换能器可以在低碳钢、铝合金等导电或者导磁工件近表面同时激发出垂直向下传播的超声横波和超声纵波，该电磁超声波换能器激发的纵波的幅度在与配套仪器的测试中最高可以达到横波的 20% 到 30% 之间。而通常的电磁超声波换能器几乎不能够激发出纵波。

例如，采用实施例 1 的电磁超声波双波换能器检测各向同性金属材料的杨氏模量与泊松系数。

在各向同性材料中，弹性模量  $E$  和泊松系数  $\nu$  与纵波  $C_1$  和横波  $C_s$  的速度关系为：

$$E = \frac{\rho C_s^2 (3T^2 - 4)}{T^2 - 1} \quad (1)$$

$$\nu = \frac{T^2 - 2}{2(T^2 - 1)} \quad (2)$$

式中  $T \equiv C_1/C_s$ ， $\rho$  为密度，对 20# 碳钢取  $7.87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

所以只要能检测出材料纵波速度、横波速度以及密度就可以推算出材料的杨氏模量和泊松系数。

以苏州博昇科技有限公司生产的手持式大功率超声检测仪器 PREMATE-HS200 作为电磁超声收发仪，配备本发明所述的电磁超声波双波换能器。检测工件选择《JB/T 4730-2005》CSK-II A 标准试样，材料为 20# 钢，工件为长方体，几何尺寸标称长、宽和高分别为 300mm、60mm 和 40mm。电磁超声换能器放置在检测工件上表面的中间位置，距离工件左边沿 170mm，上边沿 35mm 宽。测试频率为 4MHz，激励电压 1200Vpp，显示延时 10  $\mu$ s，采样时间 80  $\mu$ s，采样速度 100MS/s，重复频率为 200Hz。自动增益的测试数据见图 4。在图 4 基础上进一步增大增益得到图 5。图 5 中多次周期性的回波以及模式转换波都被标注出来，可见，本发明电磁超声波双波换能器是在工件表面同时激发出纵波（一次回波为 LL）和横波（一次回波为 SS）。

由公式 (1) 和 (2) 以及表一中的数据计算有：

$$E = 2.1226 \times 10^{11} \text{ Pa} \quad (3)$$

$$\nu = 0.285 \quad (4)$$

该数据与试样标称值非常接近。

表一：工件表面激发出的纵波和横波飞行时间

	LL	SS	SSSS	SSSSSS	横波平均波速
时间 (ns)	1354.13	24707	49402	74097	3239.5m/s
纵波声速 (m/s)	5907.85	--	--	--	--

本发明的换能器可以用作螺栓拉力的精确检测。根据公开文献 5 (Yuping Shen, G.B. Ma, C. Ma, X.X. Zhu and J.H. Zhao, "Bolt stress inspection by EMAT and PZT", 15th Asia Pacific Conference for Non-Destructive Testing, Singapore), 螺栓拉力  $\sigma$  可以表达为

$$\sigma = \frac{TOF_s \cdot C_{s0} - TOF_l \cdot C_{l0}}{\gamma(\alpha + 1/E)TOF_l \cdot C_{l0} - \gamma(\beta + 1/E)TOF_s \cdot C_{s0}} \quad (5)$$

式中  $\gamma$  是螺栓夹持长度比，也就是螺栓受拉力的长度与总长度的比值；

$E$  是杨氏模量； $\alpha$  是横波的声弹性系数； $\beta$  是纵波的声弹性系数； $C_{s0}$  和  $C_{l0}$  是在没有拉力时的横波和纵波速度； $TOF_s$  是螺栓横波飞行时间； $TOF_l$  是螺栓纵波飞行时间。对于材料参数标定过的螺栓，只要能精确地测出  $TOF_s$  和  $TOF_l$  就可以推算出螺栓受到的拉应力。本发明所用的换能器可以同时在这螺栓检测端面激发出纵波和横波。图 6 所示是用本发明电磁超声双波换能器在一根直径 42mm 的螺栓端面同时激发出纵波 (LL) 和横波 (SS) 信号。这样可以同时精确地检测出  $TOF_s$  和  $TOF_l$  数值。图 7 是用液压螺栓拉力机对图 6 使用的 42mm 标称直径螺栓标定的过程中  $TOF_s$  与  $TOF_l$  之比与螺栓所加拉应力的原始数据。由图 7 可知，两者的对应关系是比较平滑的一一对应的单调函数，对应的螺栓拉应力误差范围比较小。专业的数据处理方法也可以应用于处理图 7 所示的一一对应单调函数、使得螺栓拉应力检测的精度更高。

例如，采用实施例 2 的电磁超声波双波换能器检测各向同性金属材料的

杨氏模量与泊松系数。

选用与实施例 1 相同的工件和检测参数之后,与实施例 1 图 5 对应的实施例 2 为图 8。图 8 中在工件表面与横波同时产生的纵波幅值大约为实施例 1 的三分之一,但是最终杨氏模量与泊松系数的检测结果与实施例 1 相差不大。另外,实施例 2 的电磁超声波双波换能器是有方向性的,对有规则织构的材料比如冷轧钢板或者铝板在各方向上的纵波横波声速的检测非常有优势。

上述实例只为说明本发明的技术构思及特点,其目的在于让熟悉此项技术的人是能够了解本发明的内容并据以实施,并不能以此限制本发明的保护范围。凡根据本发明精神实质所做的等效变换或修饰,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

1、电磁超声波双波换能器，其特征在于：包括外壳（1）、及设置在所述外壳（1）内的永磁体组件、线圈（4）、屏蔽层（5）和导线（6）；

所述永磁体组件包括第一永磁体（2）、及套设在所述第一永磁体（2）上的第二永磁体（3），所述第一永磁体（2）与所述第二永磁体（3）的充磁方向均垂直所述外壳（1）底部且它们的磁场方向相反，所述第一永磁体（2）和所述第二永磁体（3）之间是不导电不导磁衬套材料（9），所述第一永磁体（2）、第二永磁体（3）上端面经磁路闭合件（8）实现磁路闭合；

所述线圈（4）固定在所述外壳（1）底部并位于所述第一永磁体（2）的下方，所述屏蔽层（5）设置在所述第一永磁体（2）下端与所述线圈（4）之间、以及第二永磁体（3）的下方，所述导线（6）一端连接至所述线圈（4）且另一端连接至电源和信号插头（7）。

2、根据权利要求1所述的电磁超声波双波换能器，其特征在于：所述第一永磁体（2）呈圆柱形，所述第二永磁体（3）呈圆环状。

3、根据权利要求2所述的电磁超声波双波换能器，其特征在于：所述第二永磁体（3）的内径比所述第一永磁体（2）的外径大1~15mm。

4、根据权利要求2所述的电磁超声波双波换能器，其特征在于：所述第一永磁体（2）与所述第二永磁体（3）的下端面之间具有-3mm~3mm的高度差。

5、根据权利要求2所述的电磁超声波双波换能器，其特征在于：所述线圈（4）呈螺旋状，所述线圈（4）的外径大于或等于所述第一永磁体（2）的外径且小于所述第二永磁体（3）的内径。

6、电磁超声波双波换能器，其特征在于：包括外壳（1）、及设置在所述外壳（1）内的永磁体组件、线圈（4）、屏蔽层（5）、及导线（6），所述线圈（4）固定在所述外壳（1）底部并位于所述永磁体组件的下方，所述屏蔽层（5）设置在所述永磁体组件与所述线圈（4）之间，所述导线（6）一端连接至所述线圈（4）且另一端连接至电源和信号插头（7），所述永磁体组件包括第三永磁体（12）、及与所述第三永磁体（12）并排设置且分别位于所述第三永磁体（12）宽度方向两侧的第四永磁体（13），所述第四永磁体（13）与所述第三永磁体（12）由不导电不导磁衬套材料（9）间隔，所述第三永磁体（12）、第四永磁体（13）上端面经磁路闭合件（8）实现磁路

闭合。

7、根据权利要求 6 所述的电磁超声波双波换能器，其特征在于：所述第三永磁体（12）与所述第四永磁体（13）的横截面呈长方形。

8、根据权利要求 6 所述的电磁超声波双波换能器，其特征在于：所述线圈（4）呈蝶型。

9、根据权利要求 1 或 6 所述的电磁超声波双波换能器，其特征在于：所述线圈（4）与所述屏蔽层（5）之间填充有不导电材料（10），所述永磁体组件与所述外壳（1）之间填充有不导电不导磁材料（11）。

10、根据权利要求 1 或 6 所述的电磁超声波双波换能器，其特征在于：所述外壳（1）包括壳体（1-1）和设置在所述壳体（1-1）下端的耐磨片（1-2）。

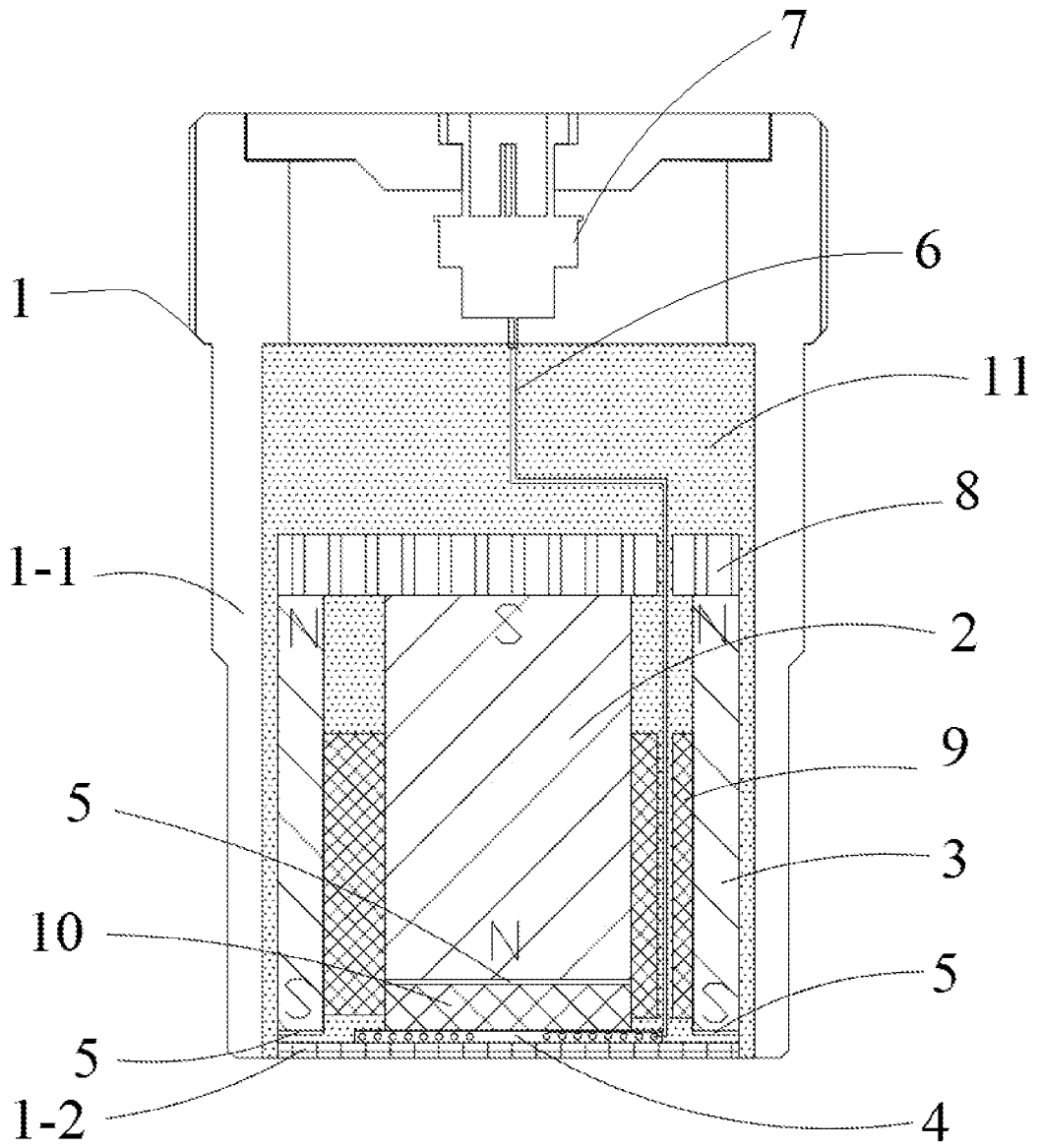


图 1

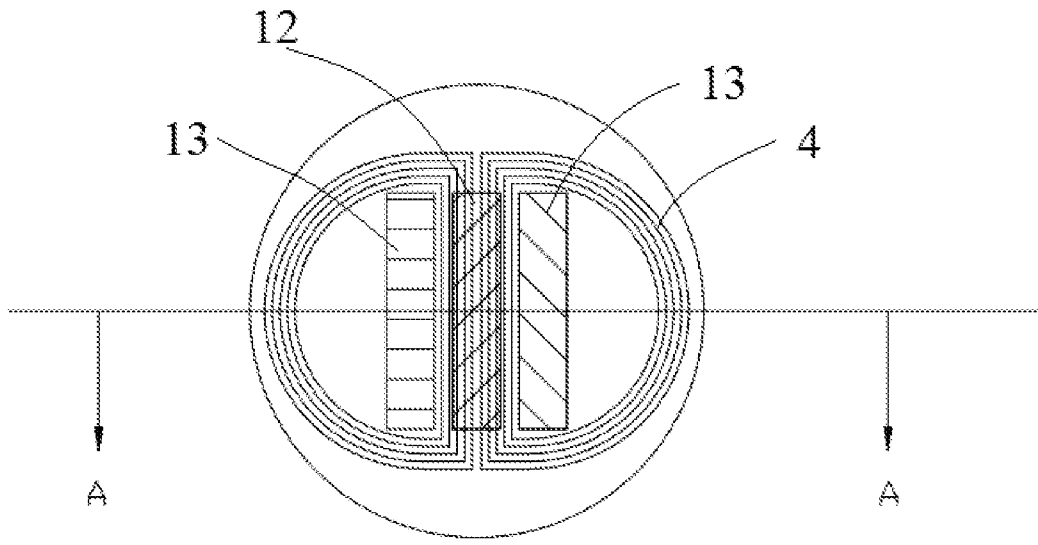


图 2

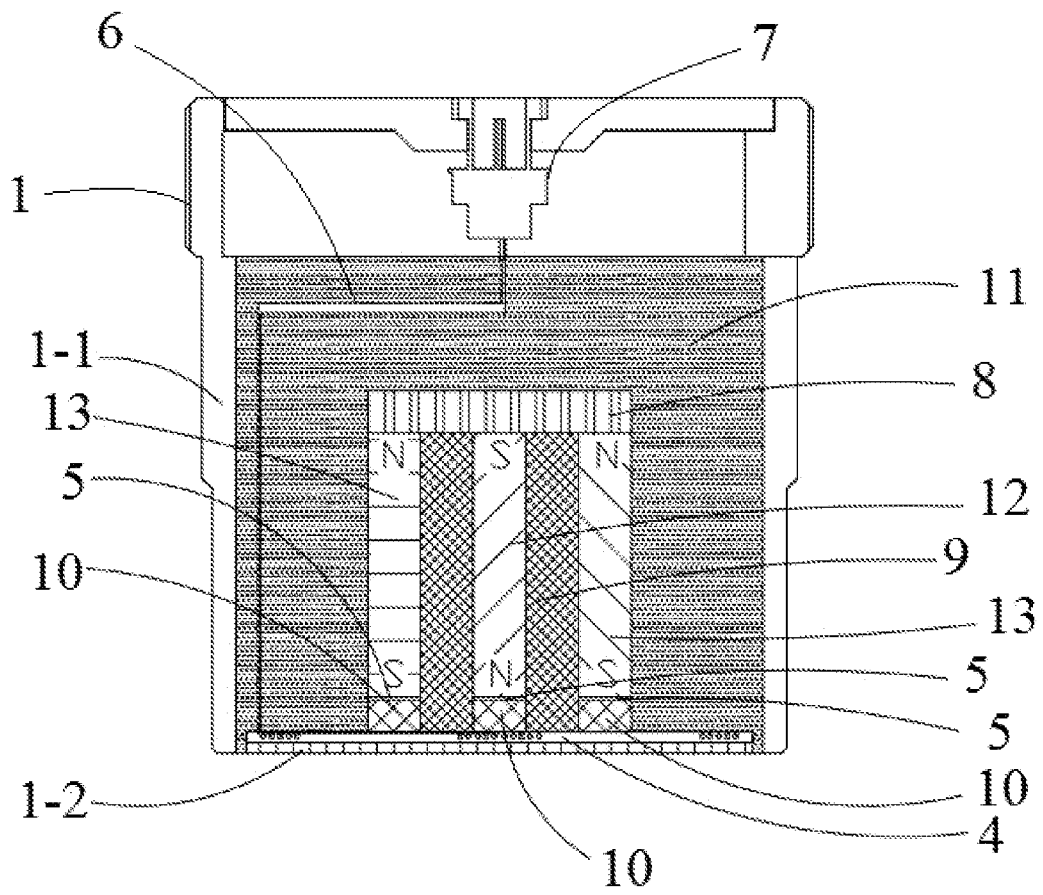


图 3

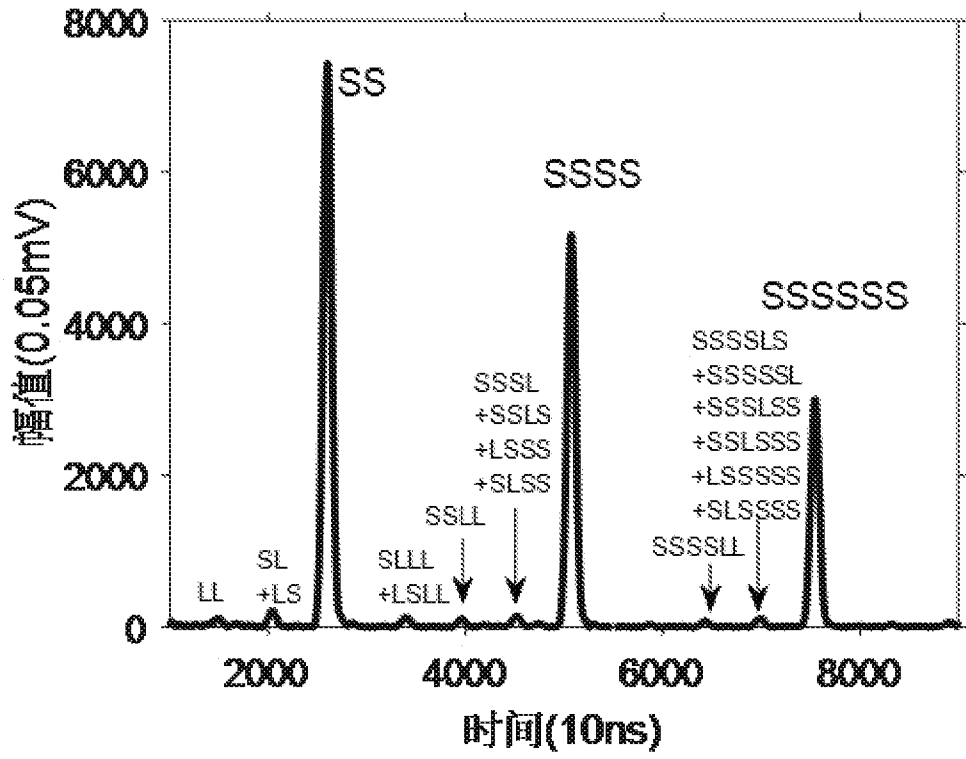


图 4

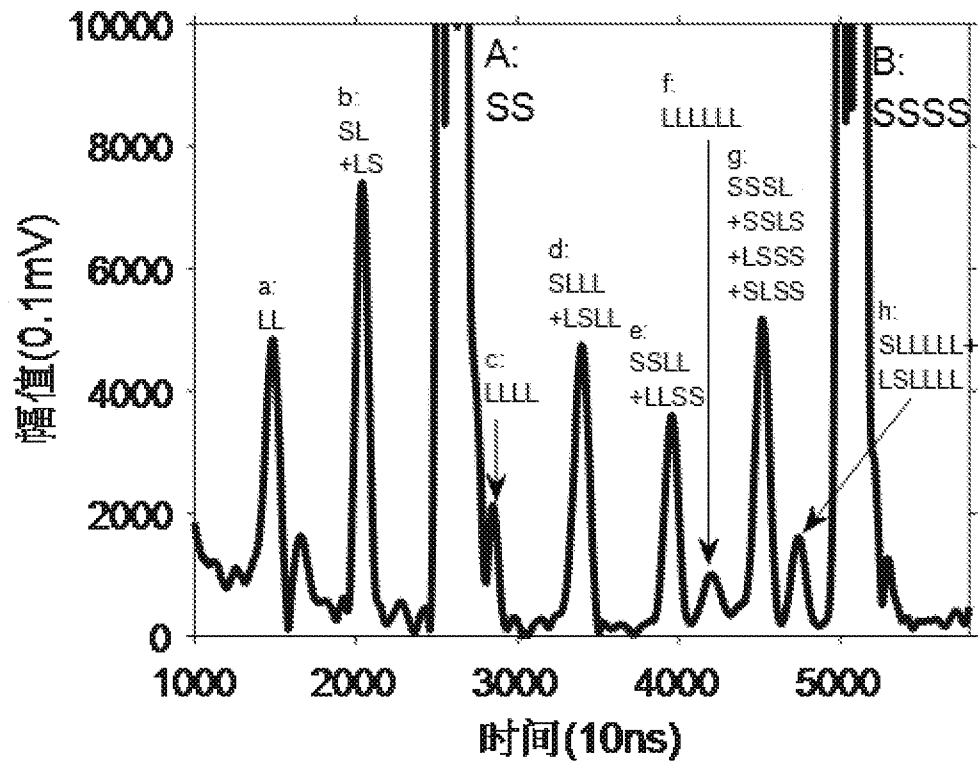


图 5

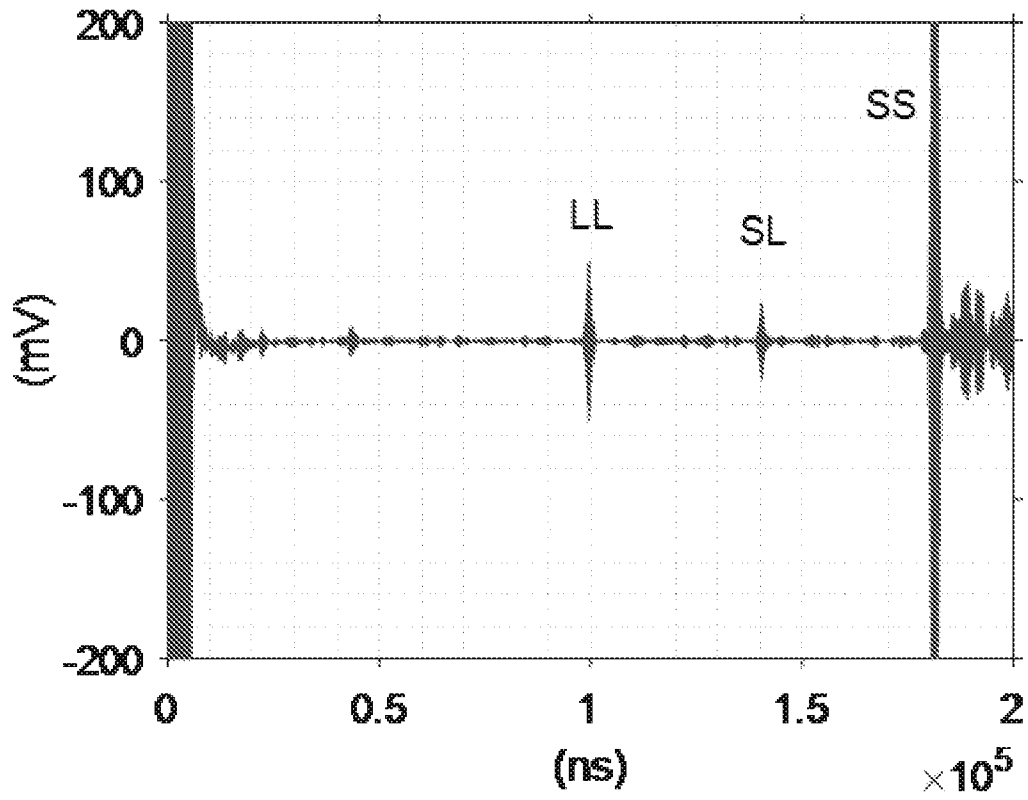


图 6

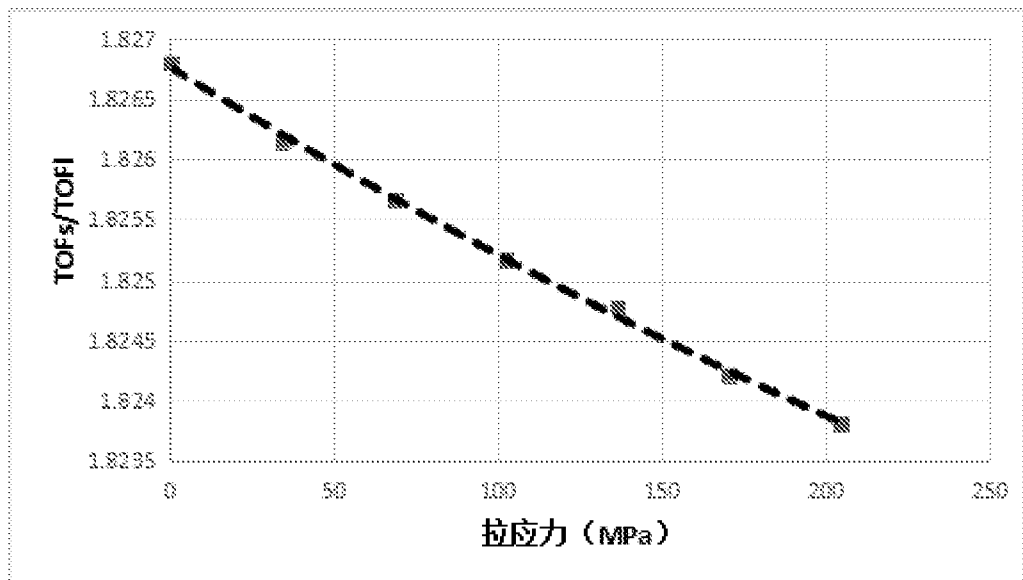


图 7

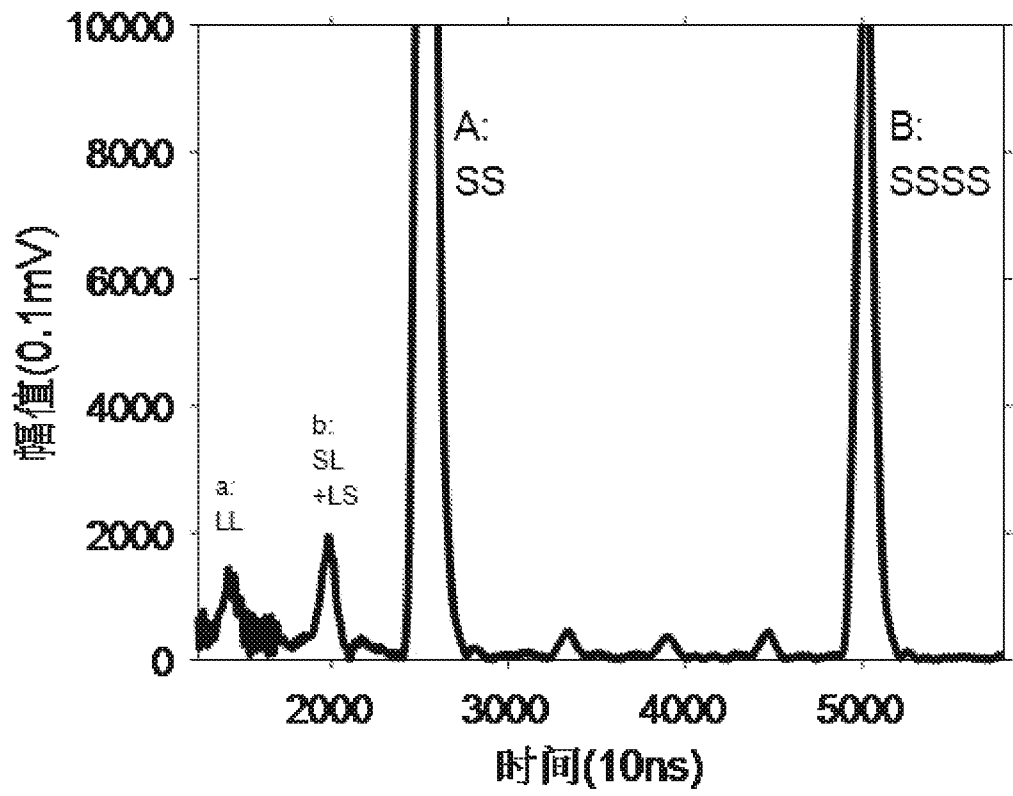


图 8

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/112179

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
G01N 29/24(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
G01N 29		
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; CNTXT; CNKI; VEN: 电磁超声, 电磁声, EMAT, 永磁, 磁体, 磁性, 磁铁, 铁磁, 第一, 第二, 内, 外, 线圈, 横波, 纵波, electromagnetic acoustic transducer, ultrasound, ultrasonic+, magnet, first, second, inner, outer, coil?, shear wave?, transverse wave?, longitudinal wave		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 104820024 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 05 August 2015 (2015-08-05) description, paragraphs [0027]-[0031], and figure 1	1-5
Y	JP 2000146923 A (NIPPON KOKAN KK) 26 May 2000 (2000-05-26) description, paragraphs [0019] and [0030], and figure 10	6-10
Y	CN 105675728 A (CHINA SPECIAL EQUIPMENT INSPECTION AND RESEARCH INSTITUTE) 15 June 2016 (2016-06-15) description, paragraphs [0035], [0045], and [0046], and figure 4	1-10
Y	CN 107206424 A (IMPERIAL INNOVATIONS LTD.) 26 September 2017 (2017-09-26) description, paragraphs [0067]-[0069], and figures 8A-8C	8
Y	CN 107064311 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 18 August 2017 (2017-08-18) description, paragraphs [0039]-[0047], and figures 1-3	1-5
Y	JP 2014102157 A (TOSHIBA CORP.) 05 June 2014 (2014-06-05) description, paragraphs [0012]-[0030], and figures 1-5	1-5
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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		Date of mailing of the international search report
16 April 2019		22 April 2019
Name and mailing address of the ISA/CN		Authorized officer
National Intellectual Property Administration, PRC (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088 China		
Facsimile No. (86-10)62019451		Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/112179

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108375433 A (BEIJING JINFENG HUINENG TECHNOLOGY CO., LTD.) 07 August 2018 (2018-08-07) entire document	1-10
A	CN 204854670 U (HENG YANG RAMON SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD.) 09 December 2015 (2015-12-09) entire document	1-10
A	US 2017299554 A1 (QUEST INTEGRATED LLC) 19 October 2017 (2017-10-19) entire document	1-10
A	JP 2010025812 A (JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY) 04 February 2010 (2010-02-04) entire document	1-10

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2018/112179**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	104820024	A	05 August 2015	CN	104820024	B	13 October 2017
JP	2000146923	A	26 May 2000	None			
CN	105675728	A	15 June 2016	None			
CN	107206424	A	26 September 2017	KR	20170070166	A	21 June 2017
				SG	11201703043S	A	30 May 2017
				MX	2017005428	A	28 August 2017
				GB	201419219	D0	10 December 2014
				BR	112017008819	A2	27 March 2018
				AU	2015340346	A1	27 April 2017
				JP	2017534066	A	16 November 2017
				CA	2964314	A1	06 May 2016
				GB	2531835	A	04 May 2016
				WO	2016066997	A1	06 May 2016
				US	2017333946	A1	23 November 2017
				EP	3213063	A1	06 September 2017
				GB	201507388	D0	17 June 2015
				EA	201790815	A1	31 October 2017
CN	107064311	A	18 August 2017	None			
JP	2014102157	A	05 June 2014	JP	6071461	B2	01 February 2017
CN	108375433	A	07 August 2018	None			
CN	204854670	U	09 December 2015	None			
US	2017299554	A1	19 October 2017	None			
JP	2010025812	A	04 February 2010	JP	5110591	B2	26 December 2012

<p><b>A. 主题的分类</b> G01N 29/24 (2006.01) i</p> <p>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</p>																										
<p><b>B. 检索领域</b></p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G01N 29</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>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;CNTXT;CNKI;VEN:电磁超声, 电磁声, EMAT, 永磁, 磁体, 磁性, 磁铁, 铁磁, 第一, 第二, 内, 外, 线圈, 横波, 纵波, electromagnetic acoustic transducer, ultrasound, ultrasonic+, magnet, first, second, inner, outer, coil?, shear wave?, transverse wave?, longitudinal wave</p>																										
<p><b>C. 相关文件</b></p> <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 104820024 A (北京工业大学) 2015年 8月 5日 (2015 - 08 - 05) 说明书第[0027]-[0031]段, 图1</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2000146923 A (NIPPON KOKAN KK) 2000年 5月 26日 (2000 - 05 - 26) 说明书第[0019]、[0030]段, 图10</td> <td>6-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 105675728 A (中国特种设备检测研究院) 2016年 6月 15日 (2016 - 06 - 15) 说明书第[0035]、[0045]、[0046]段, 图4</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 107206424 A (永感有限公司) 2017年 9月 26日 (2017 - 09 - 26) 说明书第[0067]-[0069]段, 图8A-8C</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 107064311 A (哈尔滨工业大学) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18) 说明书第[0039]-[0047]段, 图1-3</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2014102157 A (TOSHIBA CORP) 2014年 6月 5日 (2014 - 06 - 05) 说明书第[0012]-[0030]段, 图1-5</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108375433 A (北京金风慧能技术有限公司) 2018年 8月 7日 (2018 - 08 - 07) 全文</td> <td>1-10</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 104820024 A (北京工业大学) 2015年 8月 5日 (2015 - 08 - 05) 说明书第[0027]-[0031]段, 图1	1-5	Y	JP 2000146923 A (NIPPON KOKAN KK) 2000年 5月 26日 (2000 - 05 - 26) 说明书第[0019]、[0030]段, 图10	6-10	Y	CN 105675728 A (中国特种设备检测研究院) 2016年 6月 15日 (2016 - 06 - 15) 说明书第[0035]、[0045]、[0046]段, 图4	1-10	Y	CN 107206424 A (永感有限公司) 2017年 9月 26日 (2017 - 09 - 26) 说明书第[0067]-[0069]段, 图8A-8C	8	Y	CN 107064311 A (哈尔滨工业大学) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18) 说明书第[0039]-[0047]段, 图1-3	1-5	Y	JP 2014102157 A (TOSHIBA CORP) 2014年 6月 5日 (2014 - 06 - 05) 说明书第[0012]-[0030]段, 图1-5	1-5	A	CN 108375433 A (北京金风慧能技术有限公司) 2018年 8月 7日 (2018 - 08 - 07) 全文	1-10
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
Y	CN 104820024 A (北京工业大学) 2015年 8月 5日 (2015 - 08 - 05) 说明书第[0027]-[0031]段, 图1	1-5																								
Y	JP 2000146923 A (NIPPON KOKAN KK) 2000年 5月 26日 (2000 - 05 - 26) 说明书第[0019]、[0030]段, 图10	6-10																								
Y	CN 105675728 A (中国特种设备检测研究院) 2016年 6月 15日 (2016 - 06 - 15) 说明书第[0035]、[0045]、[0046]段, 图4	1-10																								
Y	CN 107206424 A (永感有限公司) 2017年 9月 26日 (2017 - 09 - 26) 说明书第[0067]-[0069]段, 图8A-8C	8																								
Y	CN 107064311 A (哈尔滨工业大学) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18) 说明书第[0039]-[0047]段, 图1-3	1-5																								
Y	JP 2014102157 A (TOSHIBA CORP) 2014年 6月 5日 (2014 - 06 - 05) 说明书第[0012]-[0030]段, 图1-5	1-5																								
A	CN 108375433 A (北京金风慧能技术有限公司) 2018年 8月 7日 (2018 - 08 - 07) 全文	1-10																								
<p><input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>																										
<p>* 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</p> <p>“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 “&amp;” 同族专利的文件</p>																										
国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期																									
2019年 4月 16日	2019年 4月 22日																									
ISA/CN的名称和邮寄地址	授权官员																									
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	柳瑾																									
传真号 (86-10)62019451	电话号码 62089304																									

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
A	CN 204854670 U (衡阳镭目科技有限责任公司) 2015年 12月 9日 (2015 - 12 - 09) 全文	1-10
A	US 2017299554 A1 (QUEST INTEGRATED LLC) 2017年 10月 19日 (2017 - 10 - 19) 全文	1-10
A	JP 2010025812 A (JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY) 2010年 2月 4日 (2010 - 02 - 04) 全文	1-10

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/112179

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	104820024	A	2015年 8月 5日	CN 104820024 B	2017年 10月 13日
JP	2000146923	A	2000年 5月 26日	无	
CN	105675728	A	2016年 6月 15日	无	
CN	107206424	A	2017年 9月 26日	KR 20170070166 A	2017年 6月 21日
				SG 11201703043S A	2017年 5月 30日
				MX 2017005428 A	2017年 8月 28日
				GB 201419219 D0	2014年 12月 10日
				BR 112017008819 A2	2018年 3月 27日
				AU 2015340346 A1	2017年 4月 27日
				JP 2017534066 A	2017年 11月 16日
				CA 2964314 A1	2016年 5月 6日
				GB 2531835 A	2016年 5月 4日
				WO 2016066997 A1	2016年 5月 6日
				US 2017333946 A1	2017年 11月 23日
				EP 3213063 A1	2017年 9月 6日
				GB 201507388 D0	2015年 6月 17日
				EA 201790815 A1	2017年 10月 31日
CN	107064311	A	2017年 8月 18日	无	
JP	2014102157	A	2014年 6月 5日	JP 6071461 B2	2017年 2月 1日
CN	108375433	A	2018年 8月 7日	无	
CN	204854670	U	2015年 12月 9日	无	
US	2017299554	A1	2017年 10月 19日	无	
JP	2010025812	A	2010年 2月 4日	JP 5110591 B2	2012年 12月 26日