



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109470774 B

(45)授权公告日 2020.02.21

(21)申请号 201811610146.2

G01N 29/04(2006.01)

(22)申请日 2018.12.27

审查员 杨涛

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109470774 A

(43)申请公布日 2019.03.15

(73)专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园

(72)发明人 黄松岭 孙洪宇 王坤 赵伟

黄紫靖

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事

务所(普通合伙) 11201

代理人 张润

(51)Int.Cl.

G01N 29/34(2006.01)

G01N 29/22(2006.01)

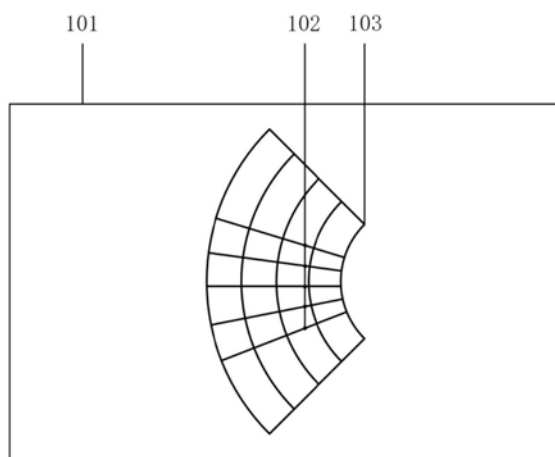
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器

(57)摘要

本发明公开了一种基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,包括:扇形周期性永磁体、栅格线圈和被测铝板;其中,扇形周期性永磁体为极性交错排列且间距固定的扇形结构;栅格线圈为电流方向与线圈密绕方向共心同向的结构,栅格线圈缠绕在扇形周期性永磁体上;被测铝板位于扇形周期性永磁体和栅格线圈正下方。该超声导波聚焦换能器采用新型换能器结构,使有限的超声能量在某个感兴趣的特定位置进行信号聚焦,进而精确的提取测量信号并分析缺陷情况,实现对铝板表面缺陷进行高效探查、灵敏检测的目的。



1. 一种基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,其特征在于,包括:扇形周期性永磁体、栅格线圈和被测铝板;其中,

所述扇形周期性永磁体为极性交错排列且间距固定的扇形结构,组成所述扇形周期性永磁体的每个磁体的磁化强度相同;

所述扇形周期性永磁体的磁化方向为所述被测铝板表面法线方向,垂直于所述被测铝板的表面;

所述栅格线圈为电流方向与线圈密绕方向共心同向的结构,所述栅格线圈缠绕在所述扇形周期性永磁体上;

所述被测铝板位于所述扇形周期性永磁体和所述栅格线圈正下方。

2. 根据权利要求1所述的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,其特征在于,所述扇形周期性永磁体的半径为所述扇形周期性永磁体内外边缘到扇形中心的距离差。

3. 根据权利要求1所述的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,其特征在于,所有位于所述扇形周期性永磁体正下方的所述栅格线圈长度等于所述扇形周期性永磁体的半径。

4. 根据权利要求1所述的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,其特征在于,还包括:

超声导波聚焦换能器的发射端和超声导波聚焦换能器的接收端。

5. 根据权利要求4所述的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,其特征在于,还包括:

测量装置,所述测量装置包括:脉冲电源发生器与接收器、导线、示波器和匹配电阻。

6. 根据权利要求5所述的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,其特征在于,所述扇形周期性永磁体的扇形结构中心为聚焦点,在所述聚焦点位置设置所述超声导波聚焦换能器的发射端,所述超声导波聚焦换能器的发射端的输出端与所述示波器的输入端相连。

7. 根据权利要求1所述的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,其特征在于,所述扇形周期性永磁体相邻磁极的间距为所激发导波的半波长。

8. 根据权利要求1所述的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,其特征在于,还包括:

屏蔽罩。

## 基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无损检测技术领域,特别涉及一种基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器。

### 背景技术

[0002] 金属板材在工业生产中应用十分广泛,也是构成多种重要工业设施的重要结构。然而,这些设备中的金属板材在长期运行过程中,介质腐蚀、材料老化、地质灾害、外力冲击及意外事故等不可避免会使其产生缺陷。若未及时进行检测修复,会对这些设备的安全稳定运行造成极大的负面影响,极易导致介质泄漏,甚至引起火灾和爆炸,造成严重的环境污染、经济损失甚至人员伤亡。为了及时发现金属板材中存在的缺陷,并采取措施避免事故的发生,维护其安全稳定运行,需要按时对金属板材等结构件进行检测,这对于确保人民生命财产安全、保证正常的工业生产生活具有重大意义。

[0003] 工业在役金属板的在线检测方法主要包括涡流检测、漏磁检测及超声检测等,但每种方法都有自身的适用范围及局限性。涡流检测和漏磁检测由于原理上的特点,难以有效检测出材料内部的微小裂纹;超声检测技术具有穿透能力强、缺陷定位准确度高、灵敏度高、检测速度快等优点,但常规超声体波逐点扫描的工作方式难以对大规模金属板构件进行检测,而且对多种服役环境探头无法直接接触到的金属板构件更是束手无策。超声体波在金属板等波导中传播时,受波导边界束缚并经过复杂的反射、干涉及波型转换,可形成沿波导延伸方向传播的超声导波。超声导波具有衰减小、传播距离远、声场100%覆盖构件厚度、易于调节导波模态等特点,可实现单端激励、长距离检测以及复杂结构和服役环境金属板构件的持续监测,从而能极大提高检测效率,具有广阔的应用前景。

[0004] 在对金属板材尤指铝板缺陷检测的现有技术中,一般需要利用压电超声换能器激发超声波振动,并依托耦合剂将超声波振动传播到金属板材内部,从而实现超声导波检测。但是,基于压电超声换能器的超声导波检测技术由于压电换能原理的限制,需要依托耦合剂将超声波振动耦合到待测金属板内,因此很难适用于具有非接触要求及高温等特殊工况下的检测。电磁超声换能器(EMAT, Electromagnetic Acoustic Transducer)依赖于电磁耦合方式完成换能器线圈内的交变电流到被测材料内机械振动的能量转换,无需耦合介质,可以直接在金属板材内产生超声导波,并易于调节超声导波模式,可用于非接触及高温等特殊工况下的检测。因此,有必要采用电磁超声换能器作为铝板缺陷超声导波检测的激励源和接收器,从而实现非液体耦合检测。目前基于全向收发与定向收发的SH导波电磁超声换能器在实际金属板材缺陷检测中得到广泛的应用,但是由于EMAT固有的低能量转换效率,在缺陷识别与信号提取方面仍然存在较大问题,因此需要急需一种能量聚焦电磁超声换能器来改进缺陷检测方法并提高检测效率。

### 发明内容

[0005] 本发明旨在至少在在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。

[0006] 为此,本发明的一个目的在于提出一种基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,该超声导波聚焦换能器采用新型换能器结构,使有限的超声能量在某个感兴趣的特定位置进行信号聚焦,进而精确的提取测量信号并分析缺陷情况,实现对铝板表面缺陷进行高效探查、灵敏检测的目的。

[0007] 为达到上述目的,本发明实施例提出了一种基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,包括:扇形周期性永磁体、栅格线圈和被测铝板;其中,所述扇形周期性永磁体为极性交错排列且间距固定的扇形结构;所述栅格线圈为电流方向与线圈密绕方向共心同向的结构,所述栅格线圈缠绕在所述扇形周期性永磁体上;所述被测铝板位于所述扇形周期性永磁体和所述栅格线圈正下方。

[0008] 本发明实施例的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,通过简单的换能器结构设计,使有限的超声能量在某个感兴趣的特定位置进行信号聚焦,提高信号的强度与检测的精度,进而为不同类型缺陷的检测与识别提供了可靠的信息,并通过对周期性永磁体与线圈的合理布置来达到聚焦超声信号并检测识别缺陷的目的。

[0009] 另外,根据本发明上述实施例的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器还可以具有以下附加的技术特征:

[0010] 进一步地,在本发明的一个实施例中,所述扇形周期性永磁体的磁化方向为所述被测铝板表面法线方向,垂直于所述被测铝板的表面,并且组成所述扇形周期性永磁体的每个磁体的磁化强度相同。

[0011] 进一步地,在本发明的一个实施例中,所述扇形周期性永磁体的半径为所述扇形周期性永磁体内外边缘到扇形中心的距离差。

[0012] 进一步地,在本发明的一个实施例中,所有位于所述扇形周期性永磁体正下方的所述栅格线圈长度等于所述扇形周期性永磁体的半径。

[0013] 进一步地,在本发明的一个实施例中,还包括:超声导波聚焦换能器的发射端和超声导波聚焦换能器的接收端。

[0014] 进一步地,在本发明的一个实施例中,还包括:测量装置,所述测量装置包括:脉冲电源发生器与接收器、导线、示波器和匹配电阻。

[0015] 进一步地,在本发明的一个实施例中,所述扇形周期性永磁体的扇形结构中心为聚焦点,在所述聚焦点位置设置所述超声导波聚焦换能器的发射端,所述超声导波聚焦换能器的发射端的输出端与所述示波器的输入端相连。

[0016] 进一步地,在本发明的一个实施例中,所述扇形周期性永磁体相邻磁极的间距为所激发导波的半波长。

[0017] 进一步地,在本发明的一个实施例中,还包括:屏蔽罩和/或法拉第笼。

[0018] 本发明附加的方面和优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本发明的实践了解到。

## 附图说明

[0019] 本发明上述的和/或附加的方面和优点从下面结合附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解,其中:

[0020] 图1为根据本发明一个实施例的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器结构示

意图；

[0021] 图2为根据本发明一个实施例的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器的整体装置结构示意图；

[0022] 图3为根据本发明一个实施例的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器的实验结果图。

### 具体实施方式

[0023] 下面详细描述本发明的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，旨在用于解释本发明，而不能理解为对本发明的限制。

[0024] 下面参照附图描述根据本发明实施例提出的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器。

[0025] 图1为根据本发明一个实施例的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器结构示意图。

[0026] 如图1所示，该基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器包括：被测铝板101、栅格线圈102和扇形周期性永磁体103。

[0027] 其中，扇形周期性永磁体为极性交错排列且间距固定的扇形结构；栅格线圈为电流方向与线圈密绕方向共心同向的结构，栅格线圈缠绕在扇形周期性永磁体上；被测铝板厚度均匀，被测铝板位于扇形周期性永磁体和栅格线圈正下方。该超声导波聚焦换能器采用新型换能器结构，使有限的超声能量在某个感兴趣的特定位置进行信号聚焦，进而精确的提取测量信号并分析缺陷情况，实现对铝板表面缺陷进行高效探查、灵敏检测的目的。

[0028] 需要说明的是，导波是由于声波在介质中的不连续交界面间产生多次往复反射，并进一步产生复杂的干涉和几何弥散而形成的。分为圆柱体中的导波以及板中的SH波、SV波、兰姆波(Lamb)和漏兰姆波，在本发明的实施例中，超声导波采用的是SH超声导波。

[0029] 进一步地，在本发明的一个实施例中，扇形周期性永磁体的磁化方向为被测铝板表面法线方向，垂直于被测铝板的表面，且扇形周期性永磁体的每个磁体的磁化强度相同。

[0030] 可选地，超声导波聚焦换能器放置于被测距铝板1mm-2mm高度处。

[0031] 可选地，扇形周期永磁体的剩余磁通密度为0.8T-1.5T。

[0032] 可以理解的是，永磁体的每个部分除了磁化方向是交错变化排列，其每个部分的磁化强度应保持相同，即1.21T以保证激发SH波的能量大小符合要求。并且，各个载流线圈的规格一致，包括材料、尺寸与适用范围。

[0033] 可选地，栅格线圈的截面积为 $0.2\text{mm}^2-0.5\text{mm}^2$ 。

[0034] 可选地，栅格线圈的匝数为10-100。

[0035] 可选地，栅格线圈的分段长度为6.4mm-80mm。

[0036] 可以理解的是，扇形周期性永磁体是沿着铝板表面的法线方向磁化的，即其正下方的磁感线方向均垂直于铝板表面。

[0037] 进一步地，在本发明的一个实施例中，扇形周期性永磁体所处位置平行于铝板表面，其半径大小与聚焦点位置有关，扇形周期性永磁体的半径为扇形周期性永磁体内外边缘到扇形中心的距离差。

- [0038] 可选地,扇形周期永磁体的扇形半径为10mm-100mm。
- [0039] 可选地,扇形周期永磁体的各磁极的间距为1.6mm-3.2mm。
- [0040] 可选地,栅格线圈的截面积为 $0.2\text{mm}^2-0.5\text{mm}^2$ 。
- [0041] 可选地,栅格线圈的匝数为10-100。
- [0042] 可选地,栅格线圈的分段长度为6.4mm-80mm。
- [0043] 进一步地,在本发明的一个实施例中,所有位于扇形周期性永磁体正下方的栅格线圈长度等于扇形周期性永磁体的半径。
- [0044] 其中,栅格线圈的各个线圈的方向均指向聚焦点,且电流的相位与幅值一致,相邻线圈所成角度也保持一致,载流线圈的密绕方向保持一致并具有同一个激励源。
- [0045] 进一步地,在本发明的实施例中,被测铝板的厚度均匀且材料一致,铝板的中心位置位于于发射换能器和接收换能器的中点上。其中,具体包括:铝板要与整个换能器组合呈对称放置,以避免铝板边界的反射和衍射波带来的信号不对称影响;被测铝板表面除人工缺陷以外不得有其它缺陷,被测铝板表面除换能器外无任何超声耦合介质与其它装置;SH超声导波聚焦换能器与铝板均应水平放置,以实现导波的激发与传播;铝板需要被良好固定以避免外界振动带来的测量误差。
- [0046] 进一步地,在本发明的一个实施例中,还包括:超声导波聚焦换能器的发射端和超声导波聚焦换能器的接收端。
- [0047] 进一步地,在本发明的一个实施例中,还包括:测量装置,测量装置包括:脉冲电源发生器与接收器、导线、示波器和匹配电阻。
- [0048] 可选的,匹配电阻的阻值为 $100\ \Omega-150\ \Omega$ 。
- [0049] 可选的,电阻的阻值范围为 $0.1\text{M}\ \Omega-200\text{M}\ \Omega$ 。
- [0050] 可选的,导线的截面积为 $0.5\text{mm}^2-1\text{mm}^2$ 。
- [0051] 进一步地,在本发明的实施例中,SH超声导波聚焦换能器与铝板之间通过空气或绝缘材料隔开。其中,绝缘材料可以为聚酰亚胺薄膜或者其他绝缘材料。
- [0052] 进一步地,在本发明的一个实施例中,扇形周期性永磁体的扇形结构中心为聚焦点,在聚焦点位置设置SH超声导波聚焦换能器的发射端,SH超声导波聚焦换能器的发射端的输出端与示波器的输入端相连。其中,连接匹配电阻的阻值为 $150\ \Omega$ 。
- [0053] 可以理解的是,为测量聚焦信号强度,在聚焦点位置设置同样结构的换能器,并通过示波器显示出来。
- [0054] 进一步地,在本发明的一个实施例中,扇形周期性永磁体相邻磁极的间距为所激发SH导波的半波长。
- [0055] 进一步地,在本发明的一个实施例中,还包括:一个屏蔽罩或法拉第笼,用以屏蔽空间电磁场的干扰和环境因素的影响。
- [0056] 如图2所示,脉冲电源发生器与接收器201和通过脉冲电流输出端207经过匹配电阻202与SH超声导波电磁超声换能器的发射端203相连,用于激发产生并传播SH超声导波;脉冲电源发生器与接收器201和通过脉冲电流测量端206经过匹配电阻202与SH超声导波电磁超声换能器的接收端204相连,用于激发产生并传播SH超声导波;为了将脉冲电源设备201采集到的电流信号显示出来,则通过示波器205的连接来实现这个直观显示信号的功能。

[0057] 图3为本发明实施例采用传统与新型SH超声导波聚焦换能器在实际铝板上的测量结果。传统平行线圈SH导波换能器产生的铝板表面中线沿导波传播方向的信号幅值大小分布(图3中301所示)与新型扇形永磁体SH超声导波换能器的结果分布(图3中302所示)进行了对比。

[0058] 另外,本发明的实施例与现有传感器相比,可以在一定程度上提高检测效率并减小漏检率。由于传统的电磁超声换能器能量转换效率很低,因此将超声导波能量聚焦到关注的特定位置是一种非常有效的检测手段,在工业金属板材缺陷检测中发挥重要作用。

[0059] 为了验证本发明提供的SH超声导波聚焦换能器能够聚焦超声波的信号能量,进而提高信号的强度与检测的精度,现用以下实施例来证明:

[0060] 由于是对铝板进行检测,因此,铝板的长、宽、厚为 $200 \times 100 \times 1\text{mm}$ ;扇形周期性永磁体相邻磁极的间距固定为半波长 $1.6\text{mm}$ (实施例中横波波速 $3.2\text{km/s}$ 且交流电流频率为 $1\text{MHz}$ );在扇形周期性永磁体表面密绕的栅格线圈孔径角为 $30^\circ$ ;聚焦半径为 $20\text{mm}$ ;根据前文,换能器的提离值为 $1\text{mm}$ ;为体现出信号的聚焦效果,对同等条件下的传统平行式非聚焦SH导波换能器进行了测试。

[0061] 本发明实施例提出的新型换能器在铝板表面中线沿导波传播方向的信号幅值大小分布明显具有很大的优势(省略的横坐标表示导波传播方向,纵坐标表示归一化幅值)。

[0062] 从图3中可以发现,本发明实施例提出的新型SH导波聚焦换能器在聚焦方面具有到对于传统换能器无可比拟的优势。与传统的EMAT相比,新设计的EMAT在检测方面具有很大的优势。

[0063] 结果表明,聚焦EMAT聚焦侧的信号强度比发散侧的信号强度高 $230.23\%$ 。并且传统EMAT焦点处的信号强度增加了 $52.72\%$ ,这证明了大部分导波能量确实集中在某一点。因此,本发明实施例证明了本发明提供一种适用于铝板缺陷检测的SH超声导波聚焦换能器,能够有效地聚焦超声波的信号能量,进而提高信号的强度与检测的精度。

[0064] 根据本发明实施例提出的基于铝板缺陷检测的超声导波聚焦换能器,通过简单的换能器结构设计,使有限的超声能量在某个感兴趣的特定位置进行信号聚焦,提高信号的强度与检测的精度,进而为不同类型缺陷的检测与识别提供了可靠的信息,并通过对周期性永磁体与线圈的合理布置来达到聚焦超声信号并检测识别缺陷的目的。

[0065] 此外,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中,“多个”的含义是至少两个,例如两个,三个等,除非另有明确具体的限定。

[0066] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0067] 尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例,可以理解的是,上述实施例是示例

性的,不能理解为对本发明的限制,本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。



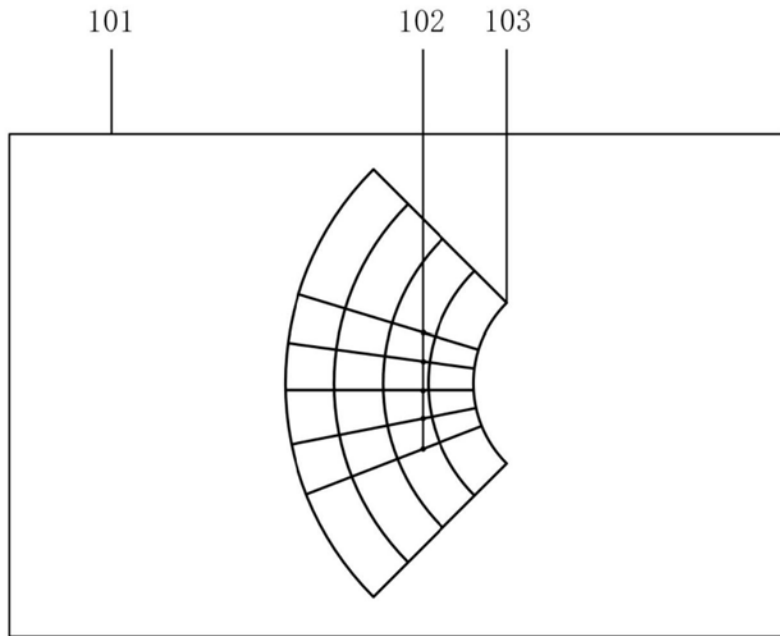


图1

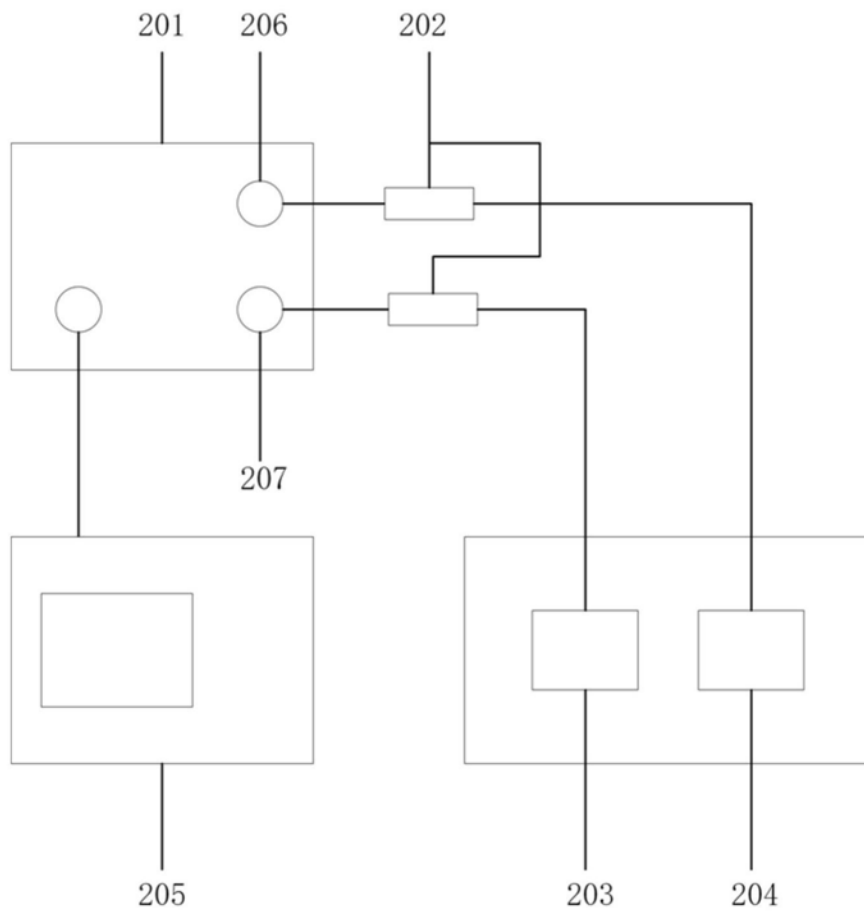


图2

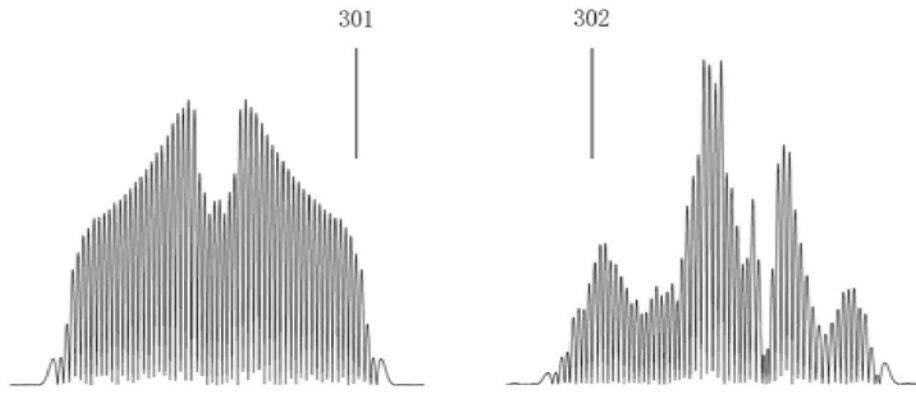


图3