(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107561160 A
(43)申请公布日 2018.01.09

(21)申请号 201710774415.8

(22)申请日 2017.08.31

(71)申请人 西北大学
地址 710069 陕西省西安市碑林区太白北路229号

(72)发明人 乔学光 王若晖 张雯露

(74)专利代理机构 西安西达专利代理有限责任公司 61202
代理人 刘华

(51)Int.Cl.
G01N 29/06(2006.01)
G01S 15/89(2006.01)
G01H 9/00(2006.01)

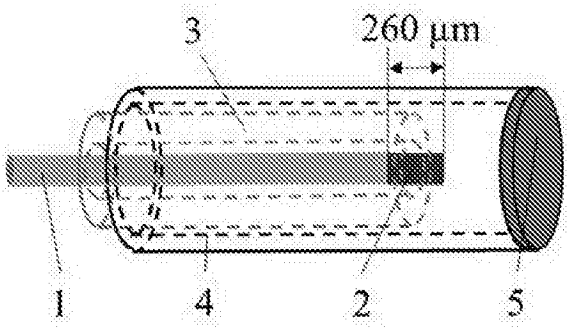
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器

(57)摘要

一种基于聚四氟乙烯(PTFE)薄膜的高信噪比光纤超声传感器,包括标准单模光纤,在标准单模光纤一端熔接一段渐变折射率多模光纤构成光纤准直器,光纤准直器端面与PTFE薄膜构成F-P干涉仪的两个反射面,PTFE薄膜作为超声波的响应介质,粘贴PTFE薄膜于铝管一端,铝管内部设有机玻璃管,移动部位使用AB胶固定,本发明体积小、成本低、制作简便,具有优良的超声响应、信噪比高,将本发明应用于地震物理模型扫描成像可以清晰分辨多层模型结构并重建模型超声图像,表明其具有应用于结构健康监测、生物医疗等技术领域的潜能,由于本发明具有较高的耐温耐腐蚀性能使其亦可应用于高温超声探伤等恶劣环境下。



CN 107561160 A

1.一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器，包括标准单模光纤(1)，其特征在于，在标准单模光纤(1)一端熔接一段渐变折射率多模光纤(2)构成光纤准直器，光纤准直器端面与PTFE薄膜(5)构成F-P干涉仪的两个反射面，PTFE薄膜作为超声波的响应介质，粘贴PTFE薄膜(5)于铝管(4)一端，铝管(4)内部设有机玻璃管(3)。

2.按照权利要求1所述的一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器，其特征在于，所述的有机玻璃管(3)端面距PTFE薄膜(5)不少于3mm，光纤准直器穿入有机玻璃管(3)，移动部位使用AB胶固定。

3.按照权利要求1所述的一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器，其特征在于，所述的渐变折射率多模光纤(2)长度为260μm。

4.按照权利要求1所述的一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器，其特征在于，所述的PTFE薄膜(5)的直径为2.2~2.5mm、厚度为30μm。

5.按照权利要求1所述的一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器，其特征在于，所述的有机玻璃管(3)长度为2cm、内外直径分别为0.4mm和1.6mm。

6.按照权利要求1所述的一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器，其特征在于，所述的铝管(4)长度为2cm、内直径为2mm。

7.一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器的制造方法，其特征在于，包括以下步骤：

首先在标准单模光纤(1)一端熔接一段260μm长的渐变折射率多模光纤(2)构成光纤准直器，然后在内径为2mm、长度为2cm的铝管(4)一端使用T530胶粘贴30μm厚的PTFE薄膜(5)，接着取一内外直径分别为0.4mm和1.6mm、长度为2cm的有机玻璃管(3)穿入铝管(4)，有机玻璃管(3)端面距PTFE薄膜(5)不少于3mm并使用AB胶固定其移动部位，最后将光纤准直器穿入有机玻璃管(3)并分别将光纤准直器和铝管(5)夹持在水平位移台两边，通过千分尺控制水平位移台移动以调整PTFE薄膜(5)与光纤准直器端面距离，同时使用光纤光栅解调仪实时观察干涉光谱直到获得一个合适的谱线后使用AB胶将标准单模光纤(1)与有机玻璃管(3)的移动部位固定，制作完成。

一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器

技术领域

[0001] 本发明属于光纤传感器技术领域，具体涉及一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器。

背景技术

[0002] 基于薄膜的光纤法布里-珀罗超声传感器的基本传感原理是超声波作用于薄膜引起薄膜振动和薄膜厚度变化，导致F-P腔长变化进而使F-P干涉光谱的斜边漂移，通过检测光谱斜边的漂移量可得知超声波的幅值。传统的压电陶瓷换能器(PZT)具有以下缺点：其材料会在高温强腐蚀环境下损坏，极易受到环境电磁场干扰，不适宜在大型机电设备等强电磁场恶劣环境中工作；仅对特定窄频带的超声信号灵敏响应；其灵敏度会随着换能器体积的减小而变弱且受电容影响较大；接收信号随着发射源与接收器的距离增加会展宽导致信号失真；复用性差，多通道实时监测系统复杂，进一步制约了其使用。光纤超声传感器相较于PZT，对微弱高频超声波响应灵敏度高，可检测最小信号比传统检波器低1个数量级；动态范围宽，可达120-140 dB；可以进行多点复用、多通道同步检测；并且其结构灵巧、制作相对简单、成本低，抗电磁干扰、能长时间在恶劣环境中使用。因此，光纤超声传感器引起了人们的广泛关注和极大兴趣，具有重要的学术研究价值和市场应用前景。

[0003] 信噪比和传感器耐高温、耐腐蚀能力是超声传感器长期稳定使用的重要指标。信噪比决定了传感器的超声响应能力大小和超声成像的信息可识别度，优良的耐高温、耐腐蚀能力可以使传感器在恶劣环境中长期稳定操作，有效扩展了其应用范围。对光纤F-P超声传感器而言，更大的光谱边带斜率可获得更高的超声响应灵敏度，进而得到更大的信噪比。光谱边带斜率可通过增大腔长减小自由光谱范围来提高，但与此同时，干涉腔中更大的光损耗降低了干涉谱的消光比，F-P干射谱的自由光谱范围与消光比的矛盾关系决定着其边带斜率的大小。再者，基于薄膜的光纤F-P超声传感器结构简单，可以更好地耦合超声波，得到了广泛的研究应用，此种结构的传感器由于采用了其它薄膜材料，因此所选薄膜材料的性能直接决定着传感器的整体性能。2009年，Morris P等人设计了一种由聚对二甲苯层两边镀金膜置于单模光纤端面构成的F-P超声水听器；2013年，Wonuk Jo制作了一种基于光子晶体薄膜的光纤声波传感器，Ma等人提出了一种基于多层石墨烯薄膜的光纤声波传感器；2014年，Xu F等人设计了一种基于银膜的光纤声压传感器；但对于这些材料的薄膜，制备工艺复杂、成本高，较低的化学稳定性和耐温性限制了其无法在恶劣环境下长期使用，并且较高的杨氏模量降低了其声响应幅度。

发明内容

[0004] 为了克服上述现有技术的不足，克服上述基于薄膜材料的光纤F-P声传感器的缺点，提供一种设计合理、结构简单、具有较高信噪比并能够长期工作于恶劣环境的基于光纤准直器和功能化薄膜的光纤法布里-珀罗超声传感器。

[0005] 为了实现上述目的，本发明采用的技术方案是：

一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器，包括标准单模光纤，在标准单模光纤一端熔接一段渐变折射率多模光纤构成光纤准直器，光纤准直器端面与PTFE薄膜构成F-P干涉仪的两个反射面，PTFE薄膜作为超声波的响应介质，粘贴PTFE薄膜于铝管一端，铝管内部设有机玻璃管。

[0006] 所述的有机玻璃管端面距PTFE薄膜不少于3mm，光纤准直器穿入有机玻璃管，移动部位使用AB胶固定。

[0007] 所述的渐变折射率多模光纤长度为260μm。

[0008] 所述的PTFE薄膜的直径为2.2~2.5mm、厚度为30μm。

[0009] 所述的有机玻璃管长度为2cm、内外直径分别为0.4mm和1.6mm。

[0010] 所述的铝管长度为2cm、内直径为2mm。

[0011] 一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器的制造方法，其特征在于，包括以下步骤：

首先在标准单模光纤一端熔接一段260μm长的渐变折射率多模光纤构成光纤准直器，然后在内径为2mm、长度为2cm的铝管一端使用T530胶粘贴30μm厚的PTFE薄膜，接着取一内外直径分别为0.4mm和1.6mm、长度为2cm的有机玻璃管穿入铝管，有机玻璃管端面距PTFE薄膜不少于3mm并使用AB胶固定其移动部位，最后将光纤准直器穿入有机玻璃管并分别将光纤准直器和铝管夹持在水平位移台两边，通过千分尺控制水平位移台移动以调整PTFE薄膜与光纤准直器端面距离，同时使用光纤光栅解调仪实时观察干涉光谱直到获得一个合适的谱线后使用AB胶将标准单模光纤与有机玻璃管的移动部位固定，制作完成。

[0012] 本发明的有益效果是：

本发明由光纤准直器和PTFE薄膜构成F-P干涉仪。通过在标准单模光纤一端熔接一段260μm长的渐变折射率多模光纤构成光纤准直器，则可以获得较小自由光谱范围的同时得到更大的消光比，极大地提高了光谱的边带斜率，在使用边缘滤波法进行超声信号解调时极大的提高了传感器的超声响应幅度；再者，采用30μm厚的PTFE薄膜材料作为超声波响应介质，PTFE能够在 -196～260℃ 的较广温度范围内保持优良的力学性能；能够耐强酸强碱、水和各种有机溶剂，具有极强的耐腐蚀能力；在塑料材料中拥有最佳的老化寿命，具有极强的耐气候能力；电绝缘、无毒害；并且其杨氏模量(1.14~1.42 GPa)和聚合物材料(4~5 GPa)、二氧化硅(70GPa)、金属材料(几十到几百GPa)相比很小，这使其在超声波作用下相比上述其它材料具有较大的形变引起较大的F-P腔长变化，从而使光谱边带漂移更大，因而可以获得更高的超声响应。经实验室实验表明，本发明的超声响应信噪比为42.92dB，在地震物理模型扫描成像中可以清晰的重建模型结构，加之PTFE薄膜优异的性能可以使其代替PZT长期应用于恶劣环境。

附图说明

[0013] 图1是本发明的结构示意图。

[0014] 图2是本发明的光谱图。

[0015] 图3是本发明实施例1对300kHz连续正弦超声波的响应图。

[0016] 图4是本发明实施例1在300kHz脉冲超声作用时的地震物理模型超声反射波时域图。

[0017] 图5是本发明实施例1在300kHz脉冲超声作用时的有机玻璃板超声重建图像。

[0018] 图6是本发明实施例1在300kHz脉冲超声作用时的断层模型超声重建图像。

[0019] 图7是本发明实施例1在300kHz脉冲超声作用时的地质穹窿结构超声重建图像。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图和实施例对本发明进一步详细说明，但本发明不限于这些实施例。

[0021] 如图1所示，一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器，包括标准单模光纤1，在标准单模光纤1一端熔接一段渐变折射率多模光纤2构成光纤准直器，光纤准直器端面与PTFE薄膜5构成F-P干涉仪的两个反射面，PTFE薄膜作为超声波的响应介质，粘贴PTFE薄膜5于铝管4一端，铝管4内部设有机玻璃管3。

[0022] 所述的有机玻璃管3端面距PTFE薄膜5不少于3mm，光纤准直器穿入有机玻璃管3，移动部位使用AB胶固定。

[0023] 所述的渐变折射率多模光纤2长度为260μm。

[0024] 所述的PTFE薄膜5的直径为2.2~2.5mm、厚度为30μm。

[0025] 所述的有机玻璃管3长度为2cm、内外直径分别为0.4mm和1.6mm。

[0026] 所述的铝管4长度为2cm、内直径为2mm。

[0027] 一种基于聚四氟乙烯薄膜的高信噪比光纤超声传感器的制造方法，其特征在于，包括以下步骤：

首先在标准单模光纤1一端熔接一段260μm长的渐变折射率多模光纤2构成光纤准直器，然后在内径为2mm、长度为2cm的铝管4一端使用T530胶粘贴30μm厚的PTFE薄膜5，接着取一内外直径分别为0.4mm和1.6mm、长度为2cm的有机玻璃管3穿入铝管4，有机玻璃管3端面距PTFE薄膜5不少于3mm并使用AB胶固定其移动部位，最后将光纤准直器穿入有机玻璃管3并分别将光纤准直器和铝管5夹持在水平位移台两边，通过千分尺控制水平位移台移动以调整PTFE薄膜5与光纤准直器端面距离，同时使用光纤光栅解调仪实时观察干涉光谱直到获得一个合适的谱线后使用AB胶将标准单模光纤1与有机玻璃管3的移动部位固定，制作完成的传感器光谱如图2所示。

[0028] 为了验证本发明的有益效果，发明人采用实施例1制备的光纤法布里-珀罗超声传感器进行实验室研究试验，实验情况如下：

实验仪器：窄带可调谐激光器，型号为TSL-710，由Santec公司生产；函数发生器，型号为AFG3022C，由Tektronix公司生产；脉冲信号发生器，型号为5077PR，由Olympus公司生产；平衡光电探测器，型号为2117-FC，由New focus公司生产；数字示波器，型号为DS2302A，由北京普源精电科技有限公司生产；步进电机系统，型号为SMC100，由Newport公司生产。

[0029] 1)连续正弦超声响应实验

将本发明与PZT正对相距2mm固定于水平位移台，通过函数发生器驱动PZT发出300kHz连续正弦超声波，窄带可调谐激光器的输出光经光纤环形器后由本发明反射，接着使用平衡光电探测器将光信号转换为电信号后通过数字示波器显示出时域超声波形。超声波引起本发明PTFE薄膜的振动和厚度变化，改变了F-P干涉仪腔长，导致其谱线斜边的动态漂移对光信号产生动态调制将光谱边带波长变化转换为光能量变化，最终通过平衡光电探测器将光能量变化转换为电压信号变化并在数字示波器上显示出来。本发明的连续正弦超声响应

以及傅里叶变换结果见图3，由图3可得本发明可以清晰响应连续超声波。

[0030] 2)脉冲超声波响应实验

本实验的地震物理模型采用50cm×50cm×6cm的有机玻璃板，用四个高度为1.2cm的铜柱从四个角支起，置于水箱中后水面距模型上表面4.5cm，将本发明与PZT水平相距3.5cm固定于步进电机的水平位移台上并使两者下端面刚好浸入水中；通过脉冲信号发生器驱动PZT发出300kHz的脉冲超声波，PZT发出的超声波在有机玻璃板上下表面和水箱底面反射后作用于本发明，同实验1系统记录示波器波形。本发明的脉冲超声响应时域信号及傅里叶变换频谱如图4所示，由图4可得，水面直达波、有机玻璃板上下表面和水箱底面的反射波信息可以清晰地分辨，频谱图显示本发明可宽带响应超声波。

[0031] 3)地震物理模型扫描成像实验

本实验中，通过3个不同结构的地震物理模型模拟不同的地质构造。

[0032] 首先对实验2有机玻璃板扫描成像，实验条件与上同。步进电机水平位移台控制本发明与PZT同时每步移动1mm总共水平移动5cm对有机玻璃板进行超声扫描，记录的50组示波器波形数据通过MATLAB程序处理得出最终的模型超声重建图像，如图5所示，水面、有机玻璃板上下表面和水箱底面都可以清晰直观地分辨，由于水箱直接放置于地面，其厚度为1cm，图5中也可以将水箱底面和地面清晰分辨开，显示出本发明具有极高的分辨率。

[0033] 接着使用中心凹陷为3cm×3cm×5.2cm的50cm×50cm×5.2cm的有机玻璃板做为待测地震物理模型模拟地质断层，本发明与PZT水平距离为4.5cm，水面距模型上表面为3.2cm，该模型的超声重建图像见图6，由图可得，模型各层面以及断层都能够直观显示，并且由于超声波在水中和模型中不同的传播速度，水箱底面也发生了断层。其它条件与前相同。

[0034] 更进一步使用半径为5cm的半圆柱形有机玻璃块模拟地质穹窿结构，本发明与PZT水平距离为5cm，水面距模型最高点为3.5cm，扫描7cm后该模型的超声重建图像见图7，由图可知，穹窿结构可以清晰探测到，同样由于超声波在水中和模型中的不同传播速度，水箱底面也变为隆状。其它条件与前相同。

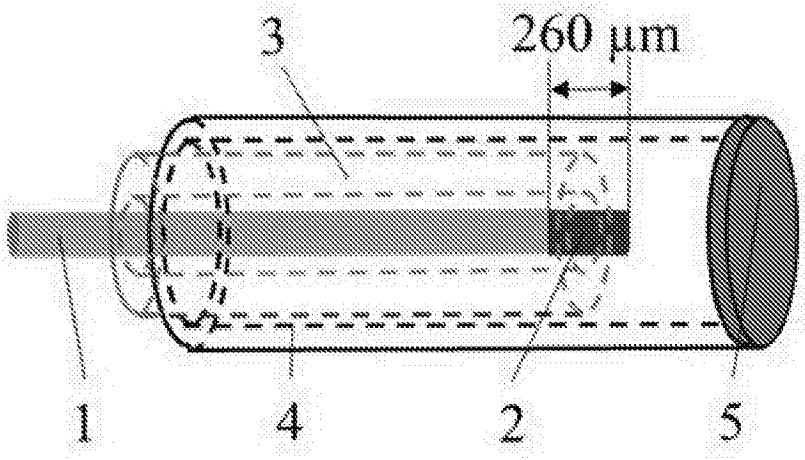


图1

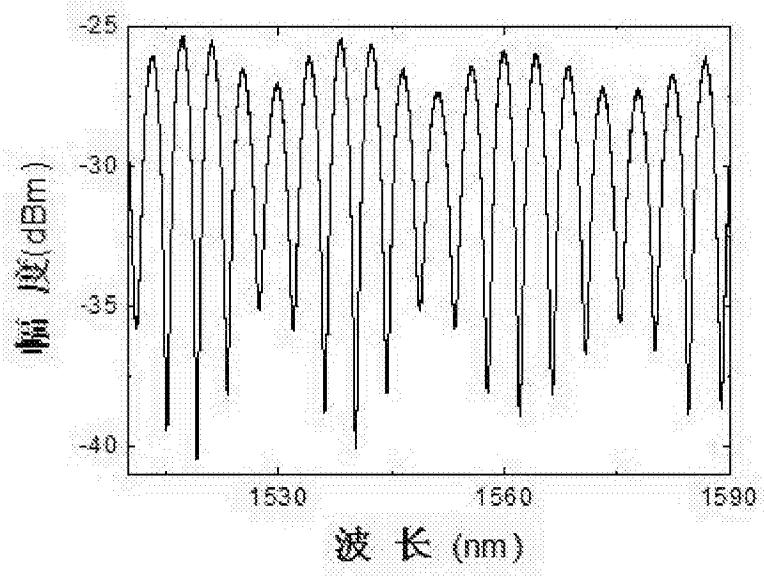


图2

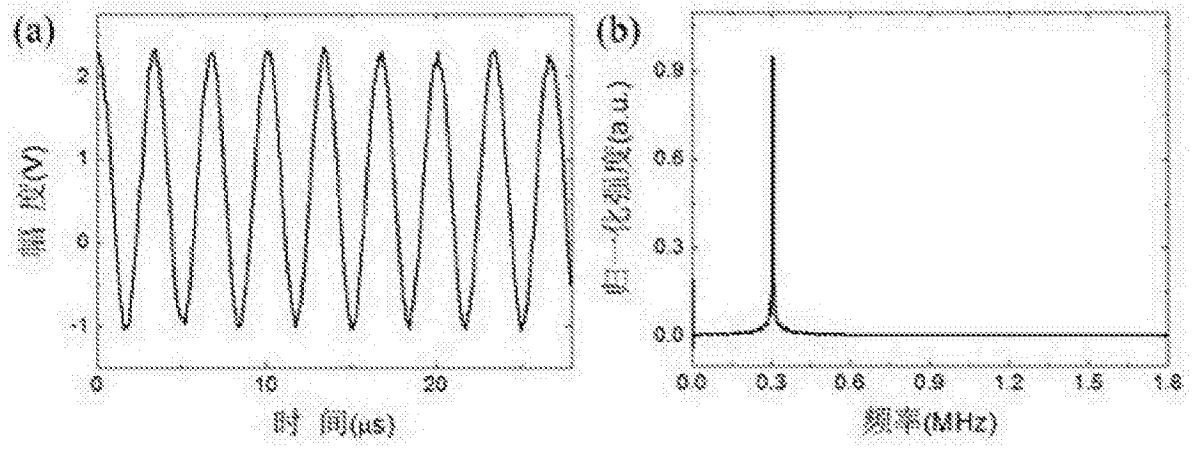

(a)
幅 度(V)
2
1
0
-1
0
10
20
时 间(μs)
(b)
归一化幅度(a.u.)
0.9
0.6
0.3
0.0
0.0
0.3
0.6
0.9
1.2
1.5
1.8
频率(MHz)

图3

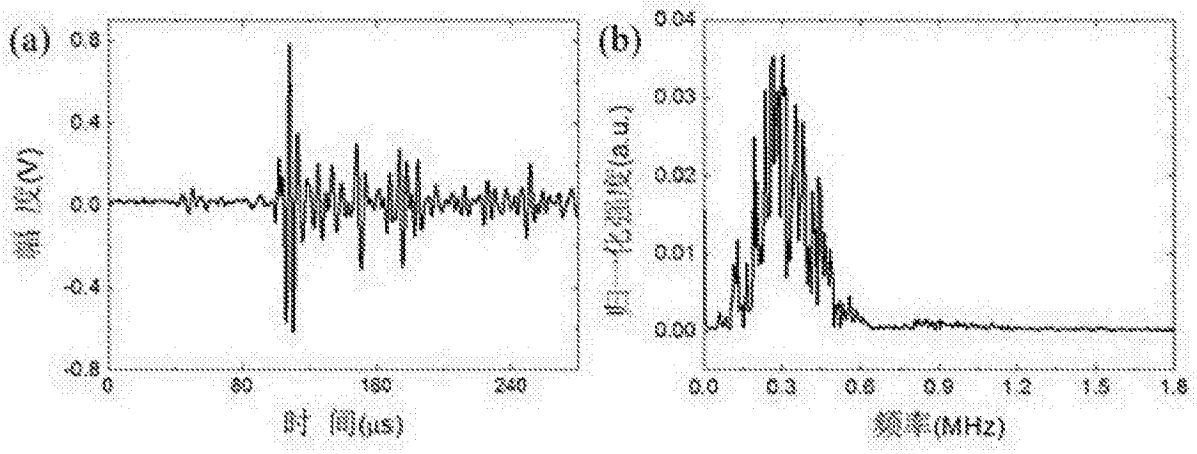

(a)
幅 度(V)
0.8
0.4
0.0
-0.4
-0.8
0
80
160
240
时 间(μs)
(b)
归一化幅度(a.u.)
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
0.0
0.3
0.6
0.9
1.2
1.5
1.8
频率(MHz)

图4

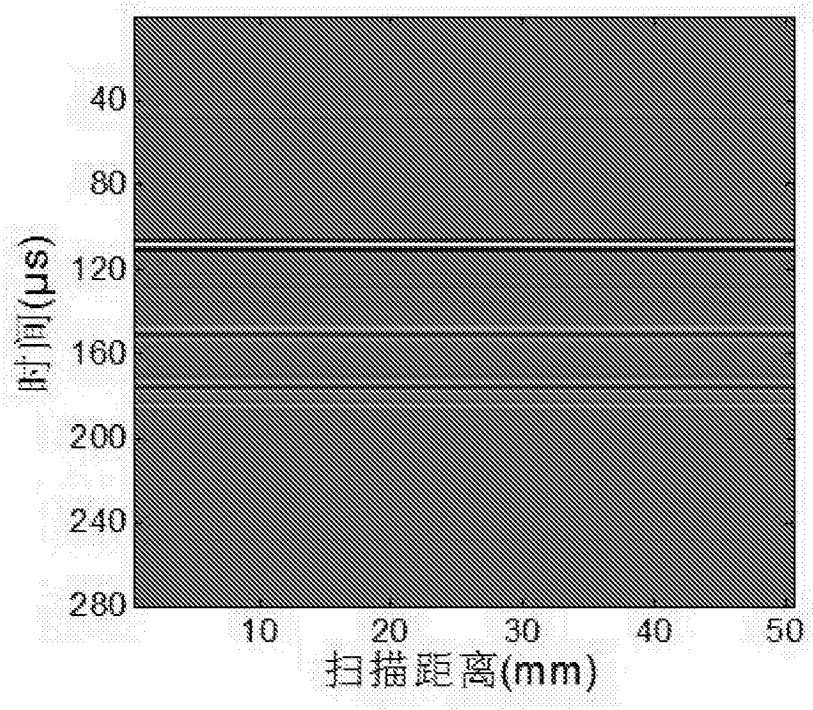

40
80
120
160
200
240
280
时间(μs)
10
20
30
40
50
扫描距离(mm)

图5

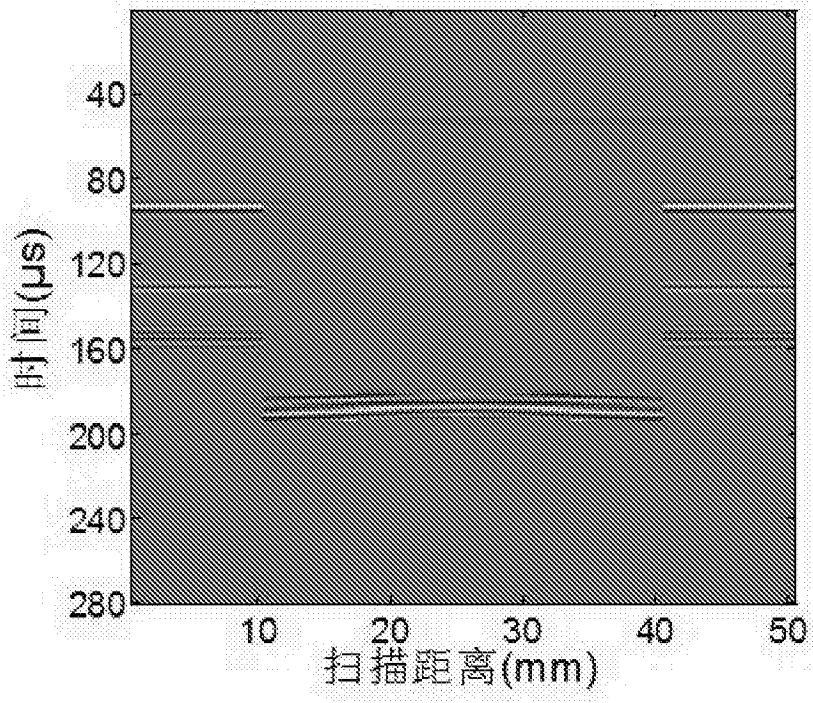

40
80
120
160
200
240
280
时间(μs)
10
20
30
40
50
扫描距离(mm)

图6

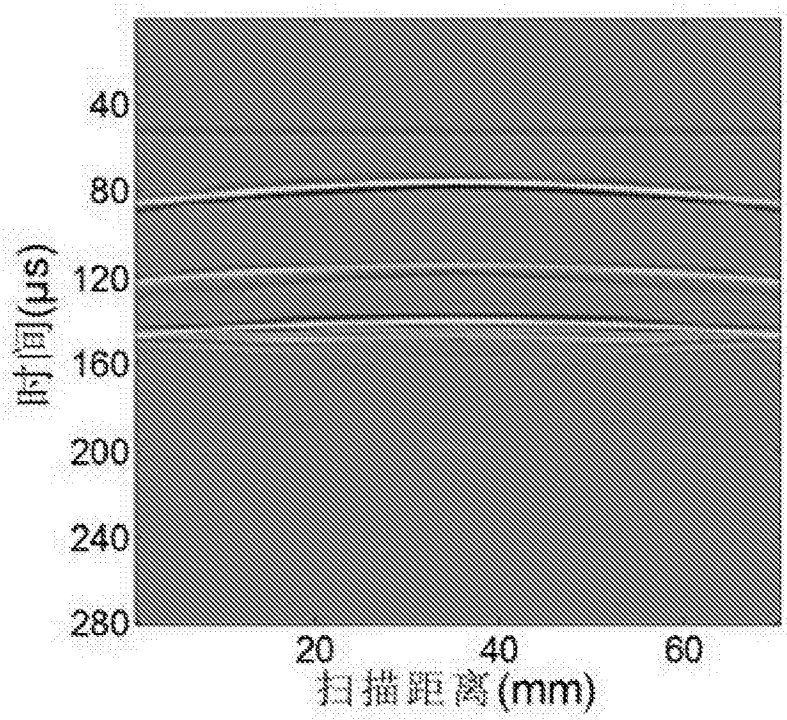


图7