

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910038327.7

[51] Int. Cl.

B06B 1/06 (2006.01)
H01L 41/087 (2006.01)
H01L 41/18 (2006.01)
H01L 41/22 (2006.01)
A61B 8/00 (2006.01)
G01N 29/04 (2006.01)

[43] 公开日 2009 年 9 月 9 日

[11] 公开号 CN 101524682A

[51] Int. Cl. (续)

G01B 17/02 (2006.01)

[22] 申请日 2009.3.31

[21] 申请号 200910038327.7

[71] 申请人 广州多浦乐电子科技有限公司

地址 510663 广东省广州市科学城玉树工业园 C 栋 405

[72] 发明人 纪轩荣

[74] 专利代理机构 广州市华学知识产权代理有限公司

代理人 杨晓松

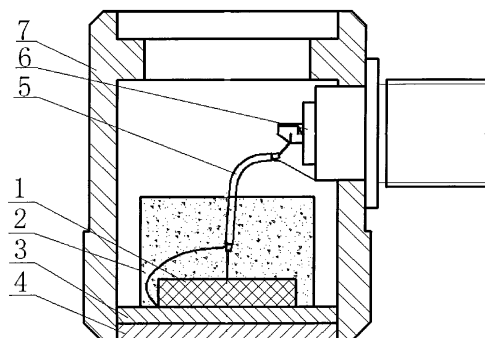
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

压电单晶复合材料高频超声换能器及其制作方法与应用

[57] 摘要

本发明公开了一种压电单晶复合材料高频超声换能器及其制作的方法与应用，它是由压电单晶复合材料晶片，阻尼背材，第一匹配层，第二匹配层，同轴电极引线，同轴连接器和金属外壳组成，其中第二匹配层、第一匹配层、压电单晶复合材料晶片、阻尼背材依次粘接在一起，从压电单晶复合材料晶片的正负极引出同轴电极引线到同轴连接器，同轴连接器固定在金属外壳上。本发明同时提供了一种基于 KLM 模型进行声学特性匹配而制作换能器的方法。本发明得到的超声换能器中心频率 $F_c = 14.67\text{MH}$ 时，带宽可达 $B_w = 107\%$ ，脉冲回波灵敏度可达 $S_r = -30\text{dB}$ ，在高频、大带宽的前提下还具有非常高的灵敏度。这种换能器可以用于医学



1、一种压电单晶复合材料高频超声换能器，其特征在于：包括压电单晶复合材料晶片，阻尼背材，第一匹配层，第二匹配层，同轴电极引线，同轴连接器和金属外壳；

所述压电单晶复合材料晶片由压电单晶和填充聚合物组成；所述第二匹配层、第一匹配层、压电单晶复合材料晶片、阻尼背材依次粘接在一起，形成声学叠层，从所述压电单晶复合材料晶片的正负极引出同轴电极引线到所述同轴连接器，所述同轴连接器固定在金属外壳上。

2、根据权利要求1所述的压电单晶复合材料高频超声换能器，其特征在于：所述压电单晶为铌镁酸铅—钛酸铅或者铌锌酸铅—钛酸铅。

3、根据权利要求1所述的压电单晶复合材料高频超声换能器，其特征在于：所述压电单晶复合材料晶片的连通方式为1-3型或者2-2型。

4、根据权利要求3所述的压电单晶复合材料高频超声换能器，其特征在于：所述压电单晶复合材料晶片的连通方式为1-3型。

5、根据权利要求1所述的压电单晶复合材料高频超声换能器，其特征在于：所述第二匹配层为声透镜的形状。

6、根据权利要求5所述的压电单晶复合材料高频超声换能器，其特征在于：所述第二匹配层为凹面或者凸面。

7、根据权利要求1所述的压电单晶复合材料高频超声换能器，其特征在于：所述压电单晶复合材料晶片厚度在16微米至200微米；所述压电单晶复合材料的素子纵横比达到2:1以上，同时素子间距小于换能器主频信号在材料中横波波长的1/2，介电常数不大于1000；

所述第一匹配层、第二匹配层的厚度为 $\frac{1}{4}\lambda \pm \lambda \times 10\%$ ，其中 λ 为换能器主频信号在该匹配层中的横波波长。

8、根据权利要求1所述的压电单晶复合材料高频超声换能器，其特征在于：所述匹配层和阻尼背材的材料为环氧树脂和金属粉末的组合物，所述金属粉末的密度大于 7g/cm^3 。

9、一种权利要求1-8任一项所述的压电单晶复合材料高频超声换能器的制作方法，其特征在于包括以下步骤：

(1) 制备压电单晶复合材料,使得压电单晶体能够按 K33 模式工作;压电单晶复合材料的加工能够保证素子纵横比达到 2:1 以上,同时保证素子间距小于换能器主频信号在材料中横波波长的 $1/2$,制备之后介电常数不大于 1000;

(2) 测试制备所得的压电单晶复合材料的声学性能;

(3) 根据 KLM 模型确定换能器的声学叠层设计,根据所得的压电单晶复合材料的声学性能,计算出所需要的匹配层 1、匹配层 2 和背材的声学特性要求,

即:匹配层的厚度为 $\frac{1}{4}\lambda \pm \lambda \times 10\%$,其中 λ 为换能器主频信号在该匹配层中

的横波波长;匹配层和背材的声阻抗符合 KLM 模式计算所得参数,背材的衰减系数能够达到 50dB/MHz/cm;

(4) 按照符合步骤 3 所述要求的参数制备匹配层 1、匹配层 2 和阻尼背材;

(5) 整体加工和装配。

10、权利要求 1 所述的压电单晶复合材料高频超声换能器用于医学诊断、超声无损检测或精密测厚。

压电单晶复合材料高频超声换能器及其制作方法与应用

技术领域

本发明属于压电超声换能器领域，具体涉及一种压电单晶复合材料高频超声换能器及其制作方法与应用。

背景技术

近年来随着科学技术的发展，在许多的场合下对高频、高灵敏度、大带宽的超声换能器提出了需求。在医学诊断领域，例如眼科、口腔、血管内、皮肤等对用于成像和测量的高频超声换能器提出了高灵敏度、高带宽的要求。在超声检测领域，工业、军事等的快速发展对用于点焊检测、复合材料薄板、复合材料涂层的检测也希望高频换能器能够做到更高的灵敏度、更大的带宽。在精密测厚领域，特别是高衰减材料的精密测厚，大带宽和高灵敏度不可或缺。从声学特性进行分析，换能器的灵敏度和带宽是一对矛盾体，在压电材料确定、匹配模式和材料确定的情况下，要提高带宽就必须牺牲灵敏度。也就是说压电材料的性能是关键。当然，换能器声学设计的好坏也会有很大的影响。

目前，用来制作高频换能器的压电材料有许多种，例如聚偏氟乙烯(PVDF)、钛酸铅(PT)、锆钛酸铅(PZT)、偏铌酸铅等等，中国专利 CN2841166Y 公布了一种用改性偏铌酸铅制作的高频测厚换能器，中国专利 CN2097407U 也公布了一种用铌酸锂制作的高频换能器。国外也有许多类似的专利和科研论文发表。

近年，高压电性能的单晶材料逐步走向实用，我国中科院上海硅酸盐研究所在铌镁酸铅-钛酸铅压电单晶(PMNT)复合材料领域也有了很大的突破，其申请的中国专利 CN1920122A 公布了一种用于医用超声换能器的 PMNT 材料，该材料能够提高超声换能器的分辨率、灵敏度和带宽。

中国专利 CN2841166Y 和中国专利 CN2097407U 所公布的两种材料都是 Kt 机电转换效率小于 50% 的，远远小于压电单晶的 68%，而中国专利 CN1920122A 公布的 PMNT 压电单晶的介电常数达到 4000，这在高频应用中又非常的不利。

压电复合材料通过改变压电材料的振动模式，可以提高压电材料的机电转换效率，减小串扰，改变压电材料的介电常数使得更容易匹配等极为突出的作用，近年正在变成一种热点。

发明内容

针对现有技术中存在的问题和缺点，本发明的目的是提供一种大带宽和高灵敏度的压电单晶复合材料高频超声换能器。

本发明的另一目的是提供上述高频超声换能器的制作方法。

本发明的再一目的是提供上述高频超声换能器的应用。

本发明的目的通过以下的技术方案来实现：

一种压电单晶复合材料高频超声换能器，包括压电单晶复合材料晶片，阻尼背材，第一匹配层，第二匹配层，同轴电极引线，同轴连接器和金属外壳；

所述压电单晶复合材料晶片由压电单晶和填充聚合物组成；所述第二匹配层、第一匹配层、压电单晶复合材料晶片、阻尼背材依次粘接在一起，形成声学叠层，从所述压电单晶复合材料晶片的正负极引出同轴电极引线到所述同轴连接器，所述同轴连接器固定在金属外壳上。

为更好的实现本发明：

所述压电单晶优选为铌镁酸铅—钛酸铅或者铌锌酸铅—钛酸铅。

所述压电单晶复合材料晶片的连通方式优选为 1-3 型或者 2-2 型，更优选 1-3 型。1-3 型压电单晶复合材料的被填充聚合物材料包围若干个柱形压电单晶体组成的，该材料中压电单晶在一维连通，填充聚合物材料则是三维连通。

所述第二匹配层可以制作成声透镜的形状，如凹面或者凸面。

所述的压电单晶复合材料晶片的厚度优选在 16 微米至 200 微米范围内。

所述压电单晶复合材料晶片厚度在 16 微米至 200 微米；

所述压电单晶复合材料的素子纵横比达到 2:1 以上，同时素子间距小于换能器主频信号在材料中声波波长的 1/2，介电常数不大于 1000；

所述第一匹配层、第二匹配层的厚度为 $\frac{1}{4}\lambda \pm \lambda \times 10\%$ ，其中 λ 为换能器主频

信号在该匹配层中的横波波长。

所述匹配层和背材优选采用环氧树脂加高密度金属粉末的复合方式予以制作，环氧树脂可以采用流动性较好的，例如 E-44；金属粉末可以选择钨粉等密度高的材质。为了得到窄的脉冲，背材必须做成高阻尼，要在环氧中加入尽可能多的金属粉末。根据 KLM 模型，假设压电单晶复合材料的声阻抗值 Z_c 和负载（检测对象或者用于测厚的延迟材料）的阻抗 Z_l ，那么第一匹配层的阻抗

$Z_1 = Z_c^{\frac{3}{4}} \times Z_l^{\frac{1}{4}}$ ，第二匹配层的阻抗为 $Z_2 = Z_c^{\frac{1}{4}} \times Z_l^{\frac{3}{4}}$ 。得到这两个参数之后，匹配层可以通过调配环氧树脂和金属粉末的比例来得到。

高频探头的背材一般厚度有 3mm 左右即可，选择声衰减大的环氧树脂和较大颗粒的金属粉末来制作以达到足够的声衰减量，因为高频信号衰减非常大，所以背材很容易的可以满足要求。

压电复合材料中的填充聚合物，可选用本领域公知的聚合物，作为优选，可以是聚偏氟乙烯（PVDF），环氧树脂或者环氧树脂加适当的其它聚合物，更优选聚偏氟乙烯（PVDF）。

本压电单晶复合材料高频超声换能器可以配套高频超声信号衰减小（小于 0.36dB/MHz/cm）的延迟块使用，特别是在精密测厚领域。

本发明还提供了上述压电单晶复合材料高频超声换能器的制作方法：

具体的步骤包括：

（1）制备压电单晶复合材料，使得压电单晶体能够按 K33 模式（即径向振动模式）工作；压电单晶复合材料的加工能够保证素子纵横比（作为复合材料中一个压电单晶小晶元的厚度和宽度的比例）达到 2: 1 以上，同时保证素子间距（压电单晶小晶元的间距，图 3 中的 B 参数）小于换能器主频信号在材料中横波波长的 1/2，制备之后介电常数不大于 1000；

（2）测试制备所得的压电单晶复合材料的声学性能；

（3）根据 KLM 模型确定换能器的声学叠层设计，根据所得的压电单晶复合材料的声学性能计算出所需要的匹配层 1、匹配层 2 和背材的声学特性要求，

即：匹配层的厚度为 $\frac{1}{4}\lambda \pm \lambda \times 10\%$ ，其中 λ 为换能器主频信号在该匹配层中的

的横波波长；匹配层和背材的声阻抗符合 KLM 模式计算所得参数，背材的衰减系数能够达到 50dB/MHz/cm；（4）按照符合步骤 3 所述要求的参数制备匹配层 1、匹配层 2 和背材；

（5）整体加工和装配。

本发明提供的压电单晶复合材料高频超声换能器可以用于医学诊断、超声无损检测和精密测厚等领域。

本发明的基本原理及有益效果：

压电单晶材料具有高的机电转换效率，高的介电常数和高的声阻抗，高的机电转换效率是一个非常大的优点，但是高的介电常数和高的声阻抗却给电学

匹配和声学匹配带来了巨大的难题，尤其是针对高频应用。相同尺寸的压电材料换能器随着频率的增加，电容量也同比增加。作为高频应用，压电单晶的电容量太大，几乎无法进行电学上的匹配，除非把换能器单元的尺寸做得很小，但是尺寸太小应用中又无法满足需要，所以必须解决电容量过高导致的电学失配问题。另外，以 PMNT 为例子，声阻抗接近 40MRayl ，比 PT (30MRayl) 或者 PZT (32MRayl) 陶瓷要高出许多，而许多被检测的材料或者作为诊断对象的人体 (1.5MRayl) 都是声阻抗非常小的，这个声学匹配也增加了难度。

本发明通过把压电单晶做成 1-3 型的压电单晶复合材料（如切割填充法）进一步提高压电材料的性能和解决掉存在的缺点，1-3 复合材料晶片的结构是由被填充聚合物包围若干个柱形压电单晶体组成的（如图 2 所示的 1-3 型压电陶瓷的结构，圆柱形的压电陶瓷棒 8 被三维连通的填充聚合物 9 所包围）。切割填充法关键是控制切割间距和切割用的刀宽，如图 3 所示，切割的刀宽为 B ，切割间距为 $(A+B/2)$ 。晶片的频率是由厚度控制的，所以，我们首先要确定换能器的主频率；主频率确定了，那么晶片厚度 T 也就相应确定。根据我们前面提到的原则 $A < T/2$ ；用于浇铸的填充聚合物的横波波长 λ 也可以得到，那么 $B < \lambda/2$ ；再结合我们需要的介电常数的数值，计算得到压电单晶和填充聚合物的提及比，通过控制 A 和 B 就得到了我们需要的介电常数了。通过以上方案，我们可以得到介电常数合适，机电转换效率达到 90% 的适合用于高频探头的晶体。

在解决了高性能的适合用于高频探头的压电单晶复合材料之后，为了进一步使得脉冲更窄，我们根据 KLM 模型加入了两个匹配层，这个匹配层的特殊性在于它的声阻抗和厚度是根据我们得到的压电单晶复合材料晶片的参数来计算和制作的。

本发明得到的超声换能器在中心频率 $F_c = 14.67\text{MH}$ 时，带宽 $B_w = 107\%$ ，脉冲回波灵敏度 $S_r = -30\text{dB}$ ，在高频、大带宽的前提下还具有非常高的灵敏度。

附图说明

图 1 是本发明压电单晶复合材料高频超声换能器的结构示意图，

其中：1 为压电单晶复合材料晶片，2 为阻尼背材，3 为第一匹配层，4 为第二匹配层，5 为同轴电极引线，6 为同轴连接器，7 为金属外壳。

图 2 是压电陶瓷复合材料的结构示意图；

其中：8 为压电陶瓷棒，9 为填充聚合物。

图 3 是切割填充法的示意图，

其中，切割的刀宽为 B ，切割间距为 $(A+B/2)$ 。

图 4 是本发明所制作的高频超声换能器的脉冲一回波信号的时域和频率测试图。

图 5 是高频换能器的测试系统连接示意图。

具体实施方式

下面结合实施例及附图对本发明作进一步详细的描述，但本发明的实施方式不限于此。

如图 1 所示，本发明的压电单晶复合材料高频超声换能器，包括压电单晶复合材料晶片 1，阻尼背材 2，第一匹配层 3，第二匹配层 4，同轴电极引线 5，同轴连接器 6 和金属外壳 7；

压电单晶复合材料晶片 1 为铌镁酸铅—钛酸铅压电单晶复合材料或者 PZNT；第二匹配层 4、第一匹配层 3、压电单晶复合材料晶片 1、阻尼背材 2 依次粘接在一起，形成声学叠层，从压电单晶复合材料晶片 1 的正负极引出同轴电极引线 5 到同轴连接器 6，同轴连接器 6 固定在金属外壳 7 上。

下面给出一个具体的压电单晶复合材料高频超声换能器的制作过程。

(1) 选择或制作性能如下表所列的 PMNT 单晶材料作为压电基材

压电用 PMNT 单晶		
伸缩压电模式:		
d_{33} :		1200 pC/N
长度谐振 N_{33} :		660 kHz×mm
厚度谐振 N_t :		1800 kHz×mm
k_{33} :		92%
k_t :		60%
g_{33} :		$34.2 \cdot 10^{-3}$ Vm/N
ϵ_{33}^T :		4000

(2) 切割填充法制备 1-3 型 PMNT 单晶复合材料

复合材料中的填充聚合物选用 E44 环氧树脂并用三乙醇胺做固化剂，15MHz 的超声横波在上述材料中声速为 1400 米/秒， $1/2\lambda$ 约为 48 微米。这个频率的探头所用的压电单晶复合材料晶片厚度为 0.12mm。在保证介电常数 1000，那么我们取复合材料制作方案如下：切割刀宽 40 微米，切割间距 80 微米，因为环氧树脂的介电常数非常的小（仅有 4.7）可以不计入考虑。也就是纵横比为 3:1，介电常数为 1000。

(3) 测试晶片的声阻抗，实际测量值为 15MRayl，该探头的延迟材料声阻抗为 2.36MRayl。根据 KLM 模型计算得出第一匹配层声阻抗为 9.48MRayl，第

二匹配层声阻抗为 3.80MRayl 。根据阻抗确定配层中环氧树脂与钨粉的比例，其中第一匹配层的钨粉与环氧体积百分比大约为 54%。

第一、二匹配厚度根据波长计算控制在 21.6-26.4 微米的范围。

(4) 两个匹配层粘接，粘接好的匹配层与晶片粘接。

(5) 灌注背材，背材厚度选用 3mm，材料为环氧树脂与钨粉组合物，钨粉颗粒直径大于 20 微米，钨粉与环氧体积百分比大约为 65%。

(6) 总装。

(7) 测试：使用 OLYMPUS 的 5800PR 超声脉冲—接收仪和 TEK—2002B 数字示波器进行测试，测试的回波信号采集到计算机中进行快速傅立叶变换得到频谱图。系统连接方式如图 4 所示。

得到的超声换能器在中心频率 $F_c = 14.67\text{MH}$ 时，带宽 $B_w = 107\%$ ，脉冲回波灵敏度 $S_r = -30\text{dB}$ ，在高频、大带宽的前提下还具有非常高的灵敏度，测试结果如图 5 所示。

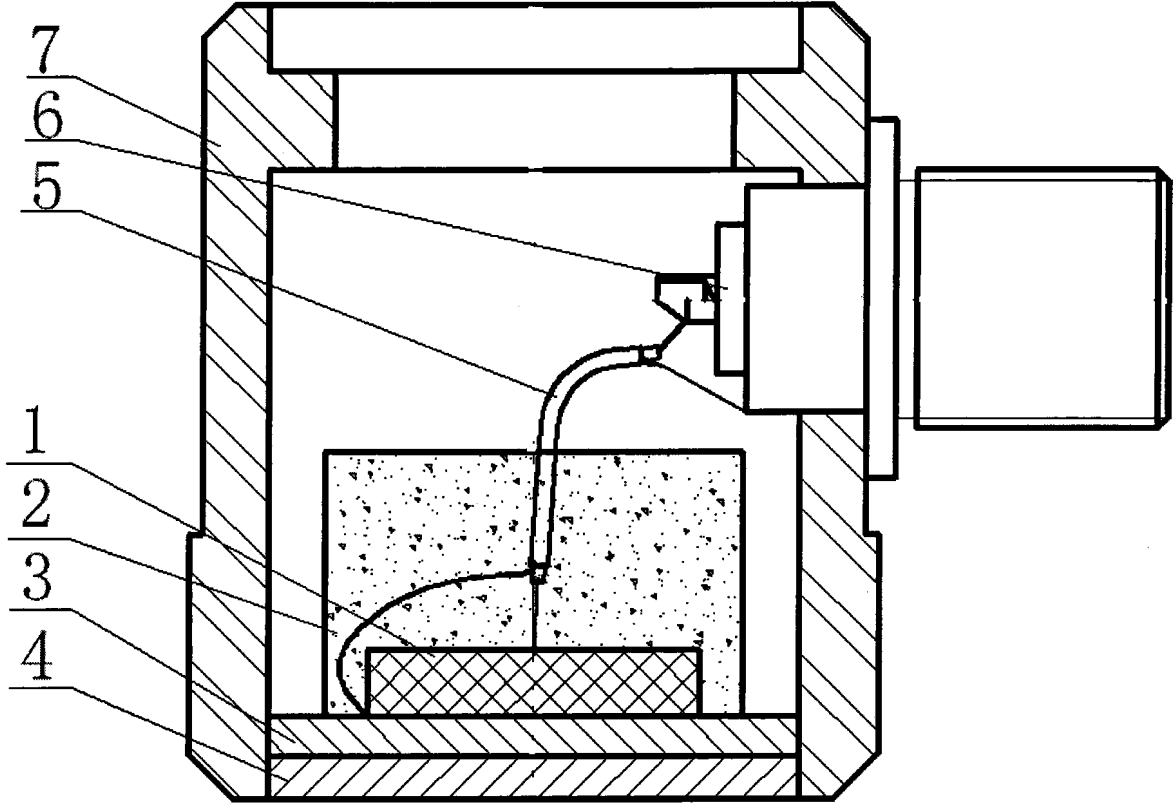


图 1

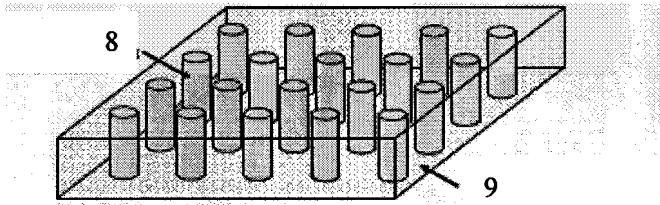


图 2

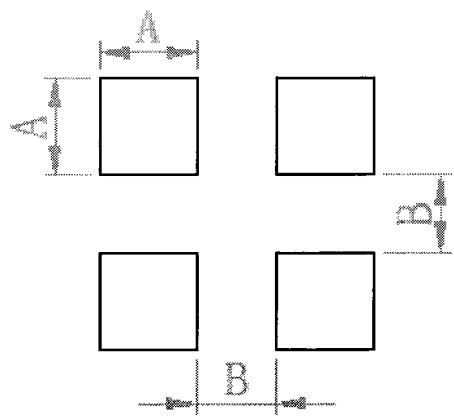


图 3

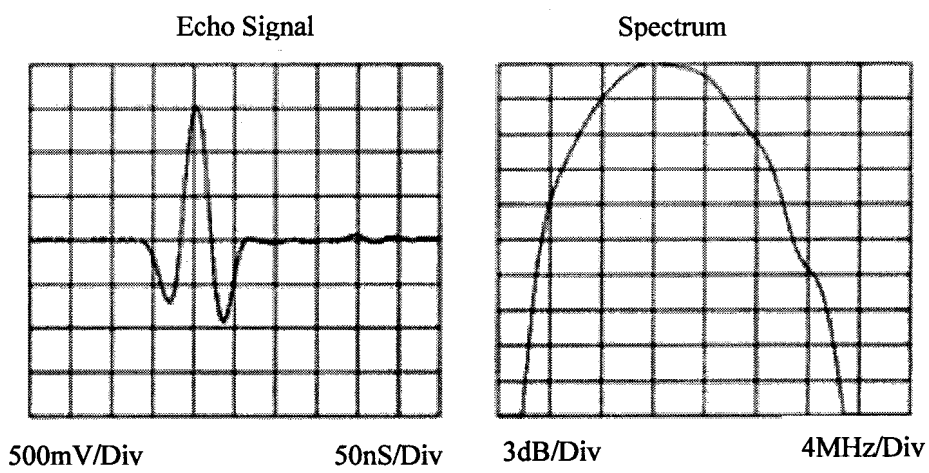


图 4

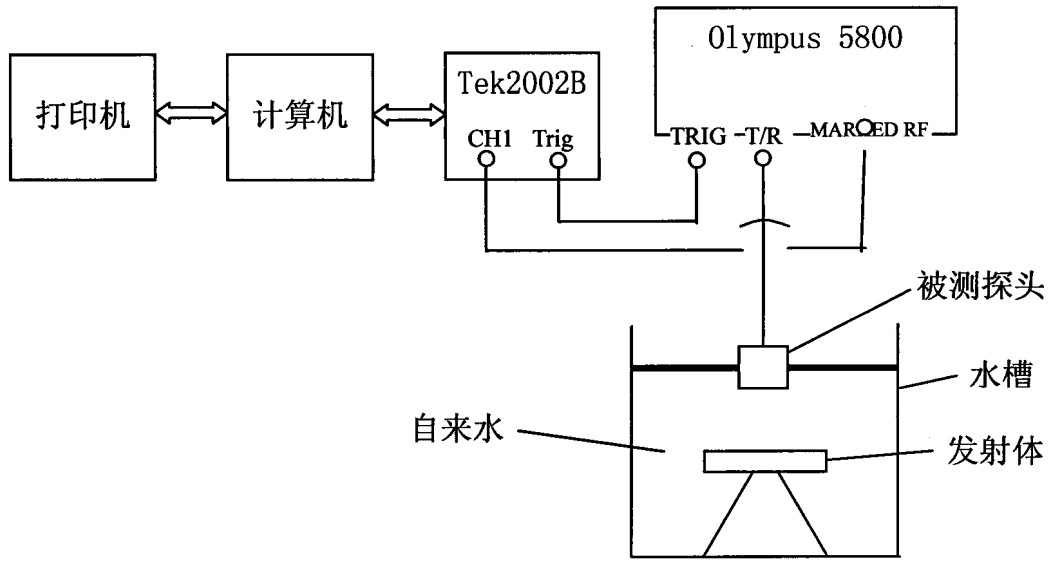


图 5

专利名称(译)	压电单晶复合材料高频超声换能器及其制作方法与应用		
公开(公告)号	CN101524682A	公开(公告)日	2009-09-09
申请号	CN200910038327.7	申请日	2009-03-31
[标]申请(专利权)人(译)	广州多浦乐电子科技有限公司		
申请(专利权)人(译)	广州多浦乐电子科技有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	广州多浦乐电子科技有限公司		
[标]发明人	纪轩荣		
发明人	纪轩荣		
IPC分类号	B06B1/06 H01L41/087 H01L41/18 H01L41/22 A61B8/00 G01N29/04 G01B17/02		
代理人(译)	杨晓松		
其他公开文献	CN101524682B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种压电单晶复合材料高频超声换能器及其制作的方法与应用，它是由压电单晶复合材料晶片，阻尼背材，第一匹配层，第二匹配层，同轴电极引线，同轴连接器和金属外壳组成，其中第二匹配层、第一匹配层、压电单晶复合材料晶片、阻尼背材依次粘接在一起，从压电单晶复合材料晶片的正负极引出同轴电极引线到同轴连接器，同轴连接器固定在金属外壳上。本发明同时提供了一种基于KLM模型进行声学特性匹配而制作换能器的方法。本发明得到的超声换能器中心频率 $F_c = 14.67\text{MHz}$ 时，带宽可达 $B_w = 107\%$ ，脉冲回波灵敏度可达 $S_r = -30\text{dB}$ ，在高频、大带宽的前提下还具有非常高的灵敏度。这种换能器可以用于医学诊断、超声无损检测和精密测厚。

