

(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
2024 年 7 月 18 日 (18.07.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/149281 A1

(51) 国际专利分类号:

B06B 1/06 (2006.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2024/071513

(22) 国际申请日:

2024 年 1 月 10 日 (10.01.2024)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

202310041799.8 2023年1月12日 (12.01.2023) CN

(71) 申请人: 天津大学 (TIANJIN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。

(72) 发明人: 庞慰 (PANG, Wei); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。牛鹏飞 (NIU, Pengfei); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。张孟伦 (ZHANG, Menglun); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。

(74) 代理人: 北京三友知识产权代理有限公司 (BEIJING SANYOU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.); 中国北京市西城

区金融街 35 号国际企业大厦 A 座 16 层, Beijing 100033 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,

(54) Title: ULTRASONIC TRANSDUCER AND ELECTRONIC DEVICE

(54) 发明名称: 超声波换能器及电子设备

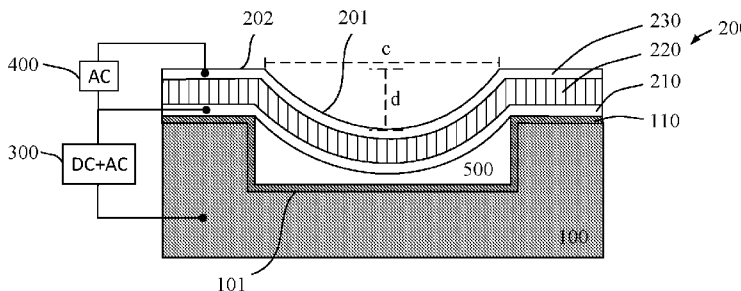


图 1

(57) Abstract: An ultrasonic transducer and an electronic device, relating to the technical field of semiconductors. The ultrasonic transducer comprises a conductive layer (100) and a diaphragm (200) provided on the conductive layer (100). The diaphragm (200) comprises a first electrode (210), a first piezoelectric layer (220), and a second electrode (230) stacked from bottom to top. A first alternating-current power supply (300) having direct current bias is connected between the first electrode (210) and the conductive layer (100), and a second alternating-current power supply (400) is connected between the first electrode (210) and the second electrode (230). A cavity (500) is formed between the conductive layer (100) and the diaphragm (200). When the diaphragm (200) is in a working state, the part of the diaphragm (200) opposite to the cavity (500) is curved when viewed from the direction parallel to the conductive layer (100), or when the diaphragm (200) is in a working state or is not in a working state, the part of the diaphragm (200) opposite to the cavity (500) is curved when viewed from the direction parallel to the conductive layer (100).



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: 一种超声波换能器及电子设备, 涉及半导体技术领域。该超声波换能器包括: 导电层(100)以及设置在所述导电层(100)上的振动膜(200); 其中, 所述振动膜(200)包括自下而上层叠设置的第一电极(210)、第一压电层(220)以及第二电极(230), 所述第一电极(210)和所述导电层(100)之间连接具有直流偏置的第一交流电源(300), 所述第一电极(210)和所述第二电极(230)之间连接第二交流电源(400); 所述导电层(100)与所述振动膜(200)之间形成有空腔(500); 在所述振动膜(200)在工作状态时, 从平行于所述导电层(100)的方向观察, 所述振动膜(200)与所述空腔(500)相对的部分呈曲面, 或者, 在所述振动膜(200)在工作状态以及不在工作状态时, 从平行于所述导电层(100)的方向观察, 所述振动膜(200)与所述空腔(500)相对的部分均呈曲面。

超声波换能器及电子设备

技术领域

本申请涉及一种半导体技术领域，具体涉及一种超声波换能器及电子设备。

5

背景技术

超声波换能器和传感器是产生或感测超声波能量的设备。超声波换能器在超声测距、超声成像、超声无损检测、超声指纹识别、超声流量检测、超声力学反馈等方面都有较好的应用，比如在超声成像仪、超声雷达、声呐探测、扫地机器人、超声烟雾报警器、超声流量计等具体产品和场景中都会用到。

10

微机电系统（Micro-Electro-Mechanical Systems，简称 MEMS）是一种基于半导体工艺流程的小型化机械和机电元件（即器件和结构）开发技术，基于 MEMS 工艺开发的器件具有体积小、性能高、易于与电子电路系统及其他 MEMS 器件集成等优点，利用 MEMS 标准工艺可进行批量化生产和晶圆级封装，获得低成本高性能微型化器件。基于 MEMS 技术开发的微型超声波换能器除了能在上述超声波换能器的应用场景中发挥作用外，还可以在可穿戴设备等方面发挥效能，因此 MEMS 超声波换能器受到越来越多的关注。

15

MEMS 超声波换能器的应用涉及超声信号发射及超声信号接收，其发射和接收性能是其关键指标，决定了产品的优劣。MEMS 超声波换能器因其尺寸小，其超声波发射和接收性能与大型块体超声波换能器相比有一定的差距。

20

发明内容

为了解决现有技术中存在的上述问题的至少之一，本申请实施例提供一种超声波换能器及电子设备。

25

根据本申请实施例的第一方面，本申请提供一种超声波换能器，包括导电层以及设置在所述导电层上的振动膜；其中，所述振动膜包括自下而上层叠设置的第一电极、第一压电层以及第二电极，所述第一电极和所述导电层之间连接具有直流偏置的第一交流电源，所述第一电极和所述第二电极之间连接第二交流电源；所述导电层与所述振动膜之间形成有空腔；在所述振动膜在工作状态时，从平行于所述导电层的方向观察，所述

振动膜与所述空腔相对的部分呈曲面，或者，在所述振动膜在工作状态以及不在工作状态时，从平行于所述导电层的方向观察，所述振动膜与所述空腔相对的部分均呈曲面。

在一些实施例中，在所述导电层和所述振动膜之间还具有第一电介质层。

在一些实施例中，所述导电层远离所述振动膜的一侧还设置有绝缘层。

5 在一些实施例中，所述导电层靠近所述振动膜的一侧具有凹部，所述空腔的至少一部分形成于所述振动膜与所述凹部之间；或

所述导电层靠近所述振动膜的一侧具有凸部，所述空腔的至少一部分形成于所述振动膜与所述凸部之间。

10 在一些实施例中，在所述导电层靠近所述振动膜的一侧具有凹部，所述空腔的至少一部分形成于所述振动膜与所述凹部之间时，

所述振动膜的曲面部朝向所述凹部弯曲；或

所述振动膜的曲面部向远离所述凹部的方向弯曲。

在一些实施例中，所述第一电介质层设置在所述导电层靠近所述振动膜的一侧。

15 在一些实施例中，在所述振动膜的曲面部朝向所述凹部弯曲时，所述曲面部的顶部区域与所述第一电介质层相接触。

在一些实施例中，所述曲面部的顶部区域与所述第一电介质层固定连接。

在一些实施例中，在所述振动膜的曲面部朝向所述凹部弯曲时，所述凹部为与所述曲面部的曲度相同的曲面结构。

20 在一些实施例中，所述空腔的一部分形成于所述导电层在所述凹部之外的平面区域与所述振动膜之间。

在一些实施例中，从平行于所述导电层的方向观察，所述平面区域的宽度小于所述凹部的宽度的 $1/5$ 。

25 在一些实施例中，在所述导电层靠近所述振动膜的一侧具有凸部，所述空腔的至少一部分形成于所述振动膜与所述凸部之间时，所述振动膜的曲面部向远离所述凸部的方向弯曲。

在一些实施例中，所述曲面部的曲度与所述凸部的曲度相同。

在一些实施例中，所述空腔通过牺牲层工艺实现，所述振动膜上设置有连通所述空腔的第一释放通道。

在一些实施例中，所述振动膜远离所述导电层的一侧设置有密闭保护层。

在一些实施例中，所述空腔通过牺牲层工艺实现，所述导电层上设置有连通所述空腔的第二释放通道。

在一些实施例中，所述空腔内部呈真空状态。

5 在一些实施例中，从平行于所述导电层的方向观察，所述振动膜的曲面部的宽度大于所述曲面部的深度的 $1/40$ 。

在一些实施例中，从平行于所述导电层的方向观察，所述振动膜的曲面部的宽度大于所述曲面部的深度的 $1/20$ 。

在一些实施例中，从平行于所述导电层的方向观察，所述振动膜的曲面部的宽度大于所述曲面部的深度的 $1/10$ 。

10 在一些实施例中，所述第一电极包括自下而上设置的第一子电极、第二电介质层以及第二子电极。

在一些实施例中，所述第一子电极与所述导电层之间连接具有直流偏置的所述第一交流电源，所述第二子电极与所述第二电极之间连接所述第二交流电源。

15 在一些实施例中，所述振动膜还包括第二压电层以及第三电极，所述第二压电层设置在所述第二电极远离所述第一压电层的一侧，所述第三电极设置在所述第二压电层远离所述第二电极的一侧。

在一些实施例中，所述第二电极和所述第三电极之间连接第三交流电源。

根据本申请实施例的第二方面，本申请还提供一种电子设备，包括上述任一实施例所述的超声波换能器。

20 本申请提出的超声波换能器，振动膜的振动通过静电力和压电力共同驱动实现，与单一驱动形式相比，静电力和压电力共同驱动的方式所引起的振动膜的振动幅度更大，进而使得超声换能器的性能更优异；此外，振动膜并非完全的平面结构，尤其是在工作状态，曲面形式的振动膜能够使超声波换能器的性能有大幅提升。因此，本申请提出的静电力和压电力共同驱动的曲面形式超声换能器，将具有非常优异的超声波发射和接收
25 性能。

附图说明

30 为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，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。在附图中：

图 1 至图 11 分别为本申请实施例提供的超声波换能器的结构示意图。

具体实施方式

5 下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

参照后文的说明和附图，详细公开了本申请的特定实施方式，指明了本申请的原理
10 可以被采用的方式。应该理解，本申请的实施方式在范围上并不因而受到限制。在所附权利要求的精神和条款的范围内，本申请的实施方式包括许多改变、修改和等同。

针对一种实施方式描述和/或示出的特征可以以相同或类似的方式在一个或多个其它实施方式中使用，与其它实施方式中的特征相组合，或替代其它实施方式中的特征。

应该强调，术语“包括/包含”在本文使用时指特征、整件、步骤或组件的存在，但
15 并不排除一个或多个其它特征、整件、步骤或组件的存在或附加。

为了解决现有技术中存在的上述问题的至少之一，第一方面，本申请提供一种超声波换能器，如图 1 至图 11 所示，本申请提供一种超声波换能器包括导电层 100 以及设置在导电层 100 上的振动膜 200；其中，振动膜 200 包括自下而上层叠设置的第一电极
20 210、第一压电层 220 以及第二电极 230，第一电极 210 和导电层 100 之间连接具有直流偏置的第一交流电源 300，第一电极 210 和第二电极 230 之间连接第二交流电源 400；导电层 100 与振动膜 200 之间形成有空腔 500；在振动膜 200 在工作状态时，从平行于导电层 100 的方向观察，振动膜 200 与空腔 500 相对的部分呈曲面，或者，在振动膜 200 在工作状态以及不在工作状态时，从平行于导电层 100 的方向观察，振动膜 200 与空腔 500 相对的部分均呈曲面。

25 这样，振动膜 200 的振动通过静电力和压电力共同驱动实现，与单一驱动形式相比，静电力和压电力共同驱动的方式所引起的振动膜 200 的振动幅度更大，进而使得超声换能器的性能更优异。具体来讲，静电力是指带电体之间的静电相互作用力，通过在第一电极 210 和导电层 100 之间施加具有直流偏置的交变电场（DC+AC）可以改变第一电极 210 和导电层 100 之间的相互作用力，进而引起振动膜 200 在一定频率下振动；压
30 电力驱动是基于压电材料的逆压电效应，通过在第一压电层 220 两侧的第一电极 210 和

第二电极 230 之间施加交变电场（AC），引起第一压电层 220 的变形，进而驱动振动膜 200 在一定频率下振动；实现了静电力和压电力共同驱动振动膜 200 振动，进而发射超声波。此外，振动膜 200 并非完全的平面结构，尤其是在工作状态，曲面形式的振动膜 200 能够使 MEMS 超声波换能器的性能有大幅提升。因此，本申请提出的静电力和压电力共同驱动的曲面形式超声换能器，将具有非常优异的超声波发射和接收性能。

在非工作状态，振动膜 200 可以为完全的平面结构也可以包括曲线部 210，当振动膜 200 为完全的平面结构时，可以通过在振动膜 200 和导电层 100 之间施加直流电场，使振动膜 200 呈现弯曲状态。

在一些实施例中，如图 1 至图 11 所示，在导电层 100 和振动膜 200 之间还具有第一电介质层 110，第一电介质层 110 起到绝缘作用。在另外一些实施例中，超声波换能器的导电层 100 和振动膜 200 之间可以不具有第一电介质层 110，在这种情况下，可以通过合理设置导电层 100 以及振动膜 200 的形状和/或相对位置等实现导电层 100 和振动膜 200 之间的绝缘关系。

在一些实施例中，导电层空腔 500 内部可以呈真空状态，这样能实现更好的静电力驱动，同时减少了振动膜 200 振动时的阻尼，能够进一步提高振动膜 200 的振动性能。

在一些实施例中，如图 2 所示，导电层 100 远离振动膜 200 的一侧还可以设置有绝缘层 600。其中，绝缘层 600 和导电层 100 可以合称为衬底，该种衬底是一种复合衬底，例如硅（Si）衬底，该复合衬底除包括导电层 100 和绝缘层 600 之外，还可以包括其他层，本申请对此不做限定。在超声波换能器具有绝缘层 600 时，可以将超声波换能器直接键合或粘接在基板上，绝缘层 600 能够对基板和导电层 100 之间起到绝缘作用。

在超声波换能器不具有绝缘层 600 时，若需将超声波换能器键合或粘接在基板上，则需要在超声波换能器和基板之间增加一绝缘层。在一些实施例中，如图 1 至图 8 以及图 10、图 11 所示，导电层 100 靠近振动膜 200 的一侧具有凹部 101，空腔 500 的至少一部分形成于振动膜 200 与凹部 101 之间。

在一些实施例中，如图 1 至图 8 所示，在导电层 100 靠近振动膜 200 的一侧具有凹部 101，空腔 500 的至少一部分形成于振动膜 200 与凹部 101 之间时，振动膜 200 的曲面部 201 朝向凹部 101 弯曲。

在一些实施例中，如图 11 所示，振动膜 200 的曲面部 201 向远离凹部 101 的方向弯曲。具体来讲，该结构中用于施加静电作用力的第一电极 210 和导电层 100 之间的间距

较大，因为增加了间距，因此这种结构在超声波换能器的加工制造工艺上有一定的优势。

在一些实施例中，如图 1 至图 11 所示，第一电介质层 110 设置在导电层 100 靠近振动膜 200 的一侧。

5 在一些实施例中，如图 1 所示，振动膜 200 与导电层 100 上的第一电介质层 110 在器件工作和非工作状态下都不接触。

在一些实施例中，如图 3 所示，在振动膜 200 的曲面部 201 朝向凹部 101 弯曲时，曲面部 201 的顶部区域 2011 与第一电介质层 110 相接触。具体来讲，用于施加静电驱动力的第一电极 210 的中间区域（即曲面部 201 的顶部区域 2011）与第一电介质层 110 相
10 接触。静电驱动力的大小与第一电极 210 和导电层 100 之间的间距紧密相关，相同电荷作用下，第一电极 210 和导电层 100 之间的间距越小，静电作用力越大，能够获得更好的超声波发射性能。

在一些实施例中，如图 4 所示，振动膜 200 的曲面部 201 的顶部区域 2011 与第一电介质层 110 固定连接。具体的，振动膜 200 可以通过键合层 111 键合在第一电介质层
15 110 上。这样有助于形成结构更稳定可靠的具有曲面振动膜的 MEMS 超声波换能器，同时能够帮助 MEMS 超声波换能器形成多种振动模态，有助于改善 MEMS 超声波换能器的带宽特性。

在一些实施例中，如图 5 所示，第一电极 210 包括自下而上设置的第一子电极 211、第二电介质层 212 以及第二子电极 213，第一子电极 211 与导电层 100 之间连接具有
20 有直流偏置的第一交流电源 300，第二子电极 213 与第二电极 230 之间连接第二交流电源 400。具体来讲，在第一子电极 211 和导电层 100 之间施加 DC+AC 信号，实现静电力驱动，在第一压电层 220 两侧的第二子电极 213 和第二电极 230 之间施加 AC 信号，实现压电力驱动；这样，用于静电力和压电力驱动的两对电极之间具有第二电介质层 212，用于阻隔电学影响；且压电力和静电力驱动的电极相互分开，互相不共用，这有助于
25 于简化电路设计，减少公用电极引起的信号干扰。

在一些实施例中，如图 6 所示，振动膜 200 还包括第二压电层 240 以及第三电极 250，第二压电层 240 设置在第二电极 230 远离第一压电层 220 的一侧，第三电极 250 设置在第二压电层 240 远离第二电极 230 的一侧；第二电极 230 和第三电极 250 之间连接第三交流电源 600。具体来讲，振动膜 200 包括第一压电层 220 和第二压电层 240，与单

压电层驱动的 MEMS 超声波换能器相比，在多压电层上同时施加交变电压，能够增加压电驱动力，进一步提高振动膜 200 的振幅，获得性能更加优异的 MEMS 超声换能器。

在一些实施例中，如图 7 和图 8 所示，在振动膜 200 的曲面部 201 朝向凹部 101 弯曲时，凹部 101 为与曲面部 201 的曲度相同的曲面结构。具体来讲，导电层 100 中与振动膜 200 的曲面部 201 竖直方位相对应的区域 b 也可以呈曲面状态，也即凹部 101 与曲面部 201 相对设置，这样在整个曲面区域 b，空腔 500 的深度方向的尺寸是一致的，不存在中心区域间距远小于边缘区域的情况，并且整个区域 b 内，空腔 500 的深度方向的尺寸可以相对较小，较小的间距会使相同条件下，导电层 100 和第一电极 210 之间的静电力提高，获得更好的静电驱动能力。

在一些实施例中，如图 7 和图 8 所示，在振动膜 200 的曲面部 201 朝向凹部 101 弯曲，凹部 101 为与曲面部 201 的曲度相同的曲面结构时，空腔 500 的一部分形成于导电层 100 在凹部 101 之外的平面区域 a 与振动膜 200 之间。具体来讲，在满足需求的情况下，从平行于导电层 100 的方向观察，平面区域 a 的尺寸越小越好，最好是曲面区域 b 的宽度的 1/5 甚至是 1/10 以下，这样使曲面区域 b 的占比能够尽可能的比较高，使得静电和压电同时驱动的 MEMS 超声波换能器获得更好的性能。

在一些实施例中，如图 1 所示，从平行于导电层 100 的方向观察，振动膜 200 的曲面部 201 的宽度 c 大于曲面部 201 的深度 d 的 1/40。例如振动膜 200 的曲面部 201 的宽度 c 大于曲面部 201 的深度 d 的 1/20，更进一步的，振动膜 200 的曲面部 201 的宽度 c 大于曲面部 201 的深度 d 的 1/10。在一些实施例中，如图 9 所示，导电层 100 靠近振动膜 200 的一侧具有凸部 103，空腔 500 的至少一部分形成于振动膜 200 与凸部 103 之间。

在一些实施例中，如图 9 所示，在导电层 100 靠近振动膜 200 的一侧具有凸部 103，空腔 500 的至少一部分形成于振动膜 200 与凸部 103 之间时，振动膜 200 的曲面部 201 向远离凸部 103 的方向弯曲。曲面部 201 的曲度与凸部 103 的曲度可以相同，这样，空腔 500 的至少一部分在深度方向的尺寸可以是一致的，不存在中心区域间距远小于边缘区域的情况，并且在该部分，间距可以设置的相对较小，较小的间距会使相同条件下，第一电极 210 和导电层 100 之间的静电力提高，获得更好的静电驱动能力。

在一些实施例中，如图 7 所示，空腔 500 通过牺牲层工艺实现，振动膜 200 上设置有连通空腔 500 的第一释放通道 202。具体来讲，牺牲层材料可通过位于振动膜 200 内的第一释放通道 202 移除，进而形成空腔 500。

在一些实施例中，如图 7 所示，在空腔 500 通过牺牲层工艺实现，振动膜 200 上设置有连通空腔 500 的第一释放通道 202 时，振动膜 200 远离导电层 100 的一侧设置有密闭保护层 700。为了使空腔 500 内保持真空状态，可在真空状态下，在器件表面沉积密闭保护层 700，进而使空腔 500 内保持真空状态。

- 5 在一些实施例中，如图 8 和图 9 所示，空腔 500 通过牺牲层工艺实现，导电层 100 上设置有连通空腔 500 的第二释放通道 102。牺牲层材料可通过位于导电层 100 上的第二释放通道 102 移除，进而形成空腔 500。为了使空腔 500 内保持真空状态，可在真空条件下，通过键合的方式，将导电层 100 远离振动膜 200 的一侧键合到绝缘层 600 上；或者，如图 10 所示，在第二释放通道 102 同时贯穿导电层 100 和绝缘层 600 时，为了使
10 空腔 500 内保持真空状态，可在真空条件下，通过键合的方式，将绝缘层 600 远离导电层 100 的一侧键合到基板 1000 上。

根据本申请实施例的第二方面，本申请还提供一种电子设备，包括上述任一实施例所述的超声波换能器。

- 在该电子设备结构中主要利用所述超声波换能器优异的超声波发射和接收性能，进
15 而能够实现高性能的电子设备，例如超声成像仪、超声雷达、声呐探测器、扫地机器人、超声烟雾报警器、超声流量计等。所述超声波换能器的结构可以参照本申请第一方面的实施例，在此不再赘述。

- 需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。术语“上”、“下”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；
25

可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述，各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。、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说明书实施例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须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。

本申请中应用了具体实施例对本申请的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本申请的方法及其核心思想；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本申请的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上所述，本说明书内容不应理解为对本申请的限制。

权利要求书

1、一种超声波换能器，其特征在于，包括导电层以及设置在所述导电层上的振动膜；其中，

5 所述振动膜包括自下而上层叠设置的第一电极、第一压电层以及第二电极，所述第一电极和所述导电层之间连接具有直流偏置的第一交流电源，所述第一电极和所述第二电极之间连接第二交流电源；

10 所述导电层与所述振动膜之间形成有空腔；在所述振动膜在工作状态时，从平行于所述导电层的方向观察，所述振动膜与所述空腔相对的部分呈曲面，或者，在所述振动膜在工作状态以及不在工作状态时，从平行于所述导电层的方向观察，所述振动膜与所述空腔相对的部分均呈曲面。

2、根据权利要求1所述的超声波换能器，其特征在于，在所述导电层和所述振动膜之间还具有第一电介质层。

3、根据权利要求1所述的超声波换能器，其特征在于，所述导电层远离所述振动膜的一侧还设置有绝缘层。

15 4、根据权利要求1所述的超声波换能器，其特征在于，所述导电层靠近所述振动膜的一侧具有凹部，所述空腔的至少一部分形成于所述振动膜与所述凹部之间；或

所述导电层靠近所述振动膜的一侧具有凸部，所述空腔的至少一部分形成于所述振动膜与所述凸部之间。

20 5、根据权利要求4所述的超声波换能器，其特征在于，在所述导电层靠近所述振动膜的一侧具有凹部，所述空腔的至少一部分形成于所述振动膜与所述凹部之间时，

所述振动膜的曲面部朝向所述凹部弯曲；或

所述振动膜的曲面部向远离所述凹部的方向弯曲。

6、根据权利要求5所述的超声波换能器，其特征在于，所述第一电介质层设置在所述导电层靠近所述振动膜的一侧。

25 7、根据权利要求6所述的超声波换能器，其特征在于，在所述振动膜的曲面部朝向所述凹部弯曲时，所述曲面部的顶部区域与所述第一电介质层相接触。

8、根据权利要求7所述的超声波换能器，其特征在于，所述曲面部的顶部区域与所述第一电介质层固定连接。

30 9、根据权利要求6所述的超声波换能器，其特征在于，在所述振动膜的曲面部朝向所述凹部弯曲时，所述凹部为与所述曲面部的曲度相同的曲面结构。

10、根据权利要求 9 所述的超声波换能器，其特征在于，所述空腔的一部分形成于所述导电层在所述凹部之外的平面区域与所述振动膜之间。

11、根据权利要求 10 所述的超声波换能器，其特征在于，从平行于所述导电层的方向观察，所述平面区域的宽度小于所述凹部的宽度的 $1/5$ 。

5 12、根据权利要求 4 所述的超声波换能器，其特征在于，在所述导电层靠近所述振动膜的一侧具有凸部，所述空腔的至少一部分形成于所述振动膜与所述凸部之间时，所述振动膜的曲面部向远离所述凸部的方向弯曲。

13、根据权利要求 12 所述的超声波换能器，其特征在于，所述曲面部的曲度与所述凸部的曲度相同。

10 14、根据权利要求 9 或 13 所述的超声波换能器，其特征在于，所述空腔通过牺牲层工艺实现，所述振动膜上设置有连通所述空腔的第一释放通道。

15、根据权利要求 14 所述的超声波换能器，其特征在于，所述振动膜远离所述导电层的一侧设置有密闭保护层。

15 16、根据权利要求 9 或 13 所述的超声波换能器，其特征在于，所述空腔通过牺牲层工艺实现，所述导电层上设置有连通所述空腔的第二释放通道。

17、根据权利要求 1 至 13 任一项所述的超声波换能器，其特征在于，所述空腔内部呈真空状态。

18、根据权利要求 1 至 13 任一项所述的超声波换能器，其特征在于，从平行于所述导电层的方向观察，所述振动膜的曲面部的宽度大于所述曲面部的深度的 $1/40$ 。

20 19、根据权利要求 18 所述的超声波换能器，其特征在于，从平行于所述导电层的方向观察，所述振动膜的曲面部的宽度大于所述曲面部的深度的 $1/20$ 。

20、根据权利要求 19 所述的超声波换能器，其特征在于，从平行于所述导电层的方向观察，所述振动膜的曲面部的宽度大于所述曲面部的深度的 $1/10$ 。

25 21、根据权利要求 1 至 13 任一项所述的超声波换能器，其特征在于，所述第一电极包括自下而上设置的第一子电极、第二电介质层以及第二子电极。

22、根据权利要求 21 所述的超声波换能器，其特征在于，所述第一子电极与所述导电层之间连接具有直流偏置的所述第一交流电源，所述第二子电极与所述第二电极之间连接所述第二交流电源。

23、根据权利要求 1 至 13 任一项所述的超声波换能器，其特征在于，所述振动膜还包括第二压电层以及第三电极，所述第二压电层设置在所述第二电极远离所述第一压电层的一侧，所述第三电极设置在所述第二压电层远离所述第二电极的一侧。

24、根据权利要求 23 所述的超声波换能器，其特征在于，所述第二电极和所述第三
5 电极之间连接第三交流电源。

25、一种电子设备，其特征在于，包括上述权利要求 1 至 24 任一项所述的超声波换能器。

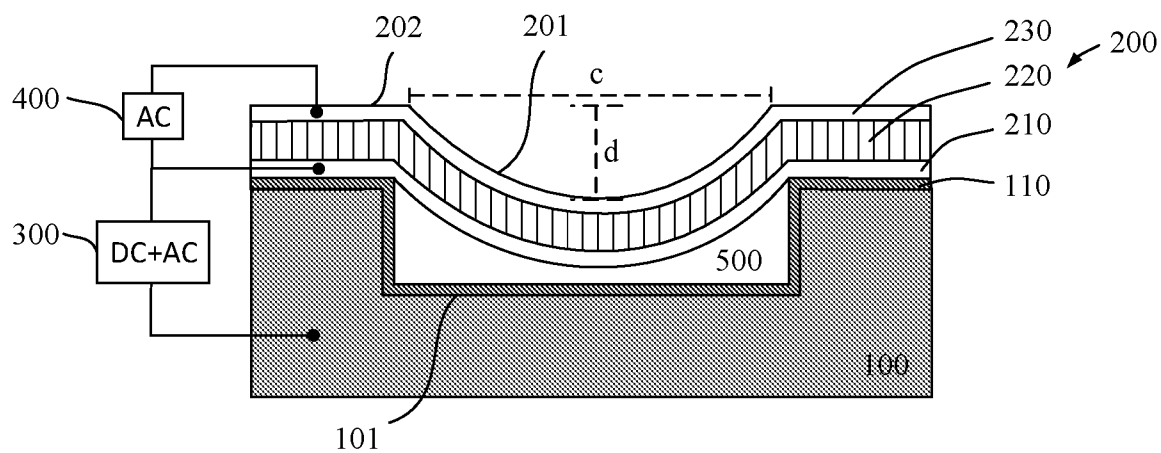


图 1

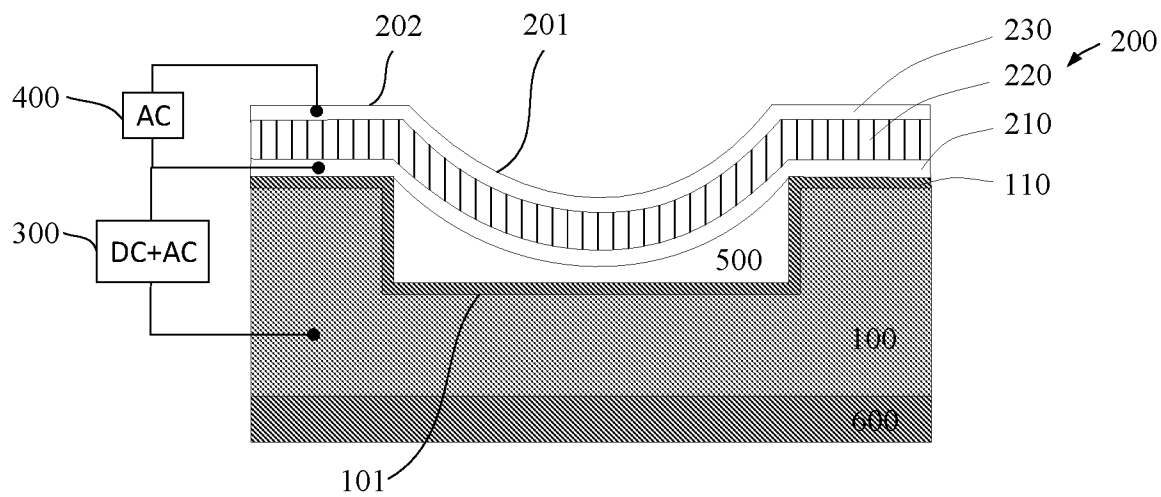


图 2

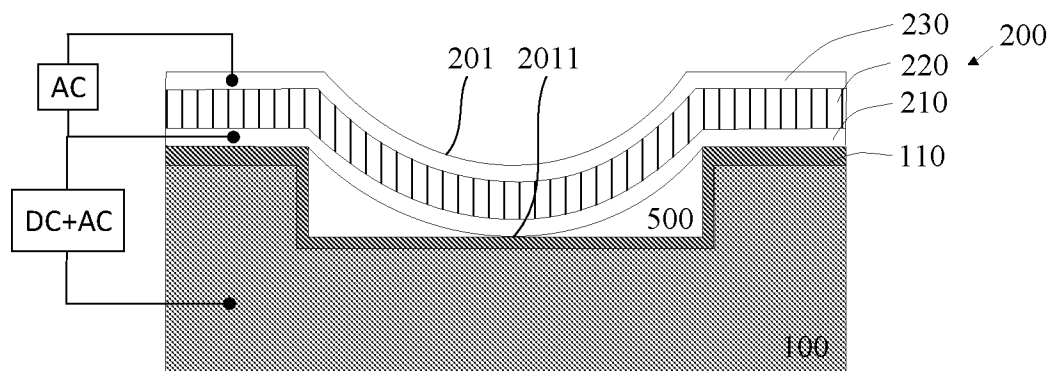


图 3

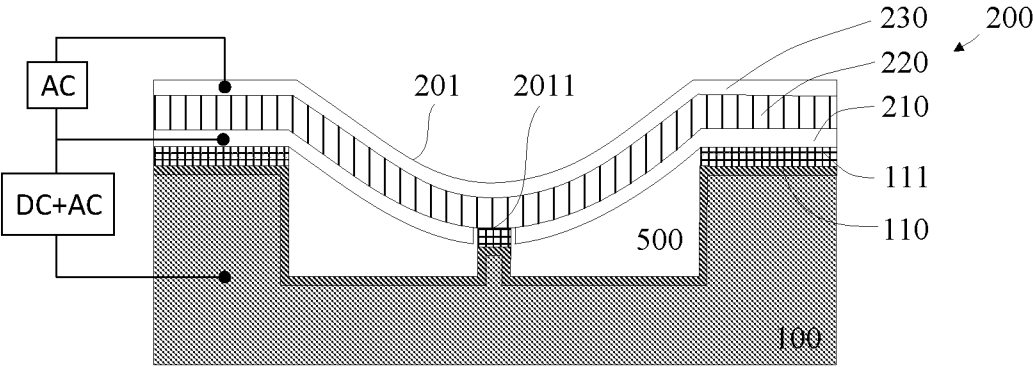


图 4

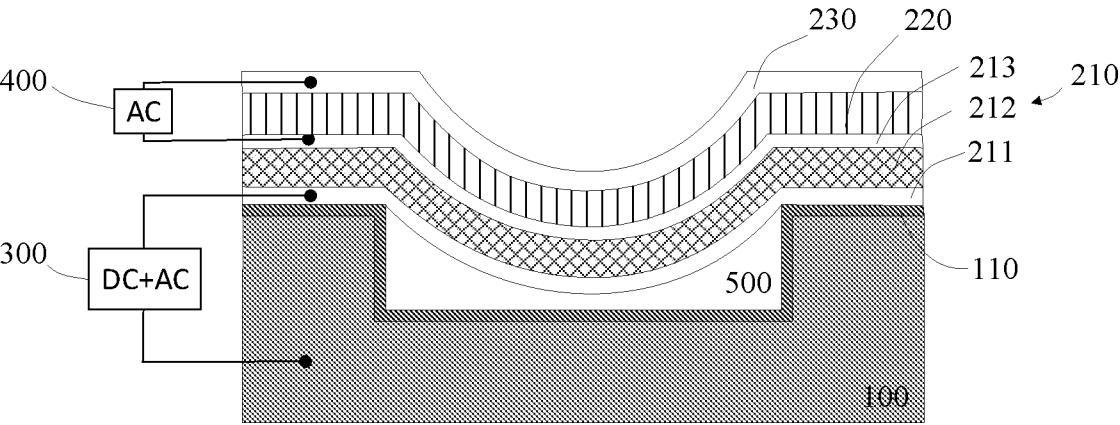


图 5

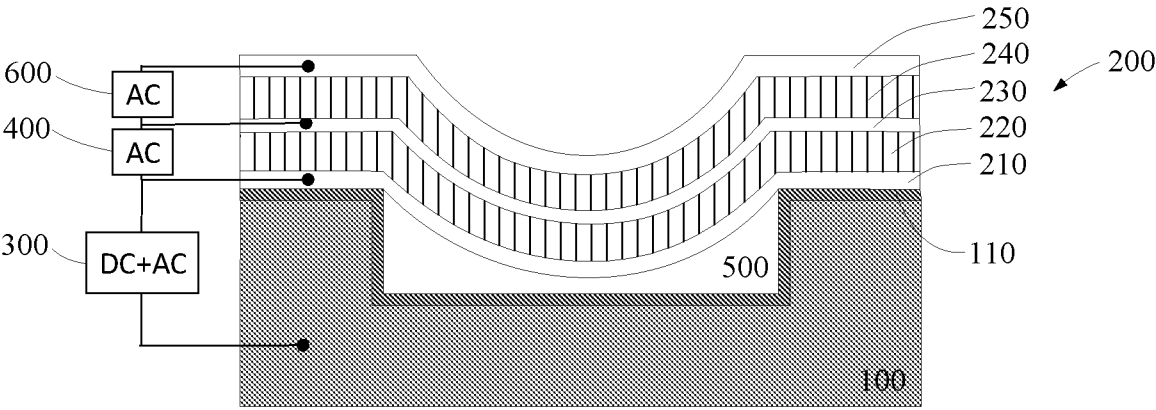


图 6

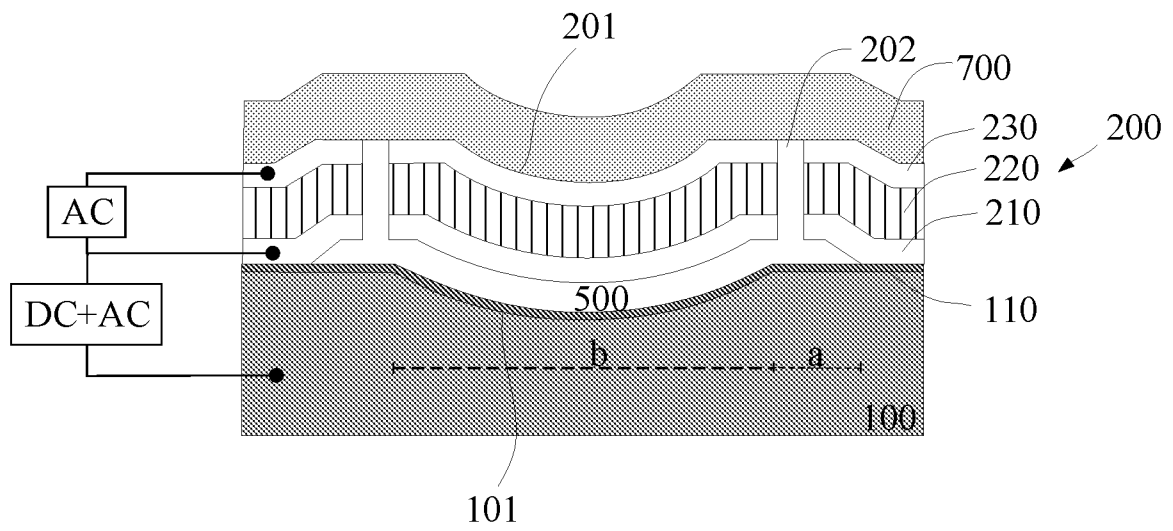


图 7

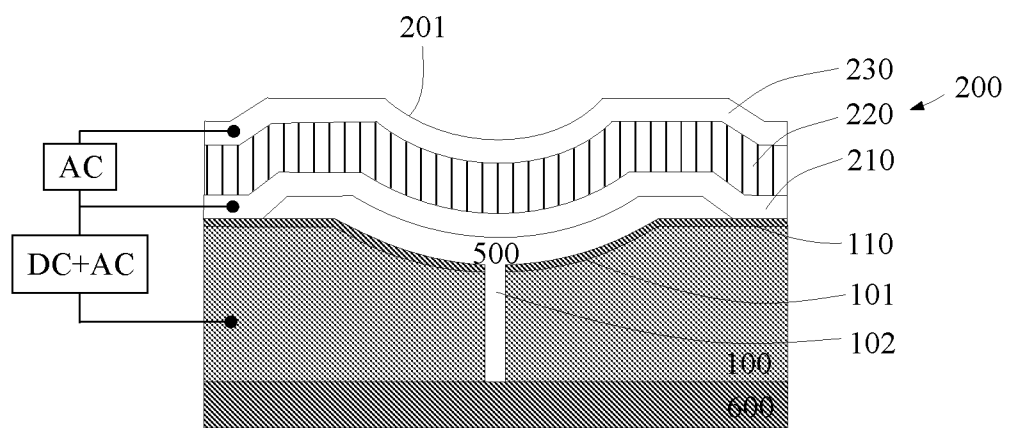


图 8

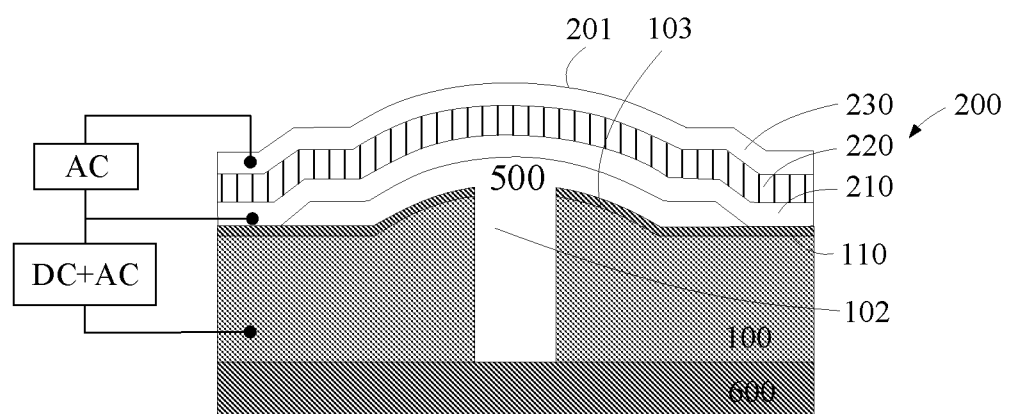


图 9

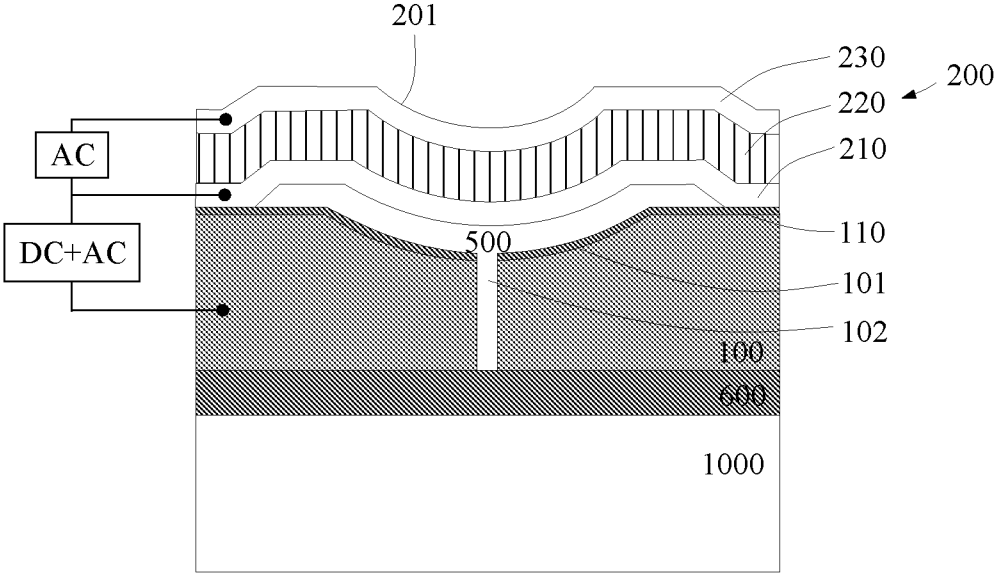


图 10

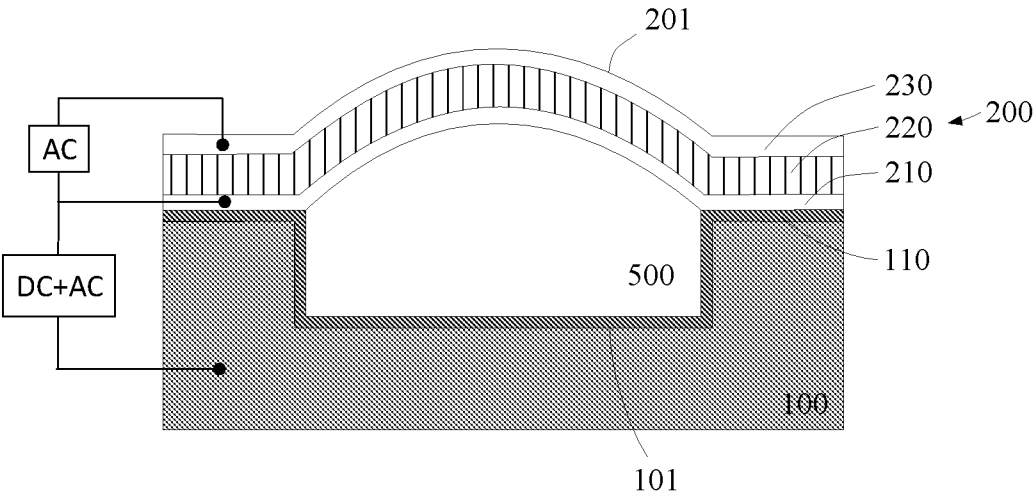


图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/071513

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B06B 1/06(2006.01)i 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) IPC: B06B, B81B, H02N, H04R, A61B, G01N, G01H 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) DWPI, CNABS, CNTXT, CJFD, GBTXT, CATXT, SGTXT, ATXT, EPTXT, LEXTXT, USTXT, CHTXT, WOTXT: 超声, 换能器, 层, 导电, 振动, 膜, 电极, 第二, 交流, 腔, 曲面, 凹, 凸, 接触, 固定, 宽度, 深度, 保护层, 通道, 真空, 电源, 第三, ultrasound, transducer, layer, conduct+, vibrat+, membrane, electrode, second, alternating current, cavity, curved, concave, convex, contact, fixed, width, depth, protective layer, channel, vacuum, power supply, third		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 110508474 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 29 November 2019 (2019-11-29) description, embodiment 1, and figures 1a and 3	1-7, 21-25
Y	CN 110508474 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 29 November 2019 (2019-11-29) description, embodiment 1, and figures 1a and 3	1, 8
Y	CN 110523607 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 03 December 2019 (2019-12-03) description, paragraphs 0044-0082, and figures 1-7	8
Y	CN 101238754 A (HITACHI, LTD. et al.) 06 August 2008 (2008-08-06) description, embodiment 7, and figure 32	1
A	CN 107520110 A (AAC TECHNOLOGIES (SINGAPORE) CO., LTD.) 29 December 2017 (2017-12-29) entire document	1-25
A	CN 115055356 A (FUDAN UNIVERSITY) 16 September 2022 (2022-09-16) entire document	1-25
☒ 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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 22 March 2024		Date of mailing of the international search report 29 March 2024
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012095112 A (OLYMPUS CORP.) 17 May 2012 (2012-05-17) entire document	1-25
A	US 2020374636 A1 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES) 26 November 2020 (2020-11-26) entire document	1-25
A	US 2011095645 A1 (CANON K. K.) 28 April 2011 (2011-04-28) entire document	1-25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2024/071513

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110508474	A	29 November 2019	CN	110508474	B	27 October 2020
CN	110523607	A	03 December 2019	CN	110523607	B	18 August 2020
CN	101238754	A	06 August 2008	JP	2012023735	A	02 February 2012
				JP	5391241	B2	15 January 2014
				JPWO	2007046180	A1	23 April 2009
				JP	4909279	B2	04 April 2012
				JP	2008118168	A	22 May 2008
				JP	4740770	B2	03 August 2011
				EP	1950997	A1	30 July 2008
				EP	1950997	B1	09 October 2019
				US	2009301200	A1	10 December 2009
				US	8397574	B2	19 March 2013
				CN	104646260	A	27 May 2015
				CN	104646260	B	28 August 2018
CN	107520110	A	29 December 2017	None			
CN	115055356	A	16 September 2022	None			
JP	2012095112	A	17 May 2012	None			
US	2020374636	A1	26 November 2020	EP	3670004	A1	24 June 2020
				FR	3090421	A1	26 June 2020
				FR	3090421	B1	25 December 2020
				US	11039255	B2	15 June 2021
US	2011095645	A1	28 April 2011	JP	2009100460	A	07 May 2009
				JP	5408937	B2	05 February 2014
				US	8410659	B2	02 April 2013

A. 主题的分类

B06B 1/06(2006.01)i

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)

IPC: B06B, B81B , H02N, H04R, A61B, G01N, G01H

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))

DWPI, CNABS, CNTXT, CJFD, GBTXT, CATXT, SGTXT, ATTXT, EPTXT, LEXTXT, USTXT, CHTXT, WOTXT: 超声, 换能器, 层, 导电, 振动, 膜, 电极, 第二, 交流, 腔, 曲面, 凹, 凸, 接触, 固定, 宽度, 深度, 保护层, 通道, 真空, 电源, 第三, ultrasound, transducer, layer, conduct+, vibrat+, membrane, electrode, se-cond, alternating current, cavity, curved, concave, convex, contact, fixed, width, depth, protective layer, channel, vacuum, power supply, third

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 110508474 A (西安交通大学) 2019年11月29日 (2019 - 11 - 29) 说明书实施例1;附图1a,3	1-7,21-25
Y	CN 110508474 A (西安交通大学) 2019年11月29日 (2019 - 11 - 29) 说明书实施例1;附图1a,3	1, 8
Y	CN 110523607 A (西安交通大学) 2019年12月3日 (2019 - 12 - 03) 说明书第0044-0082段;附图1-7	8
Y	CN 101238754 A (株式会社日立制作所 等) 2008年8月6日 (2008 - 08 - 06) 说明书实施例7;附图32	1
A	CN 107520110 A (瑞声科技(新加坡)有限公司) 2017年12月29日 (2017 - 12 - 29) 全文	1-25
A	CN 115055356 A (复旦大学) 2022年9月16日 (2022 - 09 - 16) 全文	1-25

☒ 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

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“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

2024年3月22日

国际检索报告邮寄日期

2024年3月29日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

吴全伟

电话号码 (+86) 010-53962948

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

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	JP 2012095112 A (OLYMPUS CORP.) 2012年5月17日 (2012 - 05 - 17) 全文	1-25
A	US 2020374636 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 2020年11月26日 (2020 - 11 - 26) 全文	1-25
A	US 2011095645 A1 (CANON K.K.) 2011年4月28日 (2011 - 04 - 28) 全文	1-25

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2024/071513

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	110508474	A	2019年11月29日	CN	110508474	B	2020年10月27日
CN	110523607	A	2019年12月3日	CN	110523607	B	2020年8月18日
CN	101238754	A	2008年8月6日	JP	2012023735	A	2012年2月2日
				JP	5391241	B2	2014年1月15日
				JPWO	2007046180	A1	2009年4月23日
				JP	4909279	B2	2012年4月4日
				JP	2008118168	A	2008年5月22日
				JP	4740770	B2	2011年8月3日
				EP	1950997	A1	2008年7月30日
				EP	1950997	B1	2019年10月9日
				US	2009301200	A1	2009年12月10日
				US	8397574	B2	2013年3月19日
				CN	104646260	A	2015年5月27日
				CN	104646260	B	2018年8月28日
CN	107520110	A	2017年12月29日	无			
CN	115055356	A	2022年9月16日	无			
JP	2012095112	A	2012年5月17日	无			
US	2020374636	A1	2020年11月26日	EP	3670004	A1	2020年6月24日
				FR	3090421	A1	2020年6月26日
				FR	3090421	B1	2020年12月25日
				US	11039255	B2	2021年6月15日
US	2011095645	A1	2011年4月28日	JP	2009100460	A	2009年5月7日
				JP	5408937	B2	2014年2月5日
				US	8410659	B2	2013年4月2日