



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113689840 B

(45) 授权公告日 2024.09.24

(21) 申请号 202110979785.1

(56) 对比文件

(22) 申请日 2021.08.25

许卫锴;张蒙;王伟.声学超表面研究及应用进展.功能材料.2017,(11),正文第11054页第1节-第11057页第2节,图1-图4.

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 杨丹

申请公布号 CN 113689840 A

(43) 申请公布日 2021.11.23

(73) 专利权人 南京林业大学

地址 210000 江苏省南京市龙蟠路159号

(72) 发明人 钱宇航 胡洁

(74) 专利代理机构 山东明宇知信知识产权代理

事务所(普通合伙) 37329

专利代理人 钟文强

(51) Int.Cl.

G10K 11/16 (2006.01)

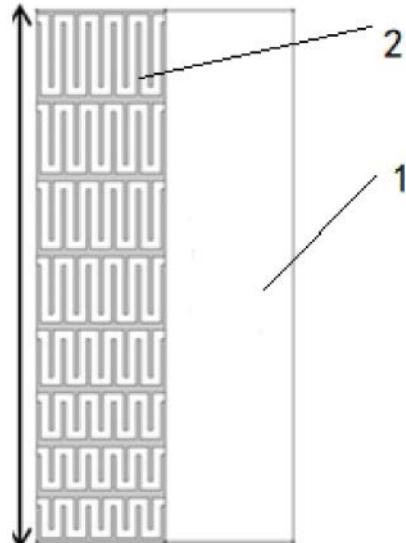
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种声波非对称传播装置

(57) 摘要

本发明属于噪声控制设备技术领域,具体涉及一种声波非对称传播装置。包括:气介质层,充斥有气体介质,所述气体介质对所述目标声波的折射率小于空气;和相位梯度层,为卷曲迷宫结构,与所述气介质层的一面贴合设置,用于对所述目标声波附加相位并折射传输。本发明仅采用贴合设置的相位梯度层和气介质层,就能够实现声音的非对称传播;自气介质层一方传来的垂直声波和小入射角声波,可以穿过本设备;而自相位梯度层传来的垂直声波和小入射角声波,无法穿过本设备,进而实现了单面隔音。本发明同时还具有厚度小和低成本的优点。



1. 一种声波非对称传播装置,其特征在于,应用于目标声波的非对称传播,包括:  
气介质层,充斥有气体介质,所述气体介质对所述目标声波的折射率小于空气;  
相位梯度层,为卷曲迷宫结构,与所述气介质层的一面贴合设置,用于对所述目标声波附加相位并折射传输;  
所述相位梯度层对所述目标声波附加的相位梯度满足:  
 $0^\circ$ 入射角入射时,相位梯度大于 $2\pi f/c_{II}$ ;  
 $0^\circ$ 入射角入射时,相位梯度小于 $2\pi f/c_I$ ;其中: $c_I$ 为所述目标声波在空气的传播速度; $c_{II}$ 为所述目标声波在所述空气中的传播速度;  
 $f$ 为所述目标声波的频率;  
所述气体介质为氦气;  
所述目标声波的频率为10000Hz - 10500Hz;  
所述声波非对称传播装置还包括中间空气层;所述中间空气层设置在所述气介质层与所述相位梯度层之间,两面分别贴合所述气介质层和所述相位梯度层。
2. 根据权利要求1所述的声波非对称传播装置,其特征在于,所述相位梯度层的厚度为10mm。
3. 根据权利要求1所述的声波非对称传播装置,其特征在于,所述气介质层的厚度为10-20mm。
4. 根据权利要求1所述的声波非对称传播装置,其特征在于,中间空气层的厚度为10-20mm。

## 一种声波非对称传播装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于噪声控制设备技术领域,具体涉及一种声波非对称传播装置。

### 背景技术

[0002] 声学超材料是人工制造的一种复合结构。由于它结构尺寸单元远小于声波波长,具有很多自然材料所不具备的特殊性质,极大地扩展了声学材料的内涵及其应用领域。采用声学超材料制造相位梯度层,具有自然界中不存在的奇异声学性质。

[0003] 声超材料及声超表面的出现与发展,出现许多实现声波非对称传输的方法,但其结构与相对复杂,适用范围较小。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明提出一种声波非对称传播装置,仅采用贴合设置的相位梯度层和气介质层,就能够实现声音的非对称传播;自气介质层一方传来的垂直声波和小入射角声波,可以穿过本设备;而自相位梯度层传来的垂直声波和小入射角声波,无法穿过本设备,进而实现了单面隔音。本发明同时还具有厚度小和低成本的优点。

[0005] 为了达到上述技术效果,本发明所采用的具体技术方案为:

[0006] 一种声波非对称传播装置,应用于目标声波的非对称传播,包括:

[0007] 气介质层,充斥有气体介质,所述气体介质对所述目标声波的折射率小于空气;

[0008] 相位梯度层,为卷曲迷宫结构,与所述气介质层的一面贴合设置,用于对所述目标声波附加相位并折射传输;

[0009] 所述相位梯度层对所述目标声波附加的相位梯度满足:

[0010]  $0^\circ$ 入射角入射时,相位梯度大于 $2\pi f/c_I$ ;

[0011]  $0^\circ$ 入射角入射时,相位梯度小于 $2\pi f/c_{II}$ ;

[0012] 其中: $c_I$ 为所述目标声波在空气的传播速度; $c_{II}$ 为所述目标声波在所述空气中的传播速度;

[0013]  $f$ 为所述目标声波的频率。

[0014] 进一步的,所述气体介质为氦气。

[0015] 进一步的,所述目标声波的频率为10000Hz-10500Hz。

[0016] 进一步的,所述相位梯度层对所述目标声波的折射传输满足:

[0017]  $0^\circ$ 入射角入射时,折射角大于 $21^\circ$

[0018] 进一步的,所述相位梯度层对所述目标声波的折射传输满足:

[0019]  $0^\circ$ 入射角入射时,折射角小于 $90^\circ$ 。

[0020] 进一步的,所述相位梯度层的厚度为10mm。

[0021] 进一步的,所述气介质层的厚度为10-20mm。

[0022] 进一步的,所述声波非对称传播装置还包括中间空气层;所述中间空气层设置在所述气介质层与所述相位梯度层之间,两面分别贴合所述气介质层和所述相位梯度层。

[0023] 进一步的,中间空气层的厚度为10-20mm。

## 附图说明

[0024] 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它的附图。

[0025] 图1为本发明具体实施方式中一种声波非对称传播装置的结构示意图;

[0026] 图2为本发明具体实施方式中一种声波非对称传播装置的声波正向传输示意图;

[0027] 图3为本发明具体实施方式中一种声波非对称传播装置的声波反向传输示意图;

[0028] 图4为本发明具体实施方式中另一种声波非对称传播装置的结构示意图;

[0029] 其中:1、气介质层;2、相位梯度层;3、中间空气层。

## 具体实施方式

[0030] 下面结合附图对本发明实施例进行详细描述。

[0031] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。需说明的是,在不冲突的情况下,以下实施例及实施例中的特征可以相互组合。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0032] 要说明的是,下文描述在所附权利要求书的范围内的实施例的各种方面。应显而易见,本文中所描述的方面可体现于广泛多种形式中,且本文中所描述的任何特定结构及/或功能仅为说明性的。基于本发明,所属领域的技术人员应了解,本文中所描述的一个方面可与任何其它方面独立地实施,且可以各种方式组合这些方面中的两者或两者以上。举例来说,可使用本文中所阐述的任何数目个方面来实施设备及/或实践方法。另外,可使用除了本文中所阐述的方面中的一或者者之外的其它结构及/或功能性实施此设备及/或实践此方法。

[0033] 还需要说明的是,以下实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本发明的基本构想,图式中仅显示与本发明中有关的组件而非按照实际实施时的组件数目、形状及尺寸绘制,其实际实施时各组件的型态、数量及比例可为一种随意的改变,且其组件布局型态也可能更为复杂。

[0034] 另外,在以下描述中,提供具体细节是为了便于透彻理解实例。然而,所属领域的技术人员将理解,可在没有这些特定细节的情况下实践所述方面。

[0035] 在本发明的一个实施例中,提出一种声波非对称传播装置,应用于目标声波的非对称传播,如图1所示,包括:

[0036] 气介质层1,充斥有气体介质,所述气体介质对所述目标声波的折射率小于空气;

[0037] 相位梯度层2,为卷曲迷宫结构,与所述气介质层1的一面贴合设置,用于对所述目标声波附加相位并折射传输;

- [0038] 所述相位梯度层对所述目标声波附加的相位梯度满足：
- [0039]  $0^\circ$ 入射角入射时,相位梯度大于 $2\pi f/c_I$ ;
- [0040]  $0^\circ$ 入射角入射时,相位梯度小于 $2\pi f/c_{II}$ ;
- [0041] 其中: $c_I$ 为所述目标声波在空气的传播速度; $c_{II}$ 为目标声波在空气中的传播速度;
- [0042]  $f$ 为目标声波的频率。
- [0043] 在本实施例中,气体介质为氦气。
- [0044] 在本实施例中,所述目标声波的频率为10000Hz-10500Hz。
- [0045] 在本实施例中,所述相位梯度层对所述目标声波的折射传输满足：
- [0046]  $0^\circ$ 入射角入射时,折射角大于 $21^\circ$
- [0047] 在本实施例中,所述相位梯度层对所述目标声波的折射传输满足：
- [0048]  $0^\circ$ 入射角入射时,折射角小于 $90^\circ$ 。
- [0049] 在本实施例中,所述相位梯度层2的厚度为10mm。
- [0050] 在本实施例中,所述气介质层1的厚度为10-20mm。
- [0051] 以下就本实施例的实际使用情况进行进一步说明:
- [0052]  $0^\circ$ 入射角时,正向(自气介质层1至相位梯度层2)应满足广义斯涅尔折射定律:

$$[0053] n_{II} \sin \theta_i + \frac{d\varphi(x)}{dx} \cdot \frac{\lambda_I}{2\pi} = n_I \sin \theta_{t1}$$

[0054] 其中 $\theta_i$ 为入射角, $n_I$  $n_{II}$ 分别为目标声波在空气和氦气中的折射率, $n_{II} = \frac{c_I}{c_{II}} n_I$ , $c_I$ ,

$c_{II}$ 分别为目标声波在空气和氦气中的声速,取 $c_I=343m/s$ , $c_{II}=958m/s$ , $n_I$ 取1, $d\varphi(x)/dx$ 是相位梯度层2的相位梯度,其值为 $2\pi/s$ , $s$ 为相位梯度层2的长度。 $\lambda_I$ 为目标声波在空气中的波长,可用 $c_I/f$ 表示, $\theta_{t1}$ 为从空气的出射角,目标声波垂直入射即 $\theta_i=0$ ,则可得:

$$[0055] \theta_{t1} = \arcsin \left[ \frac{c_I}{2\pi f} \frac{d\varphi(x)}{dx} \right]$$

[0056] 将 $2\pi f/c_I$ 记为 $k_I$ ,只要满足 $\frac{d\varphi(x)}{dx} < k_I$ ,就可以保证正向有目标声波出射如图2所示。根据式2可得到 $\theta_i=0$ 时 $\theta_{t1}$ 为 $51.8^\circ$ 。

[0057] 反向垂直传播时(自相位梯度层2至气介质层1):

$$[0058] \theta_{t2} = \arcsin \left[ \frac{c_{II}}{2\pi f} \frac{d\varphi(x)}{dx} \right]$$

[0059] 记 $2\pi f/c_{II}$ 为 $k_{II}$ 当满足 $\frac{d\varphi(x)}{dx} > k_{II}$ 时,就能够保证目标声波不能够反向传输,如图3所示。

[0060] 要实现声单向传输,要满足的前提条件为: $k_I < \frac{d\varphi(x)}{dx} < k_{II}$

[0061] 斜入射:当目标声波从空气中斜入射进入氦气时,由于Snell定律,存在一个临界角 $\theta_{cr}$ :

$$[0062] n_I \sin \theta_i = n_{II} \sin \theta_t$$

$$[0063] \quad \theta_{cr} = \arcsin \frac{c_1}{c_{||}} = 21^\circ$$

[0064] 在未达到临界角( $21^\circ$ )时会发生折射,超过临界角则发生全反射,所以斜入射的入射角超过临界角后从正向入射的目标声波基本无法通过氦气。从反向入射先经过梯度结构再从氦气出射,由于是斜入射,出射角

$$[0065] \quad \theta_{t3} = \arcsin \left[ \frac{n_{||}}{n_1} \sin \theta_i + \frac{d\varphi(x)}{dx} \cdot \frac{\lambda_1}{2\pi n_1} \right]$$

[0066] 计算得到当 $\theta_i$ 为 $36.8^\circ$ 时, $\theta_{t3}$ 为 $1$ 。根据理论推测:入射角小于 $21^\circ$ 时,从正向入射可以透射出去,从反向则不行,与垂直入射相同;入射角大于 $21^\circ$ 小于 $36.8^\circ$ 时,从反向可以透射,从正向不行,与垂直入射相反;入射角超过 $36.8^\circ$ ,则从两侧都无法透射。

[0067] 在本发明的一个实施例中,如图4所示,所述声波非对称传播装置还包括中间空气层3;所述中间空气层3设置在所述气介质层1与所述相位梯度层2之间,两面分别贴合所述气介质层1和所述相位梯度层2。中间空气层3的厚度为 $10\text{-}20\text{mm}$ 。本实施例只支持垂直入射,改变入射角就失去非对称声传播的能力。

[0068] 目标声波从梯度结构射向空气,出射角满足

$$[0069] \quad \theta_t = \arcsin \left[ \frac{1}{k} \frac{d\varphi(x)}{dx} \right] = \arcsin \left( \frac{\lambda}{2\pi s} \right) = \arcsin \frac{\lambda}{s}$$

[0070]  $k$ 是空气中的波数, $\frac{d\varphi(x)}{dx}$ 是相位梯度, $\lambda$ 是空气中的波长, $s$ 是覆盖 $2\pi$ 范围结构的长度,这里是 $0.042$ ,计算得到 $k = 190.3$ , $\frac{d\varphi(x)}{dx} = 149.5$ , $\theta_t = 51.8^\circ$ 即穿过卷曲迷宫结构的目标声波折射角为 $51.8^\circ$ 。对于氦气来说,从卷曲迷宫结构出射的目标声波以 $51.8^\circ$ 从空气斜入射进入氦气,根据斯涅尔定律,入射角和透射角满足:

$$[0071] \quad \sin \theta_t = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i = \frac{c_2}{c_1} \sin \theta_i$$

[0072] 其中, $\theta_i$ 为入射角, $\theta_t$ 为透射角, $n_1$ 为空气的折射率, $n_2$ 为氦气的折射率当 $\sin \theta_t$ 达到 $1$ 时,此时目标声波不发生折射,, $\sin \theta_t$ 等于 $1$ 时,从空气到氦气的临界入射角为 $20^\circ$ ,而此时入射角为 $51.8^\circ$ 大于 $20^\circ$ ,会发生全反射,从而使目标声波反向传输时被结构所阻,无法透射。

[0073] 目标声波从空气正入射,从空气到氦气再到空气的传输过程中目标声波传输方向不改变,之后该目标声波遇到带有附加相位的梯度结构,此时满足正入射条件,所以最终在相位梯度层2一侧空气中的折射波的折射角为:

$$[0074] \quad \theta_t = \arcsin \left[ \frac{1}{k} \frac{d\varphi(x)}{dx} \right] = 51.8^\circ$$

[0075] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

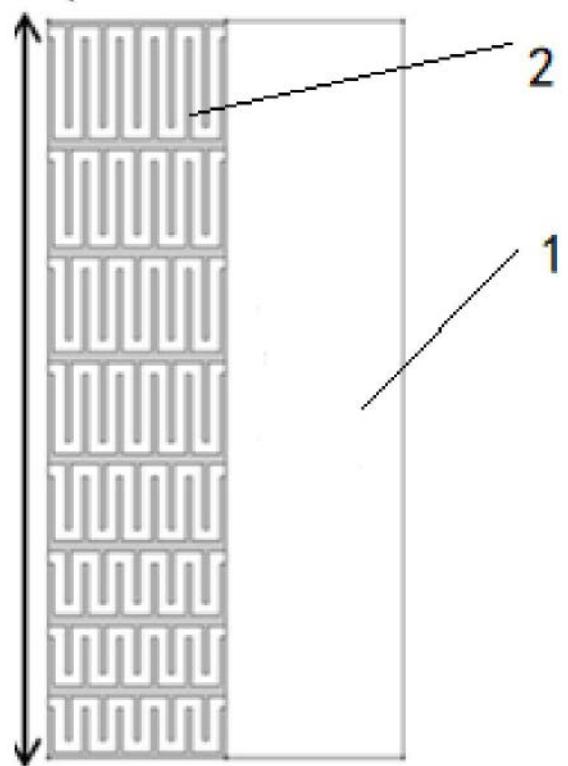


图1

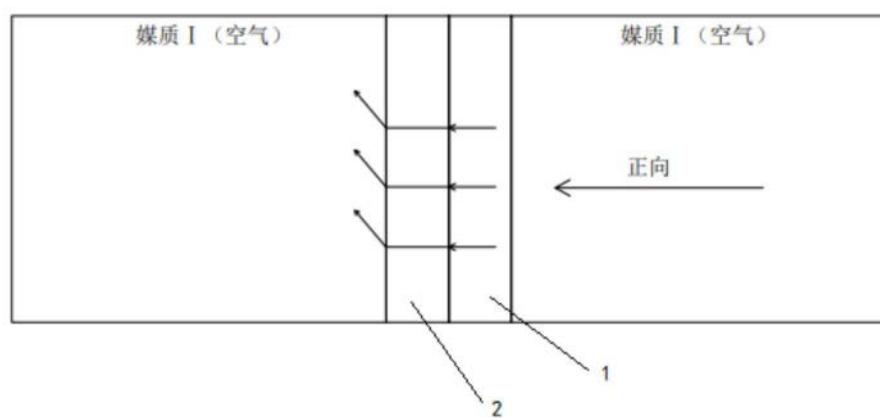


图2

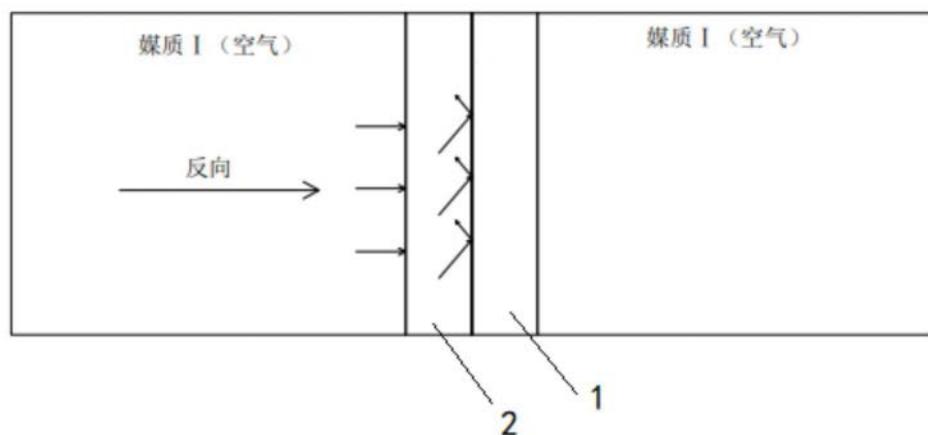


图3

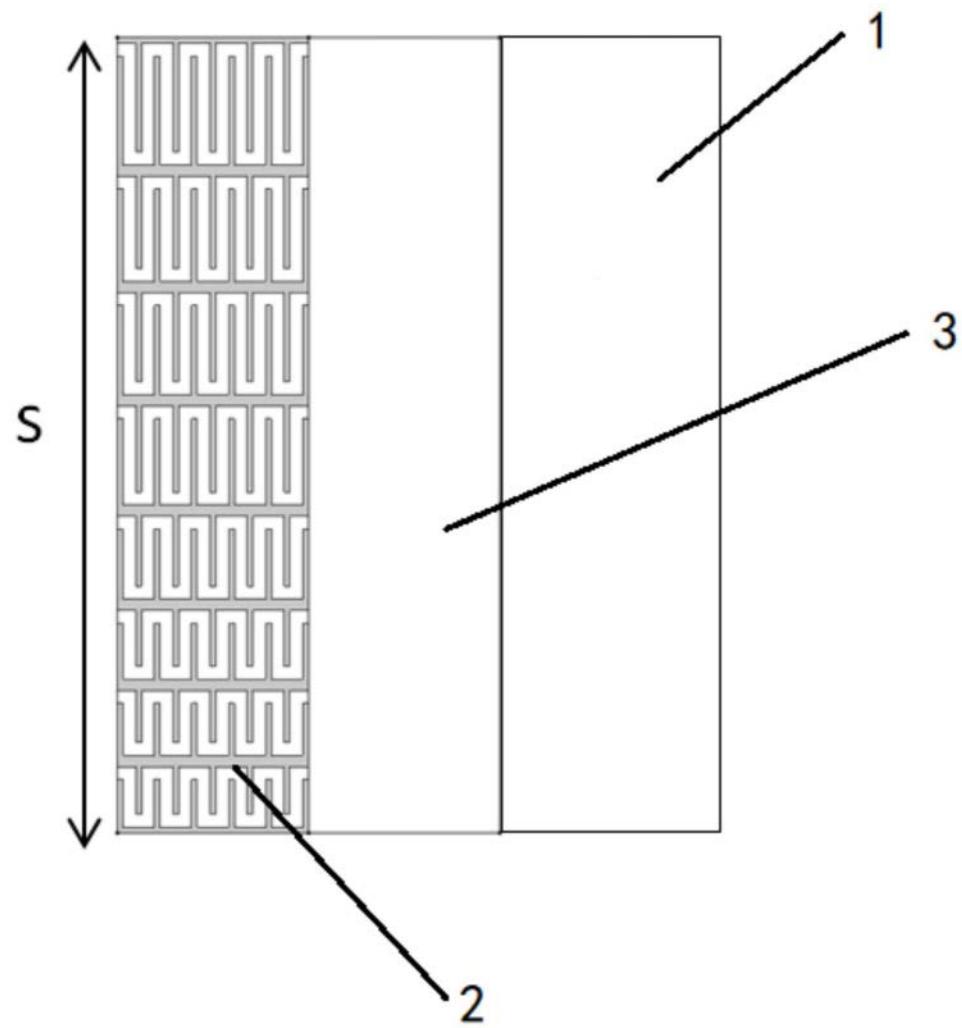


图4