

一维三组元杆状结构声子晶体带隙研究*

邱学云¹, 胡家光^{1,2}

(1. 文山学院 数理系, 云南 文山 663000; 2. 云南大学 物理系, 昆明 650091)

摘要:采用集中质量法对一维三组元杆状结构声子晶体带隙特征进行计算,将其与一维二组元杆状结构声子晶体进行比较。研究表明,一维三组元结构声子晶体能有效拓宽带隙频率范围且能降低起止频率。在一维二组元(铝/塑料)声子晶体组份材料铝和塑料之间插入丁腈橡胶前后,保证2个模型的晶格常数 $a=0.3\text{ m}$ 、自由度总数300相同。当组份比 t 为1时,三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)声子晶体可以降低第1带隙的起始频率463.7 Hz、截止频率2 108.1 Hz。当三组元声子晶体晶格常数 a 由0.03 m增大到0.42 m时,该声子晶体第1带隙起始频率由18 943 Hz下降到1 353.1 Hz,截止频率由37 799 Hz下降到2 699.9 Hz。如果取三组元声子晶体的晶格常数为0.3 m,固定其中铝的长度为0.15 m,将丁腈橡胶和塑料的长度之和固定为0.15 m,调节丁腈橡胶的长度由0 m增大到0.15 m时,该声子晶体第1带隙起始频率由2 359.8 Hz下降到1 664.7 Hz,截止频率由5 888.0 Hz下降到4 065.3 Hz。同时该声子晶体第1带隙宽度变化在低频率区存在一个峰值3 043.6 Hz。这些变化规律对拓展一维杆状声子晶体的带隙特征具有积极意义。

关键词:一维声子晶体;能带结构;带隙;集中质量法

中图分类号:O321;TH113

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2013)02-0102-06

近年来,能带理论突破以固有材料为研究对象的限制,进入了通过能带设计周期性复合结构模拟实际晶格情形以获得新型功能材料和器件的新阶段。在这些材料中存在能够禁止某种经典波传播的频率范围,这些频率范围称为带隙。具有经典波带隙的周期性复合材料或结构统称波晶体。通常把存在电磁波带隙,介电常数周期分布的材料或结构称光子晶体^[1-2],把存在弹性波带隙,弹性常数及密度周期分布的材料或结构称声子晶体^[3-4]。已有部分文献对这两种周期性新型复合材料和器件进行过研究^[5-10]。因为一维声子晶体构造简单,所以在实际应用中的可能性最大。对一维声子晶体的研究已经在理论计算、模拟仿真和实验研究3个方面取得阶段性成果^[11-19]。一维声子晶体通常有3种基本结构,分别是一维层状(或板状)结构、一维杆状(或柱状)结构和一维管状(或环状)结构。已有研究者对一维二组元杆状(或柱状)声子晶体的带隙结构进行过研究,但是将一维三组元杆状(或柱状)声子晶体与一维二组元杆状(或柱状)声子晶体的带隙结构进行对比研究的较少。因此,笔者采用集中质量法对一维三组元杆状结构声子晶体带隙特征进行计算,将

其与一维二组元杆状结构声子晶体进行比较,寻找2种结构之间的变化规律。

1 研究模型与计算方法

1.1 一维三组元杆状结构声子晶体模型

理想的一维声子晶体结构由无穷多个无限大平板组成,仅在一个方向上具有周期性,在另外2个非周期方向上无限大,这种模型在实际中是不存在的。但在实际工程中的有限杆状结构确具有很好的一维特性和纵向振动特性。针对一维杆状结构声子晶体,通常将周期方向取为 x 方向。假设弹性波仅沿着周期方向传播,于是介质中的弹性波仅与 x 方向有关,与 y 方向和 z 方向无关,这时可以采用质量法计算弹性波的传输特性。图1是一维三组元杆状结构声子晶体模型。该模型由A、B、C3种材料沿着 x 方向交替排列构成细长有限杆状复合结构,设3种弹性材料均匀、各向同性、截面相同,3种材料的材料参数和结构参数严格沿 x 方向周期性变化,它们的长度分别为 a_A 、 a_B 、 a_C ,且 $a_A+a_B+a_C=a$,认为 a 是该声子晶体的1个晶格常数,对应1个周期结构。

* 收稿日期:2012-10-16 修回日期:2012-11-13 网络出版时间:2013-03-16 13:37

资助项目:国家自然科学基金项目(No. 10664006);云南省教育厅科研基金项目(No. 2010Y093)

作者简介:邱学云,男,讲师,硕士,研究方向为声子晶体研究,E-mail:shelly-80@163.com

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20130316.1337.201302.102_023.html

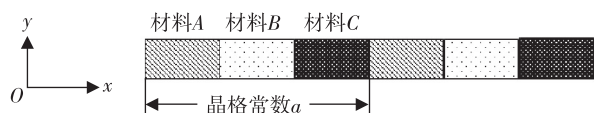


图 1 一维三组元杆状声子晶体结构示意图

1.2 集中质量法

集中质量法的基本思想是通过将连续介质中的质量集中到多个节点或截面上,将连续系统问题转化为相应的离散问题进行求解。其本质是将无限自由度系统转化为有限自由度系统进行近似求解,这也是解决大多数实际工程问题的常用策略。采用集中质量法的基本思想,同时借鉴有限元法对离散单元刚度矩阵的计算方法,并引入周期边界条件,结合 Bloch 定理,可以得到一种新的声子晶体能带结构计算方法,即集中质量法。具体是假设组成一维三组元杆状结构声子晶体的 3 种材料是理想弹性介质,可将其均匀地离散,且每个离散单元只有一种材料。那么,一维声子晶体的单个周期可以简化为很多个自由度的弹簧振子结构。如果每个离散单元的长度为 d_j ,按质心不变原则,每个振子位于简化单元的中心,振子 2 侧为等刚度的弹簧,弹簧振子质量 m_j 为

$$m_j = \rho S d_j, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

(1)式中 ρ 为离散单元的材料密度, S 为声子晶体等截面面积。

对于一维杆状结构声子晶体,当相邻两个离散单元为同种材料,沿周期方向的拉压刚度为 $2ES/(d_{j+1} + d_j)$; 不同种材料时,拉压刚度为 $2E_A E_B S/(E_A d_j + 1 + E_B d_j)$, E 为弹性模量。

对于无限周期弹簧振子结构,用振子质量代替原子质量,用弹簧的刚度系数代替原子间的恢复力常数,容易得出 j 个振子的运动方程

$$m_j \ddot{x}_j = k_j(x_{j+1} - x_j) - k_{j-1}(x_j - x_{j-1}), j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

该振子运动方程的解可写为振幅 A_j 及角频率为 ω 的简谐振动表达式

$$x_j = A_j e^{i(jqd - \omega t)} \quad (3)$$

将(3)式代入(2)式,结合 Bloch 定理和引入的周期边界条件,可以得到一个线性方程组。求解该线性方程组即可得到上述无限周期弹簧振子结构的振动能带结构图。

已有部分文献基于集中质量法对一维声子晶体的能带结构进行计算^[8-13],集中质量法与平面波法相比,在相同精度下,集中质量法计算量明显减少,收敛性大大提高,能更加直观地描述声子晶体内部作用机理。温激鸿,王刚,刘耀宗,等^[8]基于集中质量法对一维二

组元声子晶体(铅/树脂)结构进行了原胞简化、理论推导和计算分析。而一维三组元声子晶体结构与一维二组元结构类似,因此笔者采用集中质量法计算分析一维三组元杆状声子晶体结构,寻找三组元结构与二组元结构的带隙特征,分析相关的变化规律。

2 理论计算结果及分析

固体物理学的研究表明,在各向同性的均匀介质中只有 2 个独立的弹性系数 λ, μ 称为拉梅常数。由简单拉伸实验和剪切实验可得到介质杨氏模量 E 和与拉梅常数之间的关系,有

$$E = \frac{(3\lambda + 2\mu)\mu}{\lambda + \mu}, \lambda = \frac{E\sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}, \mu = \frac{E}{2(1 + \sigma)} \quad (4)$$

(4)式中 σ 为介质的泊松比。由于集中质量法对纵波和横波都有效,而且计算方法及带隙结构也类似,因此根据本文选择的杆状结构,计算中仅考虑纵波带隙特性。所用材料参数如表 1 所示。

表 1 声子晶体材料参数

材料	密度 $\rho/$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	杨氏模量 $E/$ 10^{10} Pa	剪切模量 $G/$ 10^{10} Pa	泊松比 σ
铅	11 600	4.08	1.49	0.369 1
铝	2 799	7.21	2.68	0.343 7
环氧树脂	1 180	0.435	0.159	0.367 9
丁腈橡胶	1 300	$1.2 \text{ e-}3$	$4\text{e-}4$	0.499
塑料	1 190	0.22	0.08	0.375

笔者采用集中质量法基于 MATLAB 编写的程序计算一维二组元(铅/环氧树脂)声子晶体弹性波(纵波)带隙。该声子晶体晶格常数 a 为 0.03 m,材料组份比为 2 : 1 (材料组份比 = 原胞中铅板厚度/环氧树脂厚度),所用材料特性参数(见表 1)与文献[8]选取的一致。计算得知第 1 带隙的起始频率为 597.6 Hz,截止频率为 38 751 Hz,第 1 带隙宽度为 33 053.4 Hz,第二带隙的起止频率分别为 40 501 Hz,60 806 Hz,第二带隙宽度为 20 305 Hz。这个计算结果与文献[8]的结果一致,表明本文的计算方法和程序是正确的。基于此,笔者选择工程中的常用材料 A 铝、B 丁腈橡胶、C 塑料,在 A 与 C 之间插入 B 材料,周期性复合组成一维三组元杆状结构,通过计算寻找三组元结构与二组元结构的带隙特征,分析相关的变化规律。

2.1 实例计算

图 2 是采用集中质量法计算得到的一维(铝/丁腈橡胶/塑料)三组元声子晶体弹性波带隙结构图,该声子晶体晶格常数 a 为 0.3 m,计算中每个原胞简化为

自由度数为 300 的弹簧振子结构,其中每个结构简化为相同自由度数的弹簧振子,3 种材料厚度相同。基于 MATLAB 编程计算画图就能得到图 2 所示结果,图中阴影部分从下到上分别为该声子晶体的第 1、2 带隙。

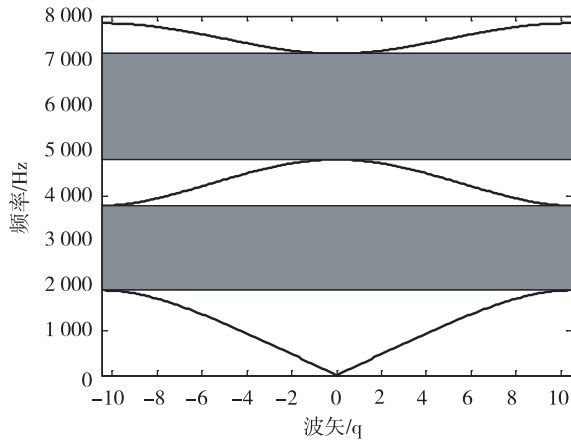


图 2 一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)声子晶体能带结构图

计算得知第 1 带隙的起始频率为 1 896.1 Hz,截止频率为 3 780.7 Hz。如果选择一维二组元(铝/塑料)声子晶体与一维(铝/丁腈橡胶/塑料)三组元声子晶体做比较,保证 2 个模型的原胞晶格常数 $a = 0.3$ m、总自由度数 300 相同。当组份比为 1 时,第 1 带隙起始频率为 2 359.8 Hz,截止频率为 5 888.8 Hz。比较可知,在材料铝和塑料之间插入杨氏模量相对较小的丁腈橡胶可以降低第 1 带隙的起始频率和截止频率,但是带隙宽度随之变窄。

2.2 计算结果分析

笔者对 3 种材料复合成的一维二组元结构和三组元结构的声子晶体采用相同的晶格常数为 0.3 m,相同组份比为 1,分别进行计算,结果见表 2。另外,固定各材料的密度、弹性模量、泊松比,改变材料的晶格常数(或晶格尺寸)、组份比(或长度)来计算、分析其变化对带隙的影响情况。

2.2.1 二组元与三组元声子晶体带隙情况比较 表 2 给出了 4 种一维杆状声子晶体结构模型的第 1 带隙起始频率、截止频率和第 1 带隙频率宽度的情况。通过此表可以看出:二组元(金属/非金属型)声子晶体结构带隙频率都较高,相应的带隙宽度也很大;一维三组元(金属/非金属/非金属型)声子晶体结构是在一维二组元(金属/非金属型)结构中插入一种杨氏模量和剪切模量都相对较小的非金属,这样可以很有效地降低结构的带隙频率,丰富三组元结构的带隙频率范围,理论上为灵活设计杆件的不同振动特性提供了一种可能。

2.2.2 晶格常数对带隙的影响 图 3 给出了一维三组

元(铝/丁腈橡胶/塑料)声子晶体带隙与晶格常数的关系。该声子晶体材料组份比为 1 时,每种材料自由度取 100,晶格常数 a 由 0.03 m 增大到 0.42 m,声子晶体带隙随着晶格常数 a 的增大,第 1、2 带隙的起始频率及截止频率逐渐减小,并且带隙的宽度也逐渐减小。减小的程度随着晶格常数的增大变化不一样: a 从 0.03 m 变到 0.09 m 时起始频率和截止频率下降较大; a 从 0.09 m 变到 0.3 m 时起始频率和截止频率缓慢下降; a 从 0.3 m 变到 0.42 m 时起始频率和截止频率下降趋稳并向低频率靠近。所以可通过调节声子晶体结构参数来获得所需的带隙。

表 2 3 种声子晶体结构第 1 带隙情况

声子晶体结构	第 1 带隙起始频率/Hz	第 1 带隙截止频率/Hz	第 1 带隙宽度频率/Hz
铝/塑料	2 359.8	5 888.0	3 528.2
铝/丁腈橡胶/塑料	1 894.3	3 779.9	1 885.6
铝/丁腈橡胶	1 664.7	4 065.3	2 400.6
丁腈橡胶/塑料	2 241.3	2 690.9	449.6

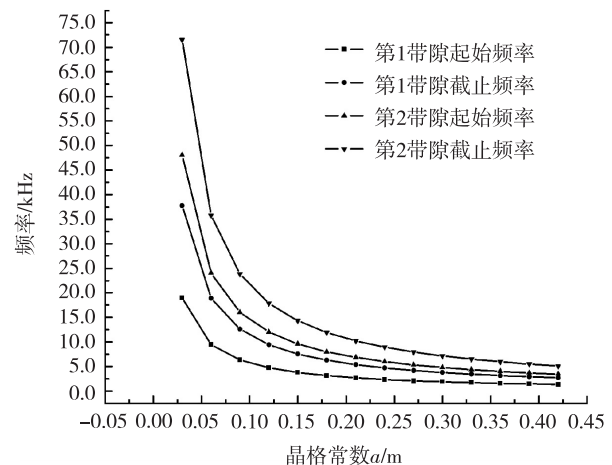


图 3 一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)声子晶体晶格常数与带隙的关系

2.2.3 组份比与声子晶体带隙关系 一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)声子晶体中的组份比(或长度)变化有 3 种情况,第一种是固定铝的组份比改变丁腈橡胶、塑料组份比;第二种是固定塑料的组份比改变铝、丁腈橡胶的组份比;第三种是 3 种材料组份比都变化情况,具体是增加丁腈橡胶的组份比,等量减少铝、塑料的组份比。

1) 固定铝的组份比,改变丁腈橡胶、塑料组份比。如果将一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)杆状声子晶体结构的晶格常数固定为 0.3 m,固定组份材料铝的长度为 0.15 m,将组份材料丁腈橡胶和塑料的长度之和

固定为 0.15 m。调节丁腈橡胶的长度由 0 增大到 0.15 m,对应调节塑料的长度由 0.15 m 减小到 0。将每个结构的带隙情况计算出来,选择第 1 带隙的起始频率、截止频率以及第 1 带隙宽度画图,结果见图 4。

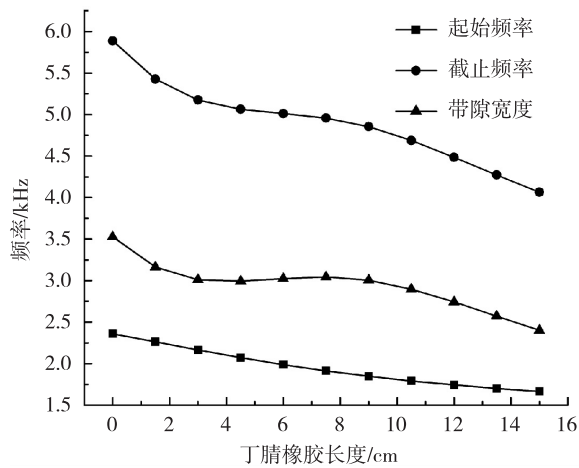


图 4 固定铝的长度时丁腈橡胶长度变化与第 1 带隙的关系

由图 4 知,一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)杆状声子晶体结构中:1)当丁腈橡胶长度为 0 时,该结构复合成一维二组元(铝/塑料)杆状声子晶体,该声子晶体的第 1 带隙起始频率和截止频率相对较高,带宽最大为 3 528.2 Hz;2)当丁腈橡胶长度为 0.15 m 时,该结构复合成一维二组元(铝/丁腈橡胶)杆状声子晶体,该声子晶体的第 1 带隙起始频率和截止频率相对较低,带宽最小为 2 400.6 Hz;3)固定丁腈橡胶与塑料长度和为 0.15 m 时,在增加丁腈橡胶的长度,减少塑料的长度过程中,可以明显降低一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)杆状声子晶体第 1 带隙的频率,其中对第 1 带隙的起始频率影响较小,对截止频率影响较大;4)整体来看,随着丁腈橡胶插入并在结构中长度不断增加,带隙宽度先变窄后变宽然后又变窄,出现一个峰值,这个带隙特性为一维三组元杆状声子晶体获得低频、宽带带隙提供了理论依据。

2) 固定塑料的组份比,改变铝、丁腈橡胶的组份比。同上所述,固定结构总的晶格常数为 0.3 m,再固定其中塑料的长度为 0.15 m,将铝和丁腈橡胶的长度之和固定为 0.15 m。调节丁腈橡胶的长度由 0 增大到 0.15 m,对应调节铝的长度由 0.15 m 减小到 0。将每个结构的带隙情况计算出来,选择第 1 带隙的起始频率、截止频率以及第 1 带隙宽度画图,结果见图 5。

由图 5 知,一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)杆状声子晶体结构中:1)当丁腈橡胶长度为 0 时,该结构复合成一维二组元(铝/塑料)杆状声子晶体;2)当丁腈橡胶长度为 0.15 m 时,该结构复合成一维二组元(丁腈橡胶/塑料)杆状声子晶体;3)当固定丁腈橡胶与铝的

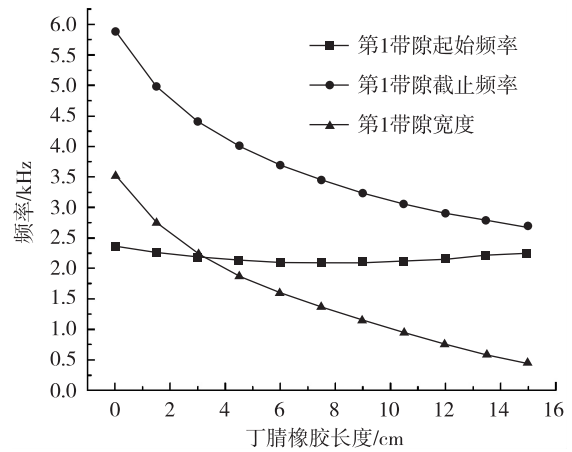


图 5 固定塑料的长度时丁腈橡胶长度变化与第 1 带隙的关系

长度和为 0.15 m 时,在增加丁腈橡胶的长度,减少铝的长度过程中,一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)杆状声子晶体第 1 带隙的起始频率变化不大,但存在一个先减小后增大的情况,在铝和丁腈橡胶的组份比为 1 时有一个最小值 2 088.0 Hz。同时,丁腈橡胶长度增加过程中对截止频率影响较大;4)随着丁腈橡胶长度增加,铝长度减少,带隙宽度由宽变窄呈下降趋势。

3)同时改变 3 种材料的组份比。图 6 是一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)声子晶体中集中质量分数与带隙关系曲线。该曲线是保持总的集中质量分数不变,调节各组份的集中质量分数变化,从而影响声子晶体第 1、2 带隙变化的曲线。该声子晶体总的集中质量分数为 300,晶格常数固定为 0.3 m。从大到小同时减少材料 A 铝、C 塑料的集中质量分数,增大材料 B 丁腈橡胶的集中质量分数,即等量减小铝和塑料的组份比,增加丁腈橡胶的组份比。由图 6 可见:增加丁腈橡胶的组份比对各声子晶体第 1 带隙的起始频率影响较小;对第 1 带隙的截止频率和第 2 带隙的起始频率影响较大;对第 2 带隙的截止频率影响最大。整体来看,

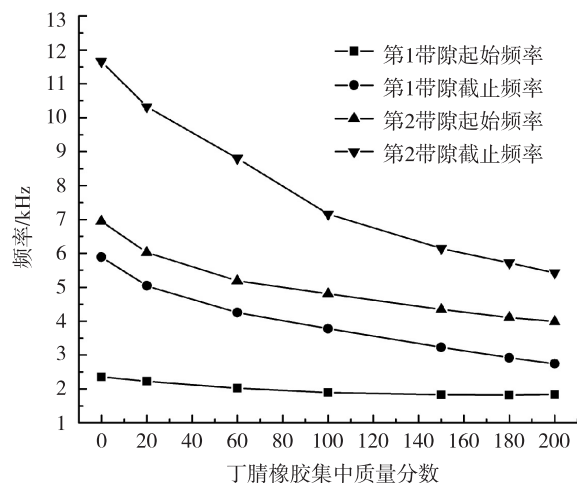


图 6 各组份中集中质量数与声子晶体带隙关系曲线

随着丁腈橡胶的组份比的增加,带隙向低频率区靠近,带隙宽度变窄。同时还看到当三组元结构的材料组份比相同时,带隙宽度并不是最大。这为不同带隙频率要求,包括低频带隙情况提供了一种调节思路,就是调节中间结构的长度。

3 结论

在一维二组元(金属/非金属型)结构中插入一种杨氏模量和剪切模量都相对较小的非金属,可以复合成一维三组元(金属/非金属型/非金属型)声子晶体结构。以一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)声子晶体结构为例,当三组元结构中铝、丁腈橡胶、塑料 3 种材料的密度、弹性模量、泊松比不变时,仅改变材料的晶格常数、组份比来调节复合材料的带隙情况,可以得到一些有意义的结果。研究表明:

1)一维二组元(金属/非金属型)杆状声子晶体结构带隙频率都较高,相应的带隙宽度也很大,可实现高频振动控制;一维三组元(金属/非金属/非金属型)杆状声子晶体结构可以降低结构的带隙频率,丰富三组元结构的带隙频率范围,理论上为灵活设计杆件的不同振动特性提供了一种可能。

2)针对一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)杆状声子晶体的带隙调控,可通过调节声子晶体结构参数来获得所需的带隙。晶格常数较小时带隙可调控到高频区,晶格常数较大时带隙可调控到低频区。

3)一维三组元(铝/丁腈橡胶/塑料)杆状声子晶体中,当固定声子晶体总的晶格常数,又固定其中材料 A 铝的组份比,逐渐增加材料 B 丁腈橡胶组份比(长度变长),减少材料 C 塑料组份比(长度变短)时,该声子晶体第 1 带隙宽度变化存在一个峰值,这个带隙特性为一维三组元杆状声子晶体获得低频、宽带带隙提供了理论依据。

4)另外,改为固定材料 C 塑料的组份比,逐渐增加材料 B 丁腈橡胶组份比(长度变长),减少材料 A 铝组份比(长度变短)时,该声子晶体第 1 带隙起始频率在两种材料组份比为 1 时存在一个最小值。同时,随着丁腈橡胶长度增加,铝长度减少,带隙宽度由宽变窄呈下降趋势。

总之一维三组元(金属/非金属型/非金属型)杆状声子晶体结构能有效改变一维二组元(金属/非金属型)杆状结构的带隙特征,以满足一维杆状声子晶体对弹性波振动控制的要求。同时要获得低频、宽域带隙可考虑调节声子晶体的晶格常数和组元组份比来实现。

参考文献:

- [1] John S. Strong localization of photons in certain disordered dielectric [J]. *Phys Rev Lett*, 1987, 58(23): 2486.
- [2] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics [J]. *Phys Rev Lett*, 1987, 58(20): 2059.
- [3] Sigalas M M, Economou E N. Elastic and acoustic wave band structure [J]. *Journal of Sound and Vibration*, 1992, 158(2): 377-379.
- [4] Kushwaha M S, Halevi P, Dobrzynski L, et al. Acoustic band 2 structure of periodic elastic composites [J]. *Phys Rev Lett*, 1993, 71(13): 2022-2025.
- [5] 喻平, 欧红叶. 垂直沉积法自组装胶体光子晶体的研究进展[J]. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2008, 25(4): 74-78.
Yu P, Ou H Y. The progress in fabrication of self-assembled colloidal photonic crystal via vertical deposition technique [J]. *Journal of Chongqing Normal University: Natural Science*, 2008, 25(4): 74-78.
- [6] 徐明, 魏屹, 何贤模, 芦伟. Si/SiN_x 多层膜能带结构的理论研究[J]. *四川师范大学学报: 自然科学版*, 2010, 33(4): 545-548.
Xu M, Wei Y, He X M, et al. Theoretic study on band structure of Si/SiN_x multilayer film [J]. *Journal of Sichuan Normal University: Natural Science*, 2010, 33(4): 545-548.
- [7] 许刚. 一维光子晶体本征模频率[J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 31(1): 161-164.
Xu G. Eigenmode frequency of 1D photonic crystal [J]. *Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition*, 2006, 31(1): 161-164.
- [8] 梁华秋, 冯尚申. 长方网格与正方介质柱组合成大带隙二维光子晶体[J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2005, 30(2): 272-276.
Liang H Q, Feng S S. Rectangle grid of dielectric veins and square dielectric rods forming a 2D photonic crystal [J]. *Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition*, 2005, 30(2): 272-276.
- [9] 苏安. 对称结构一维三元光子晶体的透射谱和电场分布[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2011, 36(7): 26-30.
Su A. Transmission spectra and electrical field of the one-dimensional three sects photonic crystal with Symmetrical Structure [J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2011, 36(7): 26-30.
- [10] 田树林. 基片集成波导和带隙结构的带通滤波器[J]. *重庆理工大学学报: 自然科学版*, 2010, 24(6): 52-55.
Tian S L. Bandpass filter of substrate integrated waveguide and band gap structure [J]. *Journal of Chongqing University of Technology: Natural Science*, 2010, 24(6): 52-55.
- [11] Sigalas M M, Soukoulis C M. Elastic-wave propagation

- through disordered and/or absorptive layered systems [J]. Phys Rev B, 1995, 51(5): 2780.
- [12] Jensen J. Phononic band gaps and vibrations in one- and two-dimensional massspring structures[J]. J Sound Vib, 2003, 266: 1053-1078.
- [13] Wang G, Wen J H, Liu Y Z, et al. Lumped-mass method for the study of band structure in two-dimensional phononic crystals[J]. Phys Rev B, 2004, 69: 184302.
- [14] Wang G, Wen J H, Wen X S. Quasi-one-dimensional phononic crystals studied using the improved lumped-mass method: application to locally resonant beams with flexural wave band gap[J]. Phys Rev B, 2005, 71: 104302.
- [15] Wang G, Wen X, Wen J, et al. Two-dimensional locally resonant phononic crystals with binary structures[J]. Phys Rev Lett, 2004, 93: 154302.
- [16] Liang B, Yuan B, Cheng J C. Acoustic diode: rectification of acoustic energy flux in one-dimensional systems[J]. Phys Rev Lett, 2009, 103: 104301.
- [17] 温激鸿, 王刚, 刘耀宗, 等. 基于集中质量法的一维声子晶体性波带隙计算[J]. 物理学报, 2004, 53(10): 3384-3388. Wen J H, Wang G, Liu Y Z, et al. Lumped-mass method on calculation of elastic band gaps of one-dimensional phononic crystals[J]. Acta Physica Sinica, 2004, 53(10): 3384-3388.
- [18] 吴福根, 刘有延. 二维周期性复合介质中声波带隙结构及其缺陷态[J]. 物理学报, 2002, 51(7): 1434. Wu F G, Liu Y Y. Acoustic band gaps and defect states in two-dimensional composite materials[J]. Acta Physica Sinica, 2002, 51(7): 1434.
- [19] 温激鸿, 王刚, 郁殿龙, 等. 声子晶体振动带隙及减振特性研究[J]. 中国科学 E 辑, 2007, 37(9): 1126-1139. Wen J H, Wang G, Yu D J, et al. Research on the phononic crystal vibration band gaps and the damping characteristics[J]. Science in China E, 2007, 37(9): 1126-1139.

On the Tripropellant Rod-shaped Structure of the Band Gap of One-dimensional Phononic Crystals

QIU Xue-yun¹, HU Jia-guang^{1,2}

(1. Department of Math and Physics, Wenshan University, Wenshan Yunnan 663000;

2. Department of Physics, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: In this paper, the lumped mass method is employed to computerize the band gap property and comparison with the one-dimensional and two-component structure is made. It is showed in the research that the one-dimensional and three-component phononic crystal is efficient in broadening the frequency range of band gaps and reducing the start stopping frequency. Before and after inserting NBR into two-component crystal (Aluminum/plastics), guaranteeing lattice constant α of two models is 0.3 m and free degree is 300. The band 1 gap starting frequency 463.7 Hz and stopping frequency 2108.1 Hz can be reduced by three-component (Aluminum / NBR / plastic material) phononic crystal when composition ratio is one. When three-component phononic crystal lattice constant α increases from 0.03 m to 0.42 m, the band 1 starting frequency reduces from 18943 Hz to 1353.1 Hz and stopping frequency reduces from 37799 Hz to 2699.9 Hz. When lattice constant is 0.3 m, the length of Aluminum is fixed value 0.15 m, the total length of NBR and plastics is fixed value 0.15 m and increasing NBR length from 0 m to 0.15 m, the band 1 starting frequency reduces from 2359.8 Hz to 1664.7 Hz and stopping frequency reduces from 5888.0 Hz to 4065.3 Hz. Meanwhile, there is a peak of 3043.6 Hz in low frequency zone of the variation of the band 1 gaps, and this is of positive significance for broadening the band property of one-dimensional phononic crystal.

Key words: one-dimensional phononic crystal; band structure; band gap; lumped mass method

(责任编辑 欧红叶)