

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5597913号
(P5597913)

(45) 発行日 平成26年10月1日(2014.10.1)

(24) 登録日 平成26年8月22日(2014.8.22)

(51) Int.Cl.

E04B 1/86 (2006.01)
G10K 11/16 (2006.01)

F 1

E04B 1/86
G10K 11/16G
C

請求項の数 1 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2008-196493 (P2008-196493)
 (22) 出願日 平成20年7月30日 (2008.7.30)
 (65) 公開番号 特開2010-31582 (P2010-31582A)
 (43) 公開日 平成22年2月12日 (2010.2.12)
 審査請求日 平成23年6月8日 (2011.6.8)

(73) 特許権者 000004075
 ヤマハ株式会社
 静岡県浜松市中区中沢町10番1号
 (74) 代理人 110000752
 特許業務法人朝日特許事務所
 (72) 発明者 棚瀬 廉人
 静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマ
 ハ株式会社内

審査官 渋谷 知子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】吸音構造体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

底部と開口部を有する筐体と、

前記開口部に設けられ、前記筐体内に空気層を画成する板状または膜状の振動体と、を具備し、

前記筐体の底部には、リブを設け、

前記リブは、前記底部から前記開口部に向けて延び、前記空気層を複数の空間に分割するように形成され、

前記リブと前記振動体との間に隙間が形成され、前記複数の空間が前記隙間を介して連通する

ことを特徴とする吸音構造体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、音を吸収する吸音構造体に関する。

【背景技術】

【0002】

吸音構造体としては、底部と開口部を有する筐体と、前記開口部に設けられ、前記筐体内に空気層を画成する板状または膜状の振動体と、を具備した(板・膜振動型)吸音構造体がある(特許文献1)。この種の吸音構造体においては、振動体のマス(質量(mass))

10

20

) 成分と、空気層のバネ成分とによってバネマス系が形成される。

ここで、空気の密度を ρ_0 [kg/m³]、音速を c_0 [m/s]、振動体の密度を ρ [kg/m³]、振動体の厚さを t [m]、空気層の厚さを L [m] とすると、バネマス系の共振周波数 f [Hz] は数式 1 のようなる。

【0003】

【数1】

$$f = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{\rho_0 c_0^2}{\rho t L} \right\}^{1/2}$$

10

【0004】

また、吸音構造体において振動体が弾性を有して弾性振動をする場合には、弾性振動による屈曲系の性質が加わることになる。

振動体の形状が長方形で一辺の長さを a [m]、もう一辺の長さを b [m]、振動体のヤング率を E [N/m²]、振動体のポアソン比を ν [-]、 p, q を正の整数とすると、以下の数式 2 に示すようにして板・膜振動型吸音構造体の共振周波数が求められる。そして、建築音響の分野においては、この求めた共振周波数を音響設計に利用している（例えば、非特許文献 2 参照）。

【0005】

【数2】

$$f = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{\rho_0 c_0^2}{\rho t L} + \left[\left(\frac{p}{a} \right)^2 + \left(\frac{q}{b} \right)^2 \right]^2 \left[\frac{\pi^4 E t^3}{12 \rho t (1 - \nu^2)} \right] \right\}^{1/2}$$

20

上記数式 2 において、共振周波数 f は、バネマス系に係る項 ($\rho_0 c_0^2 / \rho t L$) と屈曲系に係る項（バネマス系の項の後に直列に加えられている項）とを加算した値となっている。この数式 2 に示すように、吸音構造体においては、振動体のバネマス系と、弾性振動による屈曲系とが、吸音条件を決める重要な要素となっている。

【0006】

【特許文献 1】特開 2006-11412 号公報

30

【非特許文献 1】木村翔著 「建築音響と騒音防止計画」株式会社彰国社、1981年2月20日、p.150

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

前述した如く、吸音構造体の吸音特性（共振周波数 f ）は、振動体のバネマス系および弾性振動に依存する。このため、振動体以外の部材（筐体）は、弾性変形等を起こさない強度を有することが望ましい。特に、筐体のうち振動体と平行する底板が弾性振動してしまうと、この振動が空気層を介して振動体に伝わってしまい当該振動体の弾性変形に影響を及ぼしてしまう。よって、底板の強度を確保することは、吸音構造体における吸音特性を維持する上で大事な課題となる。

40

【0008】

そこで、本発明は、上述した背景の下になされたものであり、板・膜振動型の吸音構造体において、特に筐体の底部の強度を高めた吸音構造体を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上述した課題を解決するために本発明が採用する吸音構造体は、底部と開口部を有する筐体と、前記開口部に設けられ、前記筐体内に空気層を形成する板状または膜状の振動体と、を具備し、前記筐体の底部には、リブを設け、前記リブは、前記底部から前記開口部に向けて延び、前記空気層を複数の空間に分割するように形成され、前記リブと前記振動

50

体との間に隙間が形成され、前記複数の空間が前記隙間を介して連通することを特徴とする。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、吸音構造体（板・膜振動型）において、底部にリブを形成することにより、当該吸音構造体の吸音条件を変更することなく底部の強度を高めると共に、筐体自体の軽量化を図ることが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

<吸音構造体の構成>

10

図1は、本発明の実施形態に係る吸音構造体10の分解斜視図である。なお、図面においては、本実施形態の構成を分かりやすく図示するために、吸音構造体10の実際の寸法とは異ならせている。

図に示したように、吸音構造体10は、当該吸音構造体10の基台をなす筐体20と、この筐体20の開口部23を施蓋する振動体30と、筐体20と振動体30によって筐体20内に画成される空気層40と、を具備する。

【0021】

筐体20は、矩形状で浅底の有底筒状に合成樹脂（例えば、ABS樹脂）で形成され、底板21、側壁22、開口部23を有する。底板21は、開口部23に対向する面に配置され、側壁22は、開口部23の周囲に配置される。振動体30は、弾性を有する高分子化合物（例えば、無機充填材入りオレフィン系共重合体）により正方形の板状に形成され、周縁が筐体20の開口部23に接着固定される。当該吸音構造体10の内部（振動体30の背後）には、筐体20の開口部23に振動体30が固定されることにより、密閉された空気層40が画成される。

20

【0022】

なお、本実施形態においては、振動体30の素材は合成樹脂としているが、振動体30の素材は合成樹脂に限るものではなく、弾性振動が生じる素材であれば紙、金属、繊維板など他の素材であってもよい。また、振動体30の形状は、板状ではなく膜状であってもよく、要は、振動体30は、力を加えると変形し、弾性により復元力を発生して振動する形状・部材であればよい。

30

【0023】

ここで、板状とは、直方体（立体）に対して相対的に厚さが薄く2次元的な広がりを持つ形状であり、膜状（フィルム状、シート状）とは、板状よりもさらに相対的に厚さが薄く、張力により復元力を発生するものである。

【0024】

さらに、前記振動体30は、該振動体30以外の筐体20に対して剛性が相対的に低い（ヤング率が低い、厚さが薄い、断面2次モーメントが小さい）、或いは機械インピーダンス（ $8 \times (\text{曲げ剛性} \times \text{面密度})^{1/2}$ ）が相対的に低い形状・部材で形成される。即ち、振動体30は、筐体20に対して弹性振動を起こし易くすることにより、振動体30により当該吸音構造体10の吸音作用を發揮する。

40

【0025】

以上が、吸音構造体10の基本的構造であるが、本実施形態による吸音構造体10においては、図2および図3に示すように、筐体20の底板21に格子状のリブ25が形成されている。

リブ25は、底板21から開口部23に向けて立設された複数の板体26を格子状に組み合わせることによって配置されたものである。このリブ25は、底板21に強度を持たせると共に、リブ25の板体26で仕切られた空間が空気層40を分割するセル41となる。リブ25と振動体30との間には振動体30が振動した際に、リブ25に当たるのを防止するために隙間42が形成されており、各セル41は、この隙間42を介して連通される。

50

【0026】

<吸音構造体の動作>

このように構成される吸音構造体10においては、振動体30の外側から加わる音圧と空気層40側の音圧との差（即ち、振動体30の前後の音圧差）によって振動体30が弾性振動する。これにより、当該吸音構造体10に到達する音波のエネルギーは、この振動体30の振動により消費されて音が吸音されることになる。この際、振動体30は、前記数式2に示すようにして設定される共振周波数fを中心とした周波数の音を吸音することになる。

【0027】

<実施形態における吸音構造体の効果>

10

本実施形態における吸音構造体の効果を図4による特性線図に基づいて説明する。

図4は、リブ25を形成していない吸音構造体の特性線A（実線）、リブ25を形成した吸音構造体の特性線B（二点鎖線）を示した特性線図であり、横軸は周波数、縦軸は吸音率を示している。

特性線AとBとを比較すると、（1）吸音率のピークを示す周波数f0が同周波数f0'に低下し、（2）吸音周波数帯域（例えば吸音率のピーク値の半分となる周波数帯域）fが同周波数帯域f'に広がり、（3）吸音率のピーク値0が同ピーク値0'に上昇する、という効果が得られた。

【0028】

以下、上記効果について理由について説明する。

20

(1) 吸音周波数の低下

本実施形態に係る吸音構造体10は、底体21に格子状のリブ25を形成し、このリブ25によって空気層40が複数個のセル41に分割される。リブ25は、板体26によって振動体30に向かって開口する矩形状の細管を底板21に並べたような形状となる。このため、振動体30の弾性振動によって発生する空気は、各セル41に流れ込む。筐体20の厚さは見かけ上は変わらないものの、空気層40の振動体に直交する方向の厚さは実質的には厚くなる（増大する）ことになり、リブ25を有する吸音構造体10は、吸音周波数f0が下がることになる。

【0029】

(2) 吸音周波数帯域の広がり

30

各セル41は、その壁面に空気との間に摩擦を発生させて吸音を行う管吸音による吸音特性を発揮する。この結果、当該吸音構造体10は、振動体30の弾性振動による吸音特性に加えて、管壁面に相当する板体26での吸音による吸音特性も持たせることができ、吸音周波数の帯域幅fを広げる。

【0030】

(3) 吸音率0の上昇

各セル41は、振動体30から発生する振動による空気の流れを、振動体30に略直交する方向に整流するため、空気層40の空気バネとしての動作を制限することができ、吸音率0のピークを高めることができる。即ち、振動体30の振動により圧縮・膨張する空気層40内の空気の流れは、各セル41がない場合では、振動体30に並行する方向にも流れるが、各セル41がある場合では、振動体30に略直交する方向の流れに制限される。このため、空気層40の音響インピーダンスZを、背後空気層の厚さLに依存する一定の値に固定することができ、共振周波数での吸音率0のピークが低下することを防止する。

40

【0031】

一方、吸音構造体10は、底板21から立設した板体26から格子状のリブ25を形成しているから、リブ25が形成されていない場合に比べて、底板21の強度（曲げ剛性）を高めることができる。この結果、リブ25が形成されていない場合に比べて、底板21の厚さを薄くすることができ、ひいては当該吸音構造体10の軽量化を図ることができる。

50

【0032】

<変形例>

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述した実施形態に限定されることなく、他の様々な形態で実施可能である。例えば、上述の実施形態を以下のように変形して本発明を実施してもよい。

<変形例1>

前記実施形態では、リブ25を板体26によって格子状に形成する場合を例示したが、本発明はこれに限らず、種々のリブ形状とすることが可能である。

図5は、リブ25Aを底板21から斜めにスリット状に形成した板体26Aを吸音構造体の横断面図を示している。板体26A間には、空気層40をスリット状に分割するセル41Aが形成される。図6は、図5中の矢視VI-VI方向から見た縦断面図である。リブ25Aは底板21から斜めに立設した板体26Aによって形成される。これにより、スリットの長さを、実施形態に比べて長く確保する。

【0033】

図7は、リブ25Bを底板21からハニカム状に形成した板体26Bを吸音構造体の横断面図を示している。板体26B間には、空気層40を六角形状に分割するセル41Bが形成される。ハニカム状のリブ25Bは、格子状のリブ25に比べて、高さ方向の強度が高くなると共に、整流作用を高めることができる。

【0034】

図8は、径寸法の異なった複数の筒体26C, 26C, …を同心円状に配置したリブ25Cが形成された吸音構造体の横断面図を示している。筒体26C間には、空気層40を環状に分割するセル41Cが形成される。

また、同心円状のリブ25Cを構成する筒体の形状は、図9(a)に示す筒体26C1のように鉛直方向に延びる筒体であっても、図9(b)に示す筒体26C2のように截頭円錐形状(頂上を平に切った円錐形)筒体であっても、図9(c)に示す筒体26C3のように外側から内側に配置された筒体の高さを順次低く形成した筒体であってもよい。

図9(c)のように、筒体の高さを振動体30の中央部に向かうに従ってその高さを低くする理由は、振動体30が振動する際に振幅の大きくなる部分が筒体に当たるのを防止するためである。

【0035】

図10は、格子状に配置した各板体26Dの間隔が、振動体30の中央部に対向した位置が大きく、外側に広がるに従って小さくなるように形成したリブ25Dが形成された吸音構造体の横断面図を示している。板体26Dの間には、空気層40を分割するセル41Dが形成され、その容積が振動体30の中央部に対向した位置が大きく、外側に広がるに従って小さくなる。

このように、セル41Dの容積を振動体30の位置に応じて異ならせることにより、振動体30の振幅の大きいところでは空気バネの定数を大きくし、振幅の小さいところでは空気バネの定数を小さくでき、振動体30の弾性振動を空気層40により効率良く吸収できる。

【0036】

なお、図9(c)では、截頭円錐形状の筒体26C3を、振動体30の中央部に向かうに従ってその高さが低くなる場合を図示したが、図3に示す格子状の板体26において、振動体30の中央部に向かうに従って、その対向する板体26の高さを低くなるように形成しても、図6に示すスリット状の板体26Aにおいて、振動体30の中央部に向かうに従って、その対向する板体26Aの高さを低くなるように形成しても、図7に示すハニカム状の板体26Bにおいて、振動体30の中央部に向かうに従って、その対向する板体26Bの高さを低くなるように形成しても、図9(a)のような鉛直方向に延びる筒体26C1に対して、その高さを変えるようにしても、図11に示す板体26Dにおいて、振動体30の中央部に向かうに従って、その対向する板体26Dの高さを低くなるように形成してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

〈变形例2〉

このように構成される吸音構造体においては、バネマス系による共振周波数と、板の弾性による弾性振動による屈曲系の共振周波数との関連性については、前記数式2によって一義的に決められるものの、実際には十分に解明されておらず、低音域で高い吸音力を発揮する吸音構造体の構造が確立されていないのが実情である。

【 0 0 3 8 】

そこで、発明者達は鋭意実験を行った結果、屈曲系の基本振動周波数の値を f_a 、バネマス系の共振周波数の値を f_b とし場合、以下の数式 3 の関係を満足するように、上記パラメータを設定する。これにより、屈曲系の基本振動が背後の空気層のバネ成分と連成して、バネマス系の共振周波数と屈曲系の基本周波数との間の帯域に振幅の大きな振動が励振されて（屈曲系共振周波数 $f_a <$ 吸音ピーク周波数 $f <$ バネマス系基本周波数 f_b ）、吸音率が高くなるという事実を検証した。

10

【数3】

0. 05 ≤ f_a / f_b ≤ 0. 65

【 0 0 3 9 】

さらに、以下の数式 4 に設定する場合、吸音ピークの周波数がバネマス系の共振周波数より十分に小さくなる。この場合、低次の弾性振動のモードにより屈曲系の基本周波数がバネマス系の共振周波数より十分に小さく、300 [Hz]以下の周波数の音を吸音する吸音構造として適していることも検証した。

20

【数4】

0. 05 \leq f a / f b \leq 0. 40

このように、上記した数式3, 4の条件を満足するように各種パラメータを設定することにより、吸音のピークとなる周波数を低くした吸音構造体が構成できる。

[0 0 4 0]

< 变形例 3 >

さらに、吸音構造体10の構成は、矩形状の筐体20、筐体20の開口部23を閉塞する振動体30と、筐体20内に画成される空気層40と、を具備する構成としたが、本発明による筐体の形状は矩形状に限らず円形状、多角形状であってもよい。

30

また、振動体30に対して振動条件を変更するための集中質量を、振動体30の中央部に設けるようにしてもよい。

[0 0 4 1]

吸音構造体10は、先にも説明した通り、バネマス系と屈曲系で吸音メカニズムが形成されている。ここで、発明者達は、振動体30の面密度を変えた際の共振周波数における吸音率の実験を行った。

〔 0 0 4 2 〕

図12は、空気層40の縦と横の大きさが100mm×100mmで厚さが10mmの筐体20に振動体30（大きさが100mm×100mm、厚さ0.85mm）を固着し、中央部（大きさが20mm×20mm、厚さ0.85mm）の面密度を変化させた際の吸音構造体10の垂直入射吸音率のシミュレート結果を示した図である。なお、シミュレート手法は、JIS A 1405-2（音響管による吸音率及びインピーダンスの測定-第2部：伝達関数法）に従って、上記吸音構造体10を配置した音響室の音場を有限要素法により求め、その伝達関数より吸音特性を算出した。

40

[0 0 4 3]

5) 8 6 3 [g / m²]とした場合のシミュレーション結果である。

シミュレートの結果を見ると、300 ~ 500 [Hz]の間と、700 [Hz]付近において吸音率が高くなっている。

【 0 0 4 4 】

700 [Hz]付近で吸音率が高くなっているのは、振動体30のマスと空気層40のバネ成分によって形成されるバネマス系の共振によるものである。吸音構造体10においては上記バネマス系の共振周波数での吸音率をピークとし音が吸音されており、中央部の面密度大きくしても、振動体30全体のマスは大きく変わらないので、バネマス系の共振周波数も大きく変わらないことが分かる。

【 0 0 4 5 】

また、300 ~ 500 [Hz]の間で吸音率が高くなっているのは、振動体30の屈曲振動によって形成される屈曲系の共振によるものである。吸音構造体10においては、屈曲系の共振周波数での吸音率が低音域側のピークとして表れており、中央部の面密度を大きくしてゆくと屈曲系の共振周波数だけが低くなっていることが分かる。

【 0 0 4 6 】

一般に、屈曲系の共振周波数は、振動体30の弾性振動を支配する運動方程式で決定され、振動体30の密度（面密度）に反比例する。また、前記共振周波数は、固有振動の腹（振幅が極大値となる場合）の密度により大きく影響される。このため、上記シミュレーションでは、1 × 1の固有モードの腹となる領域を中央部で異なる面密度に形成したので、屈曲系の共振周波数が変化したものである。

【 0 0 4 7 】

このように、シミュレーション結果は、中央部の面密度を周縁部の面密度より大きくすると、吸音のピークとなる周波数のうち、低音域側の吸音率のピークがさらに低音域側へ移動することを表している。従って、中央部の面密度を変更することにより吸音のピークとなる周波数の一部をさらに低音域側または高音域側に移動（シフト）させることができることを表している。

【 0 0 4 8 】

上述した吸音構造体10においては、中央部の面密度を変えるだけで、吸音される音のピークの周波数を変える（シフトさせる）ことができるため、振動体30を吸音構造体10全体と同じ素材で板状に形成し、吸音構造体10全体の質量を重くして吸音する音を変更する場合と比較して、吸音構造体10全体の質量を大きく変えることなく吸音させる音を低くできる。

【 0 0 4 9 】

< 变形例 4 >

また、吸音構造体10の空気層40内には、多孔質吸音材（例えば、発泡樹脂、フェルト、ポリエスチルウール等の綿状纖維）を充填することにより、吸音率ピーク値を増加させてもよい。

【 0 0 5 0 】

< 变形例 5 >

さらに、板体26の表面に摩擦材（例えば、薄い織物のような、音波による空気振動に対して抵抗を有する部材）を貼り付けることにより、当該吸音構造体10の吸音力をさらに増大させることが可能となる。

【 0 0 5 1 】

< 变形例 6 >

また、本発明においては、吸音構造体群を形成する場合、上述した実施形態または変形例のいずれか一種類の吸音構造体を複数組み合わせて吸音構造体群とするだけでなく、例えば、吸音特性の異なった吸音構造体を組み合わせたり、3種類以上の吸音特性の異なった吸音構造体を組み合わせたりするというように、異なった吸音特性を有する吸音構造体を組み合わせて吸音構造体群としてもよい。

【 0 0 5 2 】

10

20

30

40

50

また、本発明に係る吸音構造体および吸音構造体を組み合わせた吸音構造体群は、音響特性を制御する各種の音響室に配置することが可能である。ここで、各種音響室とは、防音室、ホール、劇場、音響機器のリスニングルーム、会議室等の居室、車両など各種輸送機器の空間、スピーカや楽器などの筐体などである。

【図面の簡単な説明】

【0053】

【図1】実施形態による吸音構造体の分解斜視図である。

【図2】図1の矢視II-II方向から見た横断面図である。

【図3】図2の矢視III-III方向から見た縦断面図である。

【図4】実施形態による吸音構造体による特性を示す特性線図である。 10

【図5】変形例(1)による吸音構造体の横断面図である。

【図6】図5の矢視VI-VI方向から見た縦断面図である。

【図7】変形例(1)による吸音構造体の他の構成を示す横断面図である。

【図8】変形例(1)による吸音構造体の他の構成を示す横断面図である。

【図9】図8に示す吸音構造体に対応した縦断面図である。

【図10】変形例(1)による吸音構造体の別の構成を示す横断面図である。 20

【図11】図10の矢視XI-XI方向から見た縦断面図である。

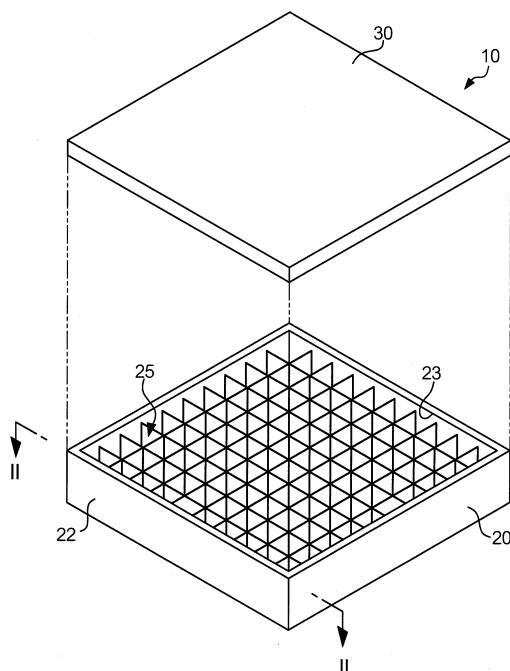
【図12】変形例(3)による特性を示す特性線図である。

【符号の説明】

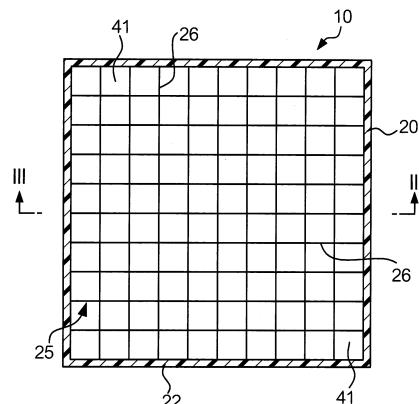
【0054】 20

10・・・吸音構造体、20・・・筐体、21・・・底板、22・・・側壁、23・・・開口部、25, 25A, 25B, 25C, 25D・・・リブ、26, 26A, 26B, 26D・・・板体、26C・・・筒体、30・・・振動体、40・・・空気層、41, 41A, 41B, 41C, 41D・・・セル

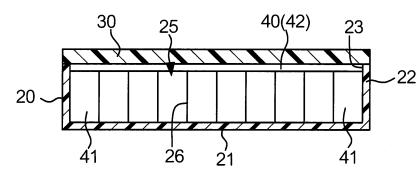
【図1】



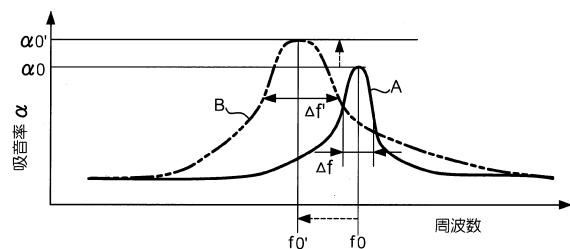
【図2】



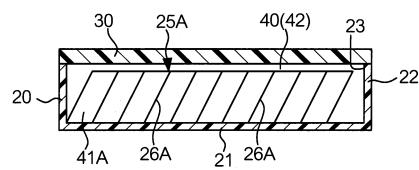
【図3】



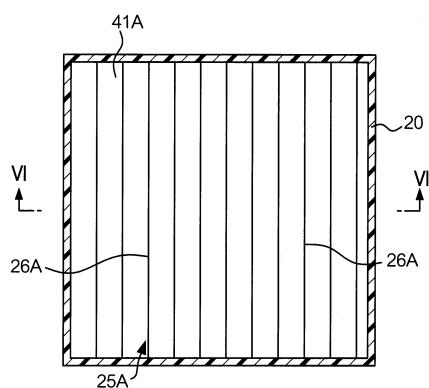
【図4】



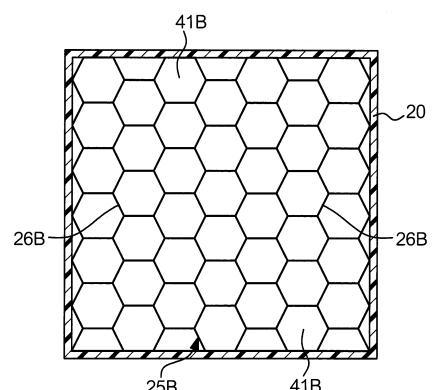
【図6】



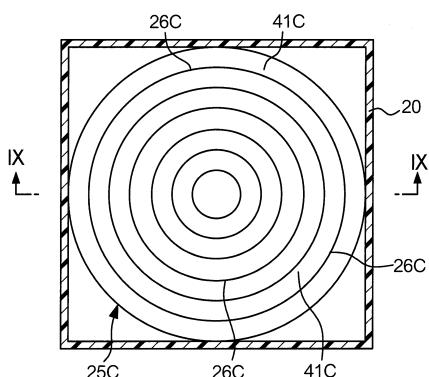
【図5】



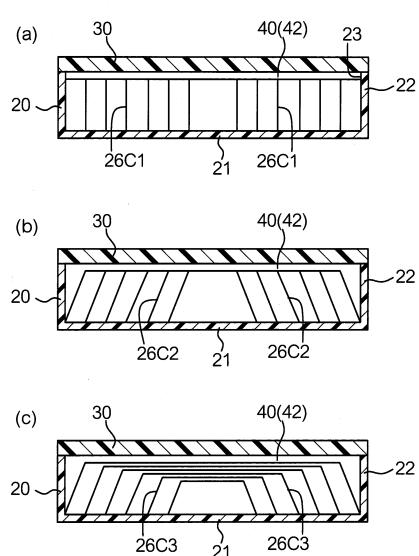
【図7】



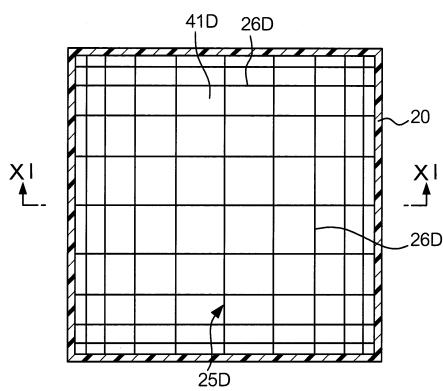
【図8】



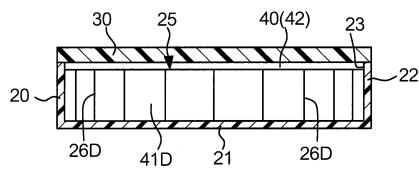
【図9】



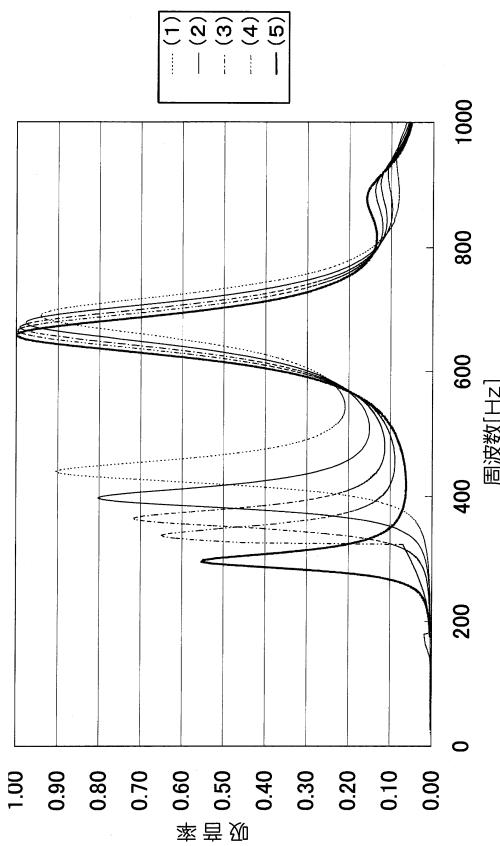
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2008-122933(JP, A)
特開平03-293409(JP, A)
特開2001-242872(JP, A)
特表2000-509845(JP, A)
特開2004-170665(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

E 04 B 1 / 82 - 86
G 10 K 11 / 16