[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
H01P 1/215

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97113615.7

[45] 授权公告日 2004 年 5 月 19 日

[11] 授权公告号 CN 1150657C

[22] 申请日 1997.6.10 [21] 申请号 97113615.7

[30] 优先权

[32] 1996. 6.20 [33] JP [31] 181519/1996

[71] 专利权人 株式会社村田制作所

地址 日本京都府

[72] 发明人 下方斡生 藤野优 藤井高志
鹰木洋

审查员 金兆栋

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

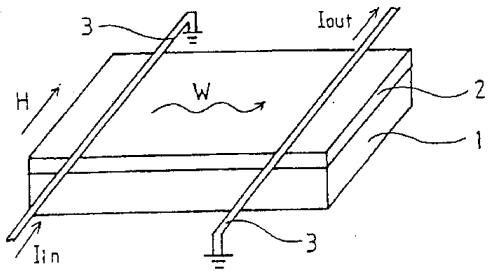
代理人 李 湘

权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 6 页

[54] 发明名称 静磁波器件

[57] 摘要

本发明提供一种静磁波器件，它即使用厚度较小的磁性石榴石薄膜 R，A：YIG 制造也可以正常工作并且具有较宽的频带。 La，Bi，Gd 和 Lu 是化学式$(Y_{1-r}R_r)_3(Fe_{1-a}A_a)_5O_{12}$表示的静磁波器件材料中替换 R 的合适元素而 Al，Ga，In 和 Sc 是替换 A 的合适元素，r 和 a 的范围分别为 $0 \leqslant r \leqslant 1$ 和 $0 \leqslant a \leqslant 1$；并且 r 和 a 不能同时为零。 而且所述磁性石榴石薄膜的晶体结构为超晶格。



ISSN1008-4274

1.一种静磁波器件，它包含一种替位式 R、A：YIG 薄膜，通过在所述薄膜的形成过程中使衬底旋转方向周期性反向而使所述薄膜具有一种沿垂直于所述薄膜的方向周期变化的晶体结构，所述周期是所述晶体结构单位晶胞的整数倍。

2. 如权利要求 1 所述的静磁波器件，其特征在于，所述替位式 R、A：YIG 薄膜用化学通式表示为：

$$(Y_{1-r}R_r)_3(Fe_{1-a}A_a)_5O_{12}$$

这里，R 是至少从 La、Bi、Gd 和 Lu 中选出的一种元素；A 是至少从 Al、Ga、In 和 Sc 中选出的一种元素；r 和 a 的范围分别为 $0\leqslant r\leqslant 1$ 和 $0\leqslant a\leqslant 1$；并且 r 和 a 不能同时为零。

3. 如权利要求 2 所述的静磁波器件，其特征在于，当采用 X 射线衍射测定术对所述薄膜进行摇摆曲线的测量时，所述薄膜中存在一系列的伴随反射，并且其中，所述薄膜反射是所述伴随反射的零级反射。

4. 如权利要求 2 所述的静磁波器件，其特征在于，所述 R 是 La，而所述 A 是 Ga。

5. 一种替位式 R、A：YIG 薄膜，通过在所述薄膜的形成过程中使衬底旋转方向周期性反向而使所述薄膜具有一种沿垂直于所述薄膜的方向周期变化的晶体结构，所述周期是所述晶体结构单位晶胞的整数倍。

6. 如权利要求 5 所述的替位式 R、A：YIG 薄膜，其特征在于，所述替位式 R、A：YIG 薄膜用化学通式表示为：

$$(Y_{1-r}R_r)_3(Fe_{1-a}A_a)_5O_{12}$$

这里，R 是至少从 La、Bi、Gd 和 Lu 中选出的一种元素；A 是至少从 Al、Ga、In 和 Sc 中选出的一种元素；r 和 a 的范围分别为 $0\leqslant r\leqslant 1$ 和 $0\leqslant a\leqslant 1$；并且 r 和 a 不能同时为零。

7. 如权利要求 6 所述的替位式 R、A：YIG 薄膜，其特征在于，所述 R 是 La，而所述 A 是 Ga。

8. 一种静磁波器件，其特征在于，它包含用下述化学通式表示的磁性石榴石薄膜：

$$(Y_{1-r}R_r)_3(Fe_{1-a}A_a)_5O_{12}$$

这里，R 是至少从 La、Bi、Gd 和 Lu 中选出的一种元素；A 是至少从 Al、Ga、In 和 Sc 中选出的一种元素；r 和 a 的范围分别为 $0\leqslant r\leqslant 1$ 和 $0\leqslant a\leqslant 1$；并且 r 和 a 不能同时为零，

其中，通过在所述薄膜的形成过程中使衬底旋转方向周期性反向，从而在采

用X射线衍射测量术对所述磁性石榴石薄膜测得的摇摆曲线图中，相对于表示零级反射的主晶格点，至少有两个伴随反射。

静磁波器件

（1）技术领域

本发明涉及静磁波器件，具体而言涉及包含磁性石榴石薄膜的静磁波器件，所述磁性石榴石薄膜材料用化学通式表示为：

$$(Y_{1-r}R_r)_3(Fe_{1-a}A_a)_5O_{12}$$

这里 R 是元素 La、Bi、Gd 和 Lu 中至少一种元素；A 是元素 Al,Ga,In 和 Sc 中至少一种元素；r 和 a 的范围分别为 $0\leqslant r\leqslant 1$ 和 $0\leqslant a\leqslant 1$；并且 r 和 a 不能同时为零。

（2）背景技术

最近随着信息交换需求的不断增加，日益需要能够处理微波频带信号的微波器件。特别是对于模拟处理器件，象谐振器、滤波器和 S/N 增强器之类信号处理器件的研制比较活跃。作为这些静磁波器件用的材料，以 YIGs 为代表的磁性石榴石材料是最早使用的。

YIG 最早是通过液相外延工艺(LPE 工艺)在由钆镓石榴石(GGG)、钪镓石榴石(SGG)、钕镓石榴石(NGG)或类似材料构成的单晶衬底上以薄膜方式形成，并且在结构上与衬底连为一体。

图 6 示出作为静磁波器件例子的噪声滤波器。噪声滤波器包括 GGG 衬底 1 和形成于 GGG 衬底 1 上的石榴石单晶薄膜 2。噪声滤波器包括一对形成于石榴石单晶薄膜 2 上面的电极 3。在图 6 中，标号示出了所加外磁场的方向，Iin 表示微波的进入方向，W 表示静磁表面波(MSSW)的传播方向，而 Iout 表示微波产生的方向。

为了调节这种 YIG 的磁性能并使其与衬底的晶格常数匹配，试图在材料中采用各种元素来替位 YIG 的 C 位(Y 的位置)和 A,D 位(Fe 的位置)的材料设计工作较为活跃。术语“C 位”和“A,D 位”是用于表示具有通式 $C_3(A,D)_5O_{12}$ 的磁性石榴石材料的相应元素位置。这种替位式 R,A:YIG(替位钇铁石榴石)正逐渐成为静磁波器件的主要材料。

与此同时，从晶体学角度考虑，如果要求组份在总体上没有变化并且均匀的话，采用单晶是比较好。在采用 LPE 工艺制造替位式 R,A:YIG 的研究工作中，尽可能高的均匀性也是一个追求的目标。

但是存在的问题是，当薄膜厚度较小时，特别是膜厚小于 6 微米时，采用替位式 R,A:YIG 材料制造的静磁波器件的铁磁共振半峰宽(ΔH)不大令人满意，而这又是一个重要的磁性能指标。

此外普通的静磁波器件还不能满足共振频带尽可能宽的要求，而这在许多方面，包括温度补偿在内，都是需要的。

因此本发明的主要目的是提供一种静磁波器件，它即使用厚度较小的R,A:YIG制造也可以正常工作并且具有较宽的频带。

（3）发明内容

本发明提供上述的一种静磁波器件，其特征在于所述磁性石榴石薄膜的晶体结构为超晶格。

在上述静磁波器件中，所述超晶格结构由X射线衍射术确定。

在上述静磁波器件中，当采用X射线衍射术测量摇摆曲线时在所述磁性石榴石薄膜内存在一系列的卫星反射峰，并且所述卫星反射峰的主要晶格点为0阶反射。

这意味着晶体结构呈周期性地变化并且具有单元晶胞整数倍的重复结构，这可以采用X射线衍射术中的摇摆曲线方法或者X射线小角散射方法来确定。

通常情况下，假定在单晶中存在规则的重复结构(称为超晶格)并且L表示重复结构的周期，则单位为1/L的晶格点出现在原点附近并且采用X射线小角散射方法可以观察到这样的晶格点。而且单位为1/L的一组晶格点作为小角区域同时出现在每一个晶格点附近。通过在重复方向上测量一个指数(hkl)的反射摇摆曲线可以从下列方程1中得到L，

$$L=(m-n)\lambda/\{2(\sin\theta_m-\sin\theta_n)\} \qquad \text{方程 1}$$

这里m和n表示卫星反射的阶数。λ表示X射线的波长，而θ_m和θ_n分别表示第m阶和第n阶卫星反射的布喇喀角。

虽然可以在LPE工艺中采用衬底和旋转周期性反转的方法或者周期性改变生长位置的方法生长重复结构(超晶格)，但是也可以采用其它的方法，只要它能在结构上引入周期性的变化。替位式R,A:YIG的组份可以随结构变化而改变或者保持不变。而且由于薄膜通常沿垂直薄膜的方向生长，所以重复结构存在于垂直薄膜的方向上。在实际应用中周期可以是任意一个单元晶胞整数倍的数值。

对于替位式R,A:YIG单晶薄膜的掺杂剂，按照已有技术(例如日本专利申请No.H2-97495)，考虑到原子半径、相对YIG薄膜的固溶度以及离子价，La,Bi,Gd和Lu是化学式$(Y_{1-r}R_r)_3(Fe_{1-a}A_a)_5O_{12}$中替换R的合适元素而Al,Ga,In和Sc是替换A的合适元素。按照本发明，并没有为了能在较宽范围内调节饱和磁化和晶格常数而对替位式R,A:YIG中的替位元素数量进行限制。

按照本发明的静磁波器件是利用静磁波(MSSW(静磁表面波)、MSFVW(静磁正向体积波)和MSBVW(静磁反向体积波))的器件。

按照本发明，构成本发明静磁波器件一部分的磁性石榴石替位式R,A:YIG薄

膜有在垂直薄膜的方向呈周期性变化的结构。这使得静磁波器件的共振频带增宽。而且由于由替位式 R,A:YIG 制成的磁性石榴石薄膜即使厚度较薄也具有出色的铁磁共振特性，所以扩展了静磁波器件的应用范围。

按照本发明，可以获得这样一种静磁波器件，即使替位式 R,A:YIG 的薄膜厚度较小，例如 5 微米也能工作而且仍然具有良好的铁磁共振特性和较宽的频带。

根据本发明，提供一种静磁波器件，它包含一种替位式 R、A：YIG 薄膜，通过在所述薄膜的形成过程中使衬底旋转方向周期性反向而使所述薄膜具有一种沿垂直于所述薄膜的方向周期变化的晶体结构，所述周期是所述晶体结构单位晶胞的整数倍。

根据本发明，还提供一种替位式 R、A：YIG 薄膜，通过在所述薄膜的形成过程中使衬底旋转方向周期性反向而使所述薄膜具有一种沿垂直于所述薄膜的方向周期变化的晶体结构，所述周期是所述晶体结构单位晶胞的整数倍。

根据本发明，还提供一种静磁波器件，其特征在于，它包含用下述化学通式表示的磁性石榴石薄膜：$(Y_{1-r}R_r)_3(Fe_{1-a}A_a)_5O_{12}$，这里，R 是 La、Bi、Gd 和 Lu 中选出的至少一种元素；A 至少是 Al、Ga、In 和 Sc 中选出的至少一种元素；r 和 a 的范围分别为 $0\leqslant r\leqslant 1$ 和 $0\leqslant a\leqslant 1$；并且 r 和 a 不能同时为零，其中，通过在所述薄膜的形成过程中使衬底旋转方向周期性反向而使相对于主晶格至少有两个伴随反射，该主晶格表示采用 X 射线衍射测量术对所述磁性石榴石薄膜测得的摇摆曲线图中的零级反射。

通过以下对本发明最佳实施例的详细描述可以进一步理解本发明的目标、特征及其优点。

（4）附图简述

图 1 为按照本发明的静磁波器件中所用磁性石榴石薄膜(888)反射面附近摇摆曲线图。

图 2 为作为比较实例的静磁波器件中所用磁性石榴石薄膜(888)反射面附近摇摆曲线图。

图 3 为测量滤波器特性用测量系统的平面图。

图 4 为按照本发明的静磁波器件的频率特性图。

图 5 为作为比较实例的静磁波器件的频率特性图。

图 6 为静磁波器件(噪声滤波器)的透视图。

（5）晶体实施方式

以下描述本发明的第一实施例。

利用借助 $PbO\text{-}B_2O_3$ 型熔体的 LPE 工艺在(111)GGG 衬底上生长了厚度为 5 微米的 La,Ga:YIG($(Y_{2.93}La_{0.07}Fe_{4.60}Ga_{0.40}O_{12})$薄膜。为此每隔 15 秒使在熔体中旋转

的衬底反向以在 YIG 薄膜中引入周期性的结构变化。以下将这种替位式 La,Ga:YIG 薄膜称为“REV1”。REV1 的 X 射线摇摆曲线相对于(888)反射面测得。图 1 为 REV1(888)反射面附近摇摆曲线的曲线图。在图 1 中，“YIG”表示的反射峰表示来自 REV1 的反射，而“GGG”表示的反射峰来自 GGG 衬底的反射。图 1 箭头指示的反射是晶体结构周期性变化的层状结构的卫星反射峰。如图 1 所示，REV1 中出现卫星反射峰，由此证明存在周期性结构。

进而利用 LPE 工艺在与 REV1 相同的条件下(除了衬底在熔体中只绕一个方向旋转而不反向以外)生长了厚度为 5 微米的 La,Ga:YIG 薄膜。以下将这种替位式 La,Ga:YIG 薄膜称为“ROT1”。与 REV1 一样，ROT1 的 X 射线摇摆曲线相对于(888)反射面测得。图 2 为 ROT1(888)反射面附近摇摆曲线的曲线图。在图 2 中，“YIG”表示的反射峰表示来自 ROT1 的反射，而“GGG”表示的反射峰来自 GGG 衬底的反射。如图 2 所示，ROT1 中不存在卫星反射峰。

接着分别测量了 REV1 和 ROT1 的铁磁共振(FMR)，并且沿垂直于 YIG 的方向施加外部磁场以测量铁磁共振的半峰宽(ΔH)。由此可见，REV1 提供了 0.86 奥斯特的半峰宽而 ROT1 却不具有类似 REV1 的 Lorenz 型共振谱并且无法测量其半峰宽ΔH 通常情况下静磁波器件的半峰宽ΔH必须小于 1.0 奥斯特才有应用价值。

接着 REV1 和 ROT1 经过切割处理和 YIG 薄膜去除处理并采用图 3 所示测量系统测量作为静磁波器件基本性能的 MSSW 滤波器性能。在环氧树脂衬底上形成条状线 10，并且将 REV1 和 ROT1 的测量样品 12 放置在条状线 10 上。利用网络分析仪 14 在沿图 3 箭头 A 所示平行环氧树脂衬底的方向施加 60G 的外部磁场的情况下测量了作为滤波器的薄膜的频率特性。作为比较实例的 ROT1 没有任何滤波器的特性，而按照本发明的 REV1 展现了良好的滤波器性能。

以下描述本发明的第二实施例。

采用与第一实施例相同的熔体、条件和方法(除了生长时间延长以外)生长了 20 微米的 La,Ga:YIG($(Y_{2.93}La_{0.07}Fe_{4.60}Ga_{0.40}O_{12})$薄膜。通过改变衬底转动方向引入周期结构的替位式 La,Ga:YIG 称为“REV2”。另一方面，通过只沿一个方向转动衬底生长的作为比较实例的替位式 La,Ga:YIG 称为“ROT2”。与第一实施例一样测量了 REV2 和 ROT2 相对(888)反射面而言的 X 射线摇摆曲线。REV2 中出现的卫星反射峰表明存在周期结构，而 ROT2 没有出现卫星反射峰。

以下对 REV2 和 ROT2 进行铁磁共振(FMR)的测量，并且与第一实施例一样测量了铁磁共振的半峰宽。REV2 和 ROT2 的半峰宽分别为 0.92 奥斯特和 0.88 奥斯特，都小于 1.0Oe。REV2 和 ROT2 的饱和磁化（$2\pi MS$）分别为 1150 高斯和 1160 高斯。

接着与第一实施例一样采用如图 3 所示的测量系统测量了 REV2 和 ROT2 的

MSSW 滤波器特性。图 4 为 REV2 频率特性测量结果的曲线图，而图 5 为 ROT2 频率特性测量结果的曲线图。如图 5 所示，作为比较实例的 ROT2 的上升梯度平缓并且有大约 150MHz 的平坦有效频率范围。而如图 4 所示，按照本发明的 REV2 的上升梯度陡峭并且具有 300MHz 左右的有效频率区域，是 ROT2 的两倍。而且 REV2 比 ROT2 更为平坦。

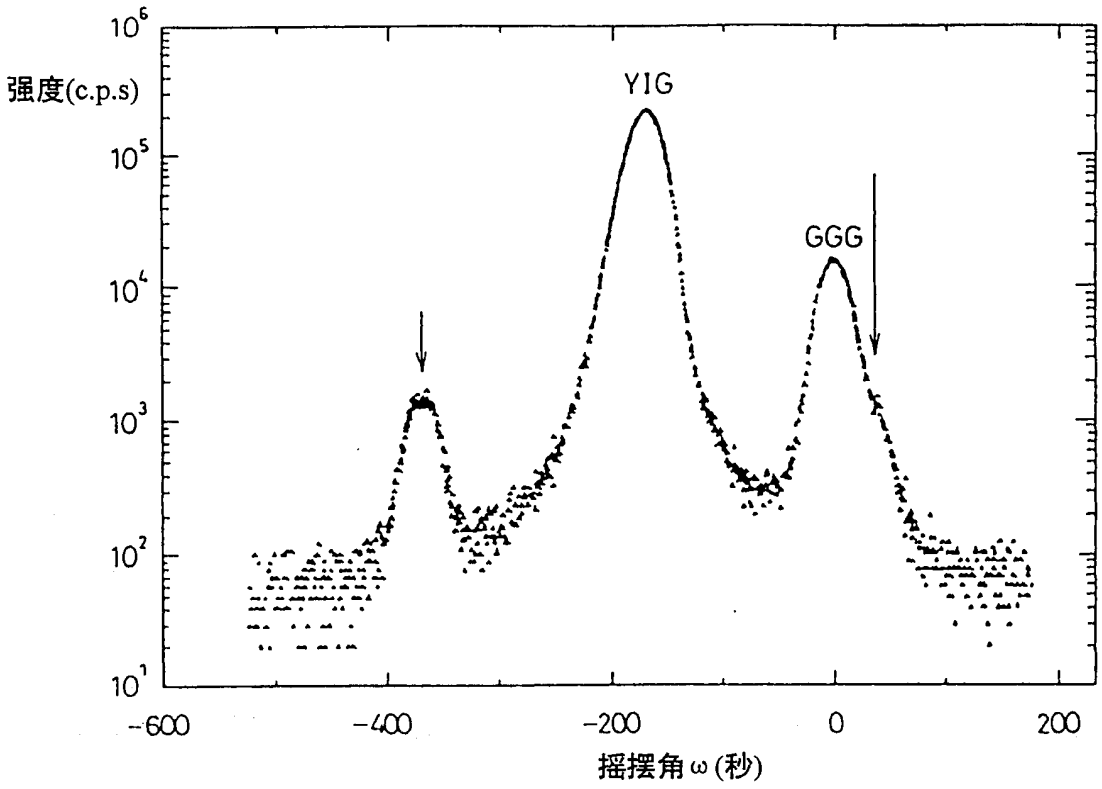


图 1

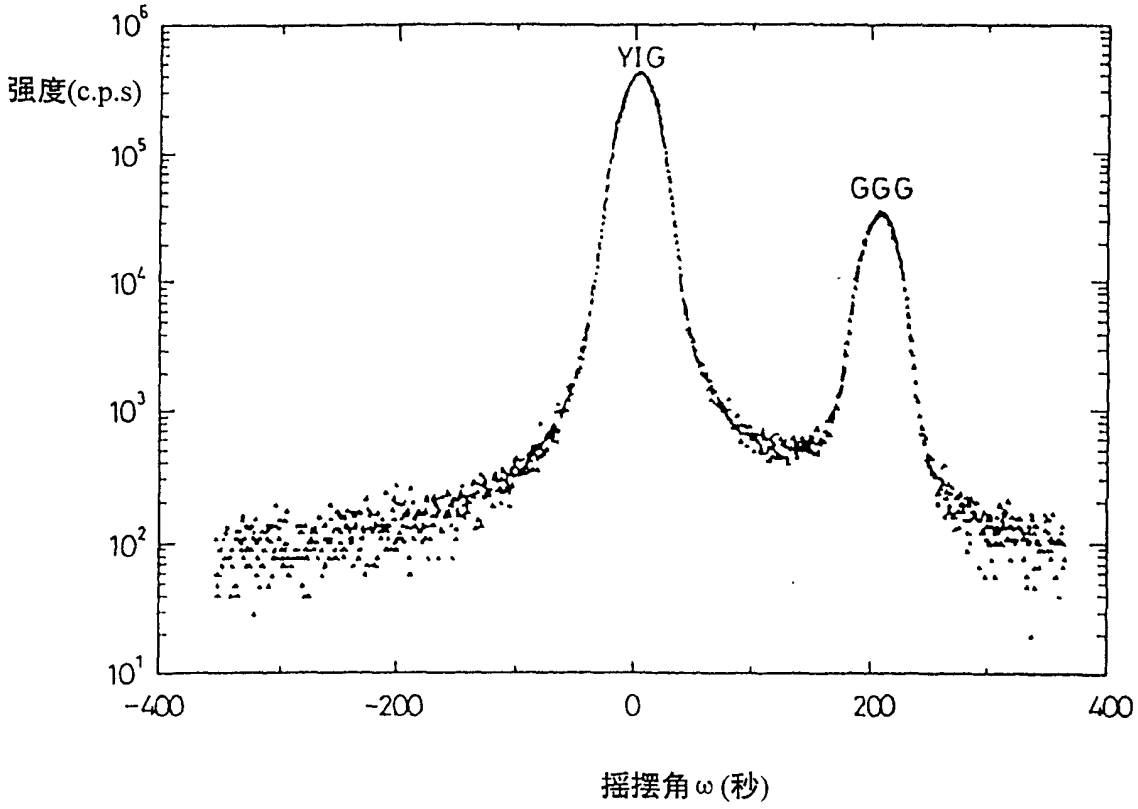


图 2

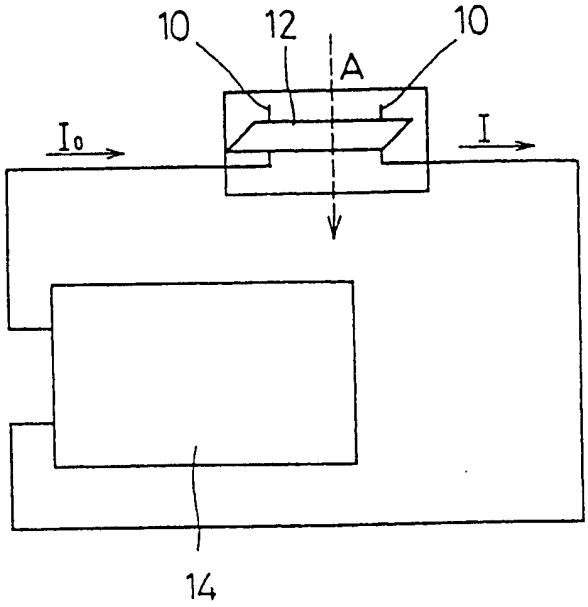


图 3

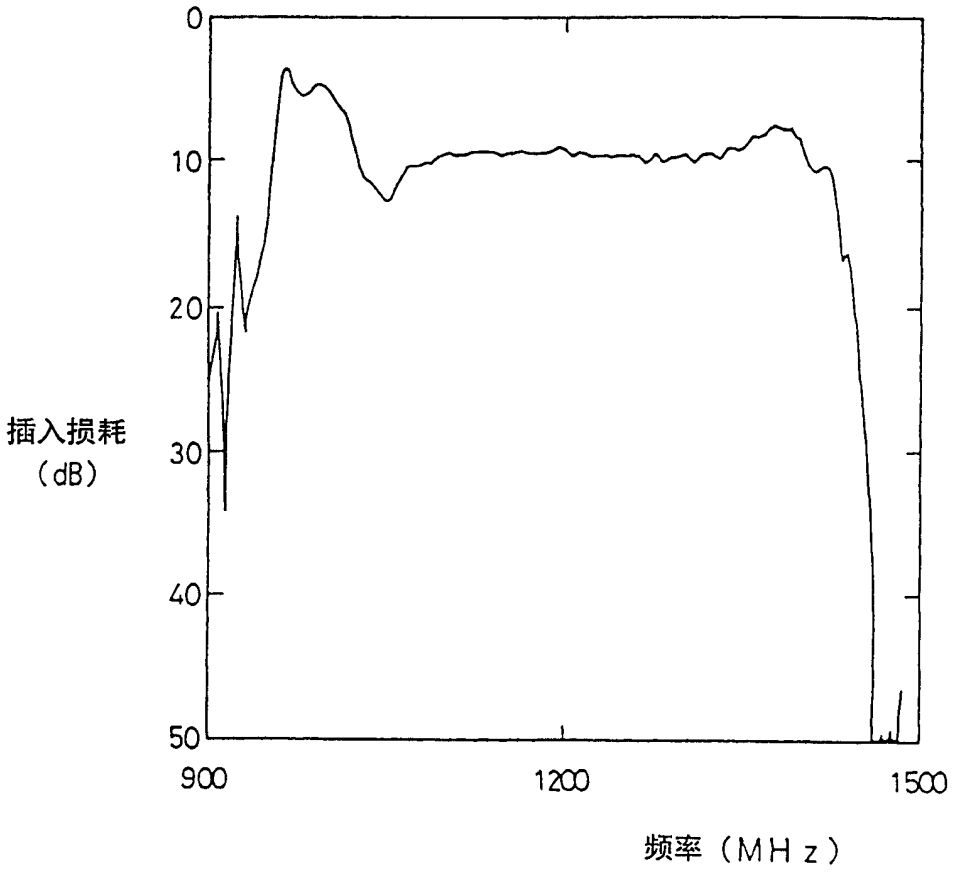


图 4

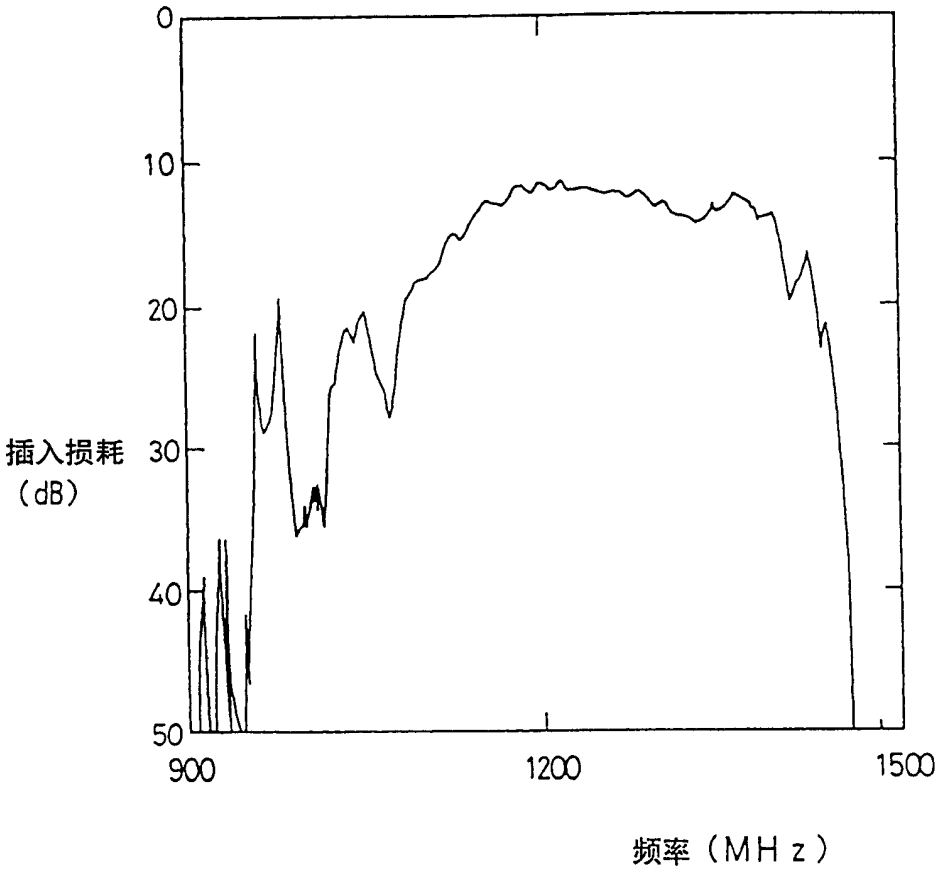


图 5

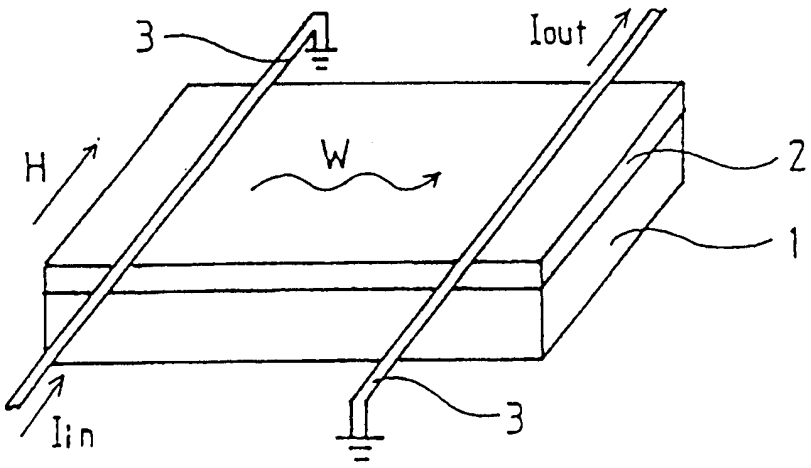


图 6