(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 202353522 U
(45)授权公告日 2012.07.25

(21)申请号 201120313638.2
(22)申请日 2011.08.24
(30)优先权数据
2010-189862 2010.08.26 JP
(73)专利权人 精工爱普生株式会社
地址 日本东京都
(72)发明人 大胁卓弥 饭泽庆吾 山中国人
(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
代理人 李辉 黄纶伟
(51)Int.Cl.
H03H 9/02(2006.01)
H03H 9/25(2006.01)
(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

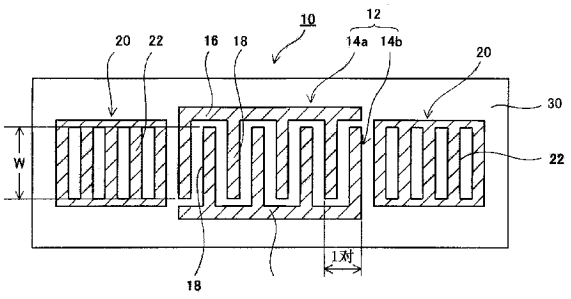
权利要求书 2 页 说明书 18 页 附图 33 页

(54)实用新型名称

表面声波谐振器、表面声波振荡器及电子设备

(57)摘要

本实用新型提供表面声波谐振器、表面声波振荡器及电子设备，能够实现良好的频率温度特性。用于解决上述课题的SAW谐振器(10)具有：IDT(12)，其利用欧拉角为(-1°≤φ≤1°、117°≤θ≤142°、42.79°≤|ψ|≤49.57°)的石英基板(30)，并激励出阻带上端模式的SAW；和槽(32)，其是使位于构成IDT(12)的电极指(18)之间的基板凹陷而形成的，SAW谐振器(10)的特征在于，在设SAW的波长为λ、设槽(13)的深度为G的情况下，满足下式的关系：0.01λ≤G，并且在设IDT(12)的线占用率为η的情况下，槽(32)的深度G与所述线占用率η满足下式的关系：$-2.5\times\frac{G}{\lambda}+0.675\leqq\eta\leqq-2.5\times\frac{G}{\lambda}+0.775$，并且，所述IDT中的电极指的对数N处于下式所示的范围内：160≤N≤220。



CN 202353522 U

1. 一种表面声波谐振器，其具有 IDT 和电极指间槽，该 IDT 设于欧拉角为 -1.5° ≤ φ ≤ 1.5°、117° ≤ θ ≤ 142°、41.9° ≤ | ψ | ≤ 49.57° 的石英基板上，由 Al 或者以 Al 为主体的合金构成，激励出阻带上端模式的表面声波，该电极指间槽是使位于构成所述 IDT 的电极指之间的基板凹陷而形成的，所述表面声波谐振器的特征在于，

在设所述表面声波的波长为 λ、设所述电极指间槽的深度为 G 的情况下，满足下式：

0.01λ ≤ G

并且，在设所述 IDT 的线占用率为 η 的情况下，所述电极指间槽的深度 G 与所述线占用率 η 满足下式的关系：

$$-2.5\times\frac{G}{\lambda}+0.675\leqq\eta\leqq-2.5\times\frac{G}{\lambda}+0.775$$

并且，所述 IDT 中的电极指的对数 N 处于下式所示的范围内：

160 ≤ N ≤ 220。

2. 根据权利要求 1 所述的表面声波谐振器，其特征在于，

所述电极指间槽的深度 G 满足下式的关系：

0.01λ ≤ G ≤ 0.0695λ。

3. 根据权利要求 1 所述的表面声波谐振器，其特征在于，

在设所述 IDT 的电极膜厚为 H 的情况下，满足下式的关系：

0 < H ≤ 0.035λ。

4. 根据权利要求 3 所述的表面声波谐振器，其特征在于，

所述线占用率 η 满足下式的关系：

$$\eta=-2.533\times\frac{G}{\lambda}-2.269\times\frac{H}{\lambda}+0.785\pm0.04$$

。

5. 根据权利要求 3 所述的表面声波谐振器，其特征在于，

所述电极指间槽的深度 G 与所述电极膜厚 H 之和满足下式的关系：

0.0407λ ≤ G+H。

6. 根据权利要求 1 所述的表面声波谐振器，其特征在于，所述 ψ 和所述 θ 满足下式的关系：

$\psi = 1.191\times10^{-3}\times\theta^{3}-4.490\times10^{-1}\times\theta^{2}+5.646\times10^{1}\times\theta-2.324\times10^{3}\pm1.0$。

7. 根据权利要求 1 所述的表面声波谐振器，其特征在于，

在设所述 IDT 的阻带上端模式的频率为 ft2、设反射器的阻带下端模式的频率为 fr1、设所述反射器的阻带上端模式的频率为 fr2 时，满足下式的关系：

fr1 < ft2 < fr2

其中，所述反射器被配置成在表面声波的传播方向上夹着所述 IDT。

8. 根据权利要求 1 所述的表面声波谐振器，其特征在于，

在构成所述反射器的导体带之间设置有导体带间槽，所述导体带间槽的深度比所述电极指间槽的深度浅。

9. 一种表面声波振荡器，其特征在于，

该表面声波振荡器具有权利要求 1 至 8 中任意一项所述的表面声波谐振器。

10. 一种电子设备，其特征在于，

该电子设备具有权利要求 1 至 8 中任意一项所述的表面声波谐振器。

表面声波谐振器、表面声波振荡器及电子设备

技术领域

[0001] 本实用新型涉及表面声波谐振器、安装了该表面声波谐振器的表面声波振荡器以及电子设备，尤其涉及在基板表面设置槽的类型的表面声波谐振器、安装了该表面声波谐振器的表面声波振荡器以及电子设备。

背景技术

[0002] 在表面声波 (SAW :surface acoustic wave) 装置（例如 SAW 谐振器）中，SAW 的阻带、石英基板的切角及 IDT(interdigital transducer，叉指型换能器）的形成方式等对频率温度特性变化的影响较大。

[0003] 例如，在专利文献 1 中公开了分别激励 SAW 阻带的上端模式、下端模式的结构、以及阻带的上端模式、下端模式中的各个驻波的分布等。

[0004] 另外，在专利文献 2 ～ 5 中记载了 SAW 的阻带的上端模式的频率温度特性好于阻带的下端模式。并且，在专利文献 2、3 中记载了调整石英基板的切角，同时将电极的基准化膜厚 (H/λ) 加厚到约 0.1，以便在采用瑞利波的 SAW 装置中得到良好的频率温度特性。

[0005] 另外，在专利文献 4 中记载了在采用瑞利波 (rayleigh wave) 的 SAW 装置中调整石英基板的切角，同时将电极的基准化膜厚 (H/λ) 加厚约 0.045 以上。

[0006] 另外，在专利文献 5 中记载了如下内容 :采用旋转 Y 切 X 传播的石英基板，利用阻带的上端的谐振，由此与采用阻带的下端的谐振的情况相比，频率温度特性得到提高。

[0007] 另外，在专利文献 6 及非专利文献 1 中记载了在采用 ST 切石英基板的 SAW 装置中，在构成 IDT 的电极指之间、构成反射器的导体带之间设置槽 (groove)。并且，在非专利文献 1 中记载了频率温度特性随着槽的深度而变化。

[0008] 另外，在专利文献 7 中记载了在采用 LST 切的石英基板的 SAW 装置中将表示频率温度特性的曲线设为三次曲线的结构，同时记载了在采用瑞利波的 SAW 装置中， 未能发现具有诸如利用三次曲线表示的温度特性的切角的基板。

[0009] 【现有技术文献】

[0010] 【专利文献】

[0011] 【专利文献 1】日本特开平 11-214958 号公报

[0012] 【专利文献 2】日本特开 2006-148622 号公报

[0013] 【专利文献 3】日本特开 2007-208871 号公报

[0014] 【专利文献 4】日本特开 2007-267033 号公报

[0015] 【专利文献 5】日本特开 2002-100959 号公报

[0016] 【专利文献 6】日本特开昭 57-5418 号公报

[0017] 【专利文献 7】日本专利第 3851336 号公报

[0018] 【非专利文献】

[0019] 【非专利文献 1】グルーブ形 SAW 共振器の製造条件と特性（電子通信学会技術研究報告 MW82-59(1982)）

[0020] 如上所述，用于改善频率温度特性的因素有多种，尤其是在采用瑞利波的 SAW 装置中，认为加厚构成 IDT 的电极的膜厚是有助于频率温度特性的一个因素。但是，本申请的申请人通过实验发现，在加厚电极的膜厚时，老化特性和耐温度冲击特性等耐环境特性会变差。并且，在以改善频率温度特性为主要目的的情况下，如上所述，必须加厚电极膜厚，但是随之不可避免老化特性和耐温度冲击特性等的恶化。这也适用于 Q 值，很难在不加厚电极膜厚的情况下实现高 Q 化。

实用新型内容

[0021] 因此，在本申请的实用新型中，提供表面声波谐振器、表面声波振荡器以及电子设备时的课题在于，第一实现良好的频率温度特性，第二提高耐环境特性，第三得到较高的 Q 值。

[0022] 本实用新型正是为了解决上述问题的至少一部分问题而提出的，能够作为以下的方式或者应用例来实现。

[0023] [应用例 1] 一种表面声波谐振器，其具有 IDT 和电极指间槽，该 IDT 设于欧拉角为 $-1.5° \leqslant \Phi \leqslant 1.5°$、$117° \leqslant \theta \leqslant 142°$、$41.9° \leqslant |\psi| \leqslant 49.57°$ 的石英基板上，由 Al 或者以 Al 为主体的合金构成，激励出阻带上端模式的表面声波，该电极指间槽是使位于构成所述 IDT 的电极指之间的基板凹陷而形成的，所述表面声波谐振器的特征在于，在设所述表面声波的波长为 λ、设所述电极指间槽的深度为 G 的情况下，满足下式：

[0024] $0.01\lambda \leqslant G$ ・・・(1)

[0025] 并且，在设所述 IDT 的线占用率为 η 的情况下，所述电极指间槽的深度 G 与所述线占用率 η 满足下式的关系：

[0026] $$-2.5\times\frac{G}{\lambda}+0.675\leqq\eta\leqq-2.5\times\frac{G}{\lambda}+0.775 \quad \cdots \quad (5)$$

[0027] 并且，所述 IDT 中的电极指的对数 N 处于下式所示的范围内：

[0028] $160 \leqslant N \leqslant 220$ ・・・(19)。

[0029] 根据具有这种特征的表面声波谐振器，能够提高频率温度特性。

[0030] [应用例 2] 根据应用例 1 所述的表面声波谐振器，其特征在于，所述电极指间槽的深度 G 满足下式的关系：

[0031] $0.01\lambda \leqslant G \leqslant 0.0695\lambda$ ・・・(3)。

[0032] 根据具有这种特征的表面声波谐振器，即使是在电极指间槽的深度 G 由于制造时的误差而出现偏差的情况下，也能够将单体之间的谐振频率的偏移抑制在校正范围内。

[0033] [应用例 3] 根据应用例 1 或者应用例 2 所述的表面声波谐振器，其特征在于，在设所述 IDT 的电极膜厚为 H 的情况下，满足下式的关系：

[0034] $0 < H \leqslant 0.035\lambda$ ・・・(6)。

[0035] 根据具有这种特征的表面声波谐振器，能够实现在工作温度范围内表现出良好的频率温度特性。并且，通过具有这种特征，能够抑制随着电极膜厚增加而造成的耐环境特性的恶化。

[0036] [应用例 4] 根据应用例 3 所述的表面声波谐振器，其特征在于，所述线占用率 η 满足下式的关系：

[0037] $$\eta = -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 \pm 0.04 \quad \cdots \quad (8)$$ 。

[0038] 通过将 η 设定为在应用例 3 的电极膜厚的范围内满足式 (8)，能够将二次温度系数控制在大致 ±0.01ppm/℃ ^{2} 以内。

[0039] [应用例 5] 根据应用例 3 或者应用例 4 所述的表面声波谐振器，其特征在于，所述电极指间槽的深度 G 与所述电极膜厚 H 之和满足下式的关系：

[0040] $0.0407\lambda \leqslant G+H$ 。

[0041] 通过如上述那样设定电极指间槽的深度 G 与电极膜厚 H 之和，能够得到比以往的表面声波谐振器更高的 Q 值。

[0042] [应用例 6] 根据应用例 1 至应用例 5 的任意一例中所述的表面声波谐振器，其特征在于，所述 ψ 和所述 θ 满足下式的关系：

[0043] $\psi = 1.191\times10^{-3}\times\theta^3 - 4.490\times10^{-1}\times\theta^2 + 5.646\times10^{1}\times\theta - 2.324\times10^{3} \pm 1.0$ ・・・(17)。

[0044] 通过使用以具有这种特征的切角切取的石英基板来制造表面声波谐振器，能够实现在较大范围内表现出良好频率温度特性的表面声波谐振器。

[0045] [应用例 7] 根据应用例 1 至应用例 6 的任意一例中所述的表面声波谐振器，其特征在于，在设所述 IDT 的阻带上端模式的频率为 ft2、设反射器的阻带下端模式的频率为 fr1、设所述反射器的阻带上端模式的频率为 fr2 时，满足下式的关系：

[0046] $fr1 < ft2 < fr2$ ・・・(18)

[0047] 其中，所述反射器被配置成在表面声波的传播方向上夹着所述 IDT。

[0048] 通过具有这种特征，在 IDT 的阻带上端模式的频率 ft2 处，反射器的反射系数 $|\Gamma|$ 增大，IDT 激励出的阻带上端模式的表面声波被反射器以高反射系数向 IDT 侧反射。并且，阻带上端模式的表面声波的能量封闭增强，能够实现低损耗的表面声波谐振器。

[0049] [应用例 8] 根据应用例 1 至应用例 7 的任意一例中所述的表面声波谐振器，其特征在于，在构成所述反射器的导体带之间设置有导体带间槽，所述导体带间槽的深度比所述电极指间槽的深度浅。

[0050] 通过具有这种特征，能够使反射器的阻带相对于 IDT 的阻带向高域侧进行频移。因此，能够实现式 (18) 的关系。

[0051] [应用例 9] 一种表面声波振荡器，其特征在于，该表面声波振荡器具有应用例 1 至应用例 8 的任意一例中所述的表面声波谐振器。

[0052] [应用例 10] 一种电子设备，其特征在于，该电子设备具有应用例 1 至应用例 8 的任意一例中所述的表面声波谐振器。

附图说明

[0053] 图 1(A) 是 SAW 谐振器的平面图，图 1(B) 是部分放大剖面图，图 1(C) 是 用于详细说明图 1(B) 的放大图。

[0054] 图 2 是表示阻带上端模式与下端模式间的关系的图。

[0055] 图 3 是表示电极指间槽的深度与工作温度范围内的频率变动量间的关系的曲线

图。

[0056] 图 4(A) 表示设槽深 G 为 0.02λ 时的阻带上端模式的谐振中的二次温度系数 β，图 4(B) 表示设槽深 G 为 0.02λ 时的阻带下端模式的谐振中的二次温度系数 β，图 4(C) 表示设槽深 G 为 0.04λ 时的阻带上端模式的谐振中的二次温度系数 β，图 4(D) 表示设槽深 G 为 0.04λ 时的阻带下端模式的谐振中的二次温度系数 β。

[0057] 图 5 是表示设电极膜厚为 0 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0058] 图 6 是表示设电极膜厚为 0 时使得二次温度系数为 0 的电极指间槽的深度与线占用率 η 间的关系的曲线图。

[0059] 图 7 是表示设电极膜厚为 0 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的曲线图。

[0060] 图 8 是表示电极指间槽的深度偏差 ±0.001λ 时的特定的电极指间槽的深度与由于偏差而产生于 SAW 谐振器间的频率差间的关系的曲线图。

[0061] 图 9 是表示改变电极膜厚时的二次温度系数为 0 的电极指间槽的深度与线占用率 η 间的关系的曲线图。

[0062] 图 10 是表示将各个电极膜厚的情况下的使得二次温度系数为 0 的 η1 与电极指间槽间的关系汇总在一个曲线图中而得到的图。

[0063] 图 11 是用近似直线表示从电极膜厚 H ≈ 0 到 H = 0.035λ 时的电极指间槽与线占用率 η 间的关系的图。

[0064] 图 12 是表示设电极膜厚为 0.01λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0065] 图 13 是表示设电极膜厚为 0.015λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0066] 图 14 是表示设电极膜厚为 0.02λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0067] 图 15 是表示设电极膜厚为 0.025λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与二 次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0068] 图 16 是表示设电极膜厚为 0.03λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0069] 图 17 是表示设电极膜厚为 0.035λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0070] 图 18 是表示设电极膜厚为 0.01λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的曲线图。

[0071] 图 19 是表示设电极膜厚为 0.015λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的曲线图。

[0072] 图 20 是表示设电极膜厚为 0.02λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的曲线图。

[0073] 图 21 是表示设电极膜厚为 0.025λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的曲线图。

[0074] 图 22 是表示设电极膜厚为 0.03λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的曲线图。

[0075] 图 23 是表示设电极膜厚为 0.035λ 并改变电极指间槽的深度时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的曲线图。

[0076] 图 24 是表示确定了电极膜厚、线占用率 η 时的电极指间槽与欧拉角 ψ 间的关系的曲线图。

[0077] 图 25 是将改变了电极膜厚的电极指间槽与欧拉角 ψ 间的关系的曲线图汇总在一个曲线图中而得到的图。

[0078] 图 26 是表示使得二次温度系数 β 为 -0.01ppm/℃ ^{2} 的电极指间槽与欧拉角 ψ 间的关系的曲线图。

[0079] 图 27 是表示使得二次温度系数 β 为 +0.01ppm/℃ ^{2} 的电极指间槽与欧拉角 ψ 间的关系的曲线图。

[0080] 图 28 是表示电极膜厚 0.02λ、电极指间槽的深度 0.04λ 的情况下的欧拉角 θ 与二次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0081] 图 29 是表示欧拉角 Φ 与二次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0082] 图 30 是表示频率温度特性良好的欧拉角 θ 与欧拉角 ψ 间的关系的曲线图。

[0083] 图 31 是表示使得频率温度特性最好的条件下的 4 个试验片的频率温度特性数据的例子的图。

[0084] 图 32 是表示作为电极指间槽与电极膜厚之和的阶差和 CI 值之间的关系的曲线图。

[0085] 图 33 是表示本实施方式的 SAW 谐振器的等效电路常数和静态特性的例子的表。

[0086] 图 34 是本实施方式的 SAW 谐振器的阻抗曲线数据。

[0087] 图 35 是用于将以往的 SAW 谐振器的阶差与 Q 值间的关系、和本实施方式的 SAW 谐振器的阶差与 Q 值间的关系进行比较的曲线图。

[0088] 图 36 是表示 IDT 与反射器的 SAW 反射特性的图。

[0089] 图 37 是表示热循环试验中的电极膜厚与频率变动间的关系的曲线图。

[0090] 图 38 是表示本实施方式的 SAW 谐振器的谐振特性的相位的曲线图，是表示阻带的下端模式与上端模式重叠时的例子的图。

[0091] 图 39 是表示本实施方式的 SAW 谐振器的谐振特性的相位的曲线图，是表示阻带的下端模式未与上端模式重叠时的例子的图。

[0092] 图 40 是表示本实施方式的 SAW 谐振器的谐振特性的相位的曲线图，是表示阻带的下端模式与上端模式重叠的 IDT 对数 N = 144 时的例子的图。

[0093] 图 41 是表示本实施方式的 SAW 谐振器的谐振特性的相位的曲线图，是表示阻带的下端模式未与上端模式重叠的 IDT 对数 N = 220 时的例子的图。

[0094] 图 42 是表示本实施方式的 SAW 谐振器的谐振特性的相位的曲线图，是表示阻带的下端模式与上端模式重叠的 IDT 对数 N = 270 时的例子的图。

[0095] 图 43(A) 是卸下盖后的平面图，图 43(B) 是表示图 43(A) 中的 A-A 剖面的图。

[0096] 标号说明

[0097] 10 表面声波谐振器 (SAW 谐振器)；12IDT；14a、14b 梳齿状电极；16 总线

(busbar) ;18 电极指 ;20 反射器 ;22 导体带 ;30 石英基板 ;32 槽。

具体实施方式

[0098] 下面，参照附图详细说明本实用新型的表面声波谐振器、表面声波振荡器以及电子设备的实施方式。

[0099] 首先，参照图 1(A)、图 1(B)、图 1(C) 对本实用新型的表面声波 (SAW) 谐振器的第 1 实施方式进行说明。图 1(A) 是 SAW 谐振器的平面图，图 1(B) 是部分放大剖面图，图 1(C) 是用于详细说明该图 1(B) 的放大图。

[0100] 本实施方式的 SAW 谐振器 10 以石英基板 30、IDT 12 和反射器 20 为基础而构成。石英基板 30 采用由 X 轴（电气轴）、Y 轴（机械轴）和 Z 轴（光轴）表示结晶轴的基板。

[0101] 在本实施方式中，石英基板 30 采用由欧拉角 (-1° ≤ φ ≤ 1°，117° ≤ θ ≤ 142°，41.9° ≤ | ψ | ≤ 49.57°) 表示的面内旋转 ST 切石英基板。在此，对欧拉角进行说明。由欧拉角 (0°，0°，0°) 表示的基板为具有与 Z 轴垂直的主面的 Z 切基板。这里，欧拉角 (φ，θ，ψ)中的 φ是关于 Z 切基板的第 1 旋转的参数，是将 Z 轴作为旋转轴、将从 +X 轴向 +Y 轴侧旋转的方向作为正旋转角度的第 1 旋转角度。欧拉角中的 θ 是关于 Z 切基板在第 1 旋转后进行的第 2 旋转的参数，是将第 1 旋转后的 X 轴作为旋转轴、将第 1 旋转后的从 +Y 轴向 +Z 轴旋转的方向作为正旋转角度的第 2 旋转角度。压电基板的切面由第 1 旋转角度 φ和第 2 旋转角度 θ 决定。欧拉角中的 ψ 是关于 Z 切基板在第 2 旋转后进行的第 3 旋转的参数，是将第 2 旋转后的 Z 轴作为旋转轴、将第 2 旋转后的从 +X 轴向第 2 旋转后的 +Y 轴侧旋转的方向作为正旋转角度的第 3 旋转角度。SAW 的传播方向由相对于第 2 旋转后的 X 轴的第 3 旋转角度 ψ 表示。

[0102] IDT 12 具有一对利用总线 16 将多个电极指 18 的基端部连接而形成的梳齿状电极 14a、14b，且隔开规定的间隔将构成一个梳齿状电极 14a(或 14b) 的电极指 18 与构成另一个梳齿状电极 14b(或 14a) 的电极指 18 交替地配置。在此，电极指 18 被配置在与作为表面声波传播方向的 X’ 轴垂直的方向上。由如此构成的 SAW 谐振器 10 激励出的 SAW 是 Rayleigh 型（瑞利型）SAW，在第 3 旋转后的 Z 轴和第 3 旋转后的 X 轴这两个轴上具有振动位移分量。这样，通过使 SAW 的传播方向偏离作为石英结晶轴的 X 轴，能够激励出阻带上端模式的 SAW。

[0103] 在此，对阻带上端模式的 SAW 与下端模式的 SAW 间的关系进行说明。在由图 2 所示的标准型 IDT 12(图 2 所示的是构成 IDT 12 的电极指 18) 形成的阻带下端模式及上端模式的 SAW 中，各驻波的波腹（或者波节）的位置相互错开 π /2。图 2 是表示标准型 IDT 12 的阻带上端模式和下端模式的驻波的分布的图。

[0104] 根据图 2，如上所述，实线示出的阻带下端模式的驻波的波腹位于电极指 18 的 中央位置，即反射中心位置，单点划线示出的阻带上端模式的驻波的波节位于反射中心位置。

[0105] 以在 SAW 的传播方向上夹着所述 IDT 12 的方式，设置有一对反射器 20。作为具体的结构，将与构成 IDT 12 的电极指 18 平行地设置的多个导体带 22 的两端分别连接起来。

[0106] 另外，在主动利用来自石英基板的 SAW 传播方向的端面的反射波的端面反射型 SAW 谐振器、和通过增多 IDT 的电极指对数来由 IDT 自身激励出 SAW 驻波的多对 IDT 型 SAW 谐振器中，不一定需要反射器。

[0107] 作为构成具有这种结构的 IDT 12 和反射器 20 的电极膜的材料，能够采用铝 (Al) 或者以 Al 为主体的合金。另外，在采用合金作为电极膜材料的情况下，将除了作为主成分的 Al 之外的金属的重量比设为 10％以下即可。

[0108] 具有上述基本结构的 SAW 谐振器 10 的石英基板 30 在 IDT 12 的电极指之间、反射器 20 的导体带之间设置有槽（电极指间槽）32。

[0109] 对于设置在石英基板 30 上的槽 32，在设阻带上端模式中的 SAW 的波长为 λ、设槽深为 G 的情况下，只要满足下式即可：

[0110] $0.01\lambda \leqslant G$ ・・・(1)。

[0111] 此外，在针对槽深 G 设定上限值的情况下，参照图 3 可知，只要满足以下范围即可：

[0112] $0.01\lambda \leqslant G \leqslant 0.094\lambda$ ・・・(2)。

[0113] 这是因为，通过在这种范围内设定槽深 G，能够将工作温度范围内 (-40℃～+85℃) 的频率变动量控制在之后详述的目标值 25ppm 以下。另外，槽深 G 的优选范围是：

[0114] $0.01\lambda \leqslant G \leqslant 0.0695\lambda$ ・・・(3)。

[0115] 通过在这种范围内设定槽深 G，即使槽深 G 产生了制造上的偏差，也能够将 SAW 谐振器 10 的个体之间的谐振频率的偏移量抑制在校正范围内。

[0116] 并且，如图 1(C) 所示，线占有率 η 是指，用电极指 18 的线宽（在仅有石英凸部的情况下是指凸部宽度）L 除以电极指 18 之间的节距 (pitch) λ/2(＝L+S) 而得到的值。因此，线占有率 η 可以用式 (4) 来表示。

[0117] $$\eta = \frac{L}{L+S} \quad \cdots \quad (4)$$

。

[0118] 这里，对于本实施方式的 SAW 谐振器 10，优选在式 (5) 的范围内设定线占有率 η。此外，由式 (5) 还可知，可通过设定槽 32 的深度 G 来导出 η。

[0119] $$-2.5\times\frac{G}{\lambda}+0.675 \leqq \eta \leqq -2.5\times\frac{G}{\lambda}+0.775 \quad \cdots \quad (5)$$

。

[0120] 另外，本实施方式的 SAW 谐振器 10 中的电极膜材料 (IDT 12 及反射器 20 等) 的膜厚的优选范围是：

[0121] $0 < H \leqslant 0.035\lambda$ ・・・(6)。

[0122] 此外，关于线占有率 η，在考虑了式 (6) 所示的电极膜厚的情况下，可通过式 (7) 求出 η：

[0123] $$\eta = -2.533\times\frac{G}{\lambda} - 2.269\times\frac{H}{\lambda} + 0.785 \quad \cdots \quad (7)$$

。

[0124] 关于线占有率 η，电极膜厚越厚，则电气特性（尤其是谐振频率）的制造偏差越大，在电极膜厚 H 为式 (6) 的范围内，线占有率 η 产生 ±0.04 以内的制造偏差，而在 $H > 0.035\lambda$ 的范围内，很可能产生比 ±0.04 更大的制造偏差。但是，只要电极膜厚 H 处于式 (6) 的范围内且线占有率 η 的偏差为 ±0.04 以内，就能够实现二次温度系数 β 小的 SAW 装置。即，线占有率 η 可以容许达到在式 (7) 上加上 ±0.04 的公差后的式 (8) 的范围。

[0125] $$\eta = -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 \pm 0.04 \quad \cdots (8)$$

。

[0126] 在上述结构的本实施方式的 SAW 谐振器 10 中，其目的在于，在设二次温度系数 β 为 ±0.01ppm/℃ ^{2} 以内且希望 SAW 的工作温度范围为 -40℃～ +85℃的情况下，将频率温度特性提高到这样的程度，即：能够使该工作温度范围内的频率变动量 ΔF 处于 25ppm 以下的程度。另外，由于二次温度系数 β 是表示 SAW 频率温度特性的曲线的多项式近似的二次系数，因而二次温度系数的绝对值小就意味着频率变动量小，频率温度特性良好。以下是使用与上述结构的 SAW 装置具有能够达到本实用新型目的的要素的情况相关的仿真而得出的证明。

[0127] 另外，对于使用被称为 ST 切的石英基板而将传播方向设为 X 晶轴方向的 SAW 谐振器，在工作温度范围相同的情况下，工作温度范围内的频率变动量 ΔF 约为 117ppm，二次温度系数 β 为 -0.030ppm/℃ ^{2} 左右。此外，对于使用了由欧拉角 (0，123°，45°) 表示石英基板的切角和 SAW 传播方向且工作温度范围相同的面内旋转 ST 切石英基板的 SAW 谐振器，频率变动量 ΔF 约为 63ppm，二次温度系数 β 为 -0.016ppm/℃ ^{2} 左右。

[0128] 如上所述，SAW 谐振器 10 的频率温度特性的变化与 IDT 12 中的电极指 18 的线占用率 η、电极膜厚 H、槽深 G 等有关。并且，本实施方式的 SAW 谐振器 10 采用阻带上端模式的激励。

[0129] 图 4(A)、图 4(B)、图 4(C)、图 4(D) 是表示改变线占用率 η 使 SAW 在石英基板 30 中传播时的二次温度系数 β 的变化的曲线图。图 4(A) 表示设槽深 G 为 0.02λ 时的阻带上端模式的谐振中的二次温度系数 β，图 4(B) 表示设槽深 G 为 0.02λ 时的阻带下端模式的谐振中的二次温度系数 β。并且，图 4(C) 表示设槽深 G 为 0.04λ 时的阻带上端模式的谐振中的二次温度系数 β，图 4(D) 表示设槽深 G 为 0.04λ 时的阻带下端模式的谐振中的二次温度系数 β。另外，图 4(A)、图 4(B)、图 4(C)、图 4(D) 所示的仿真表示为了减少使频率温度特性变动的因素而以某种形式使 SAW 在没有设置电极膜的石英基板 30 中传播时的例子。并且，石英基板 30 的切角采用欧拉角 (0°，123°，ψ) 的切角。另外，关于 ψ，适当选择使得二次温度系数 β 的绝对值最小的值。

[0130] 根据图 4(A)、图 4(B)、图 4(C)、图 4(D) 可知，在阻带上端模式的情况和下端模式的情况下，在线占用率 η 为 0.6 ～ 0.7 附近，二次温度系数 β 变化都比较大。并且，对阻带上端模式的二次温度系数 β 的变化与阻带下端模式的二次温度系数 β 的变化进行比较，能够得知如下情况。即，阻带下端模式的二次温度系数 β 的变化是从负侧进一步向负侧变化，由此使得特性下降 (二次温度系数 β 的绝对值增大)。与此相对，阻带上端模式的二次温度系数 β 的变化是从负侧向正侧变化，因而特性提高 (二次温度系数 β 的绝对值减小)。

[0131] 由此，可以说为了在 SAW 装置中得到良好的频率温度特性，优选采用阻带上端模式的振动。

[0132] 接着，发明者针对在使槽深 G 进行各种变化后的石英基板中传播阻带上端模式的 SAW 时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系进行了研究。

[0133] 图 5 是表示使槽深 G 从 0.01λ (1% λ) 变化到 0.08λ (8% λ) 时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的仿真曲线图。根据图 5 可知，从槽深 G 为 0.0125λ (1.25%

λ）附近起开始出现 β ＝0 的点，即，表示频率温度特性的近似曲线呈现为三次曲线的点。而且，由图 5 可知，β ＝0 时的 η 各有 2 处（η 较大时的 β ＝0 的点（η1）以及 η 较小时的 β ＝0 的点（η2））。此外，根据图 5 可知，η2 与 η1 相比，线占有率 η 相对于槽深 G 的变化的变动量更大。

[0134] 关于这一点，通过参照图 6 能够加深对其的理解。图 6 是分别描绘了逐渐改变槽深 G 时使得二次温度系数 β 为 0 的 η1、η2 的曲线图。根据图 6 可知，随着槽深 G 变大，η1、η2 彼此变小，但对于 η2，在槽深 G＝0.04λ 附近，变动量的范围增大到超出了在 0.5λ ～ 0.9λ 的范围内示出的曲线图的程度。即，可以说 η2 相对于槽深 G 的变化的变动量更大。

[0135] 图 7 是将图 5 中的纵轴设为频率变动量 ΔF 来替换二次温度系数 β 的曲线图。根据图 7 显然可知，在 β ＝0 的两个点（η1、η2）处，频率变动量 ΔF 下降。另外，根据图 7 可知，在 β ＝0 的两个点，无论在改变槽深 G 后的哪个曲线图中，都是在相当于 η1 的点处，能够将频率变动量 ΔF 抑制得更小。

[0136] 根据上述趋势，可以认为对于在制造时容易产生误差的批量产品，优选采用 β ＝0 的点相对于槽深 G 变动的变动量较小的一方，即 η1。图 3 示出在各个槽深 G 的情况下使得二次温度系数 β 为最小的点（η1）处的频率变动量 ΔF 与槽深 G 间的关系的曲线图。根据图 3，使得频率变动量 ΔF 成为目标值 25ppm 以下的槽深 G 的下限值是 0.01λ，槽深 G 的范围是该下限值以上，即 0.01λ ≤G。

[0137] 另外，在图 3 中通过仿真追加了使槽深 G 成为 0.08 以上时的例子。根据该仿真可知，在槽深 G 为 0.01λ 以上时，频率变动量 ΔF 为 25ppm 以下，然后每当槽深 G 增加时，频率变动量 ΔF 减小。但是，在槽深 G 达到约 0.09λ 以上时，频率变动量 ΔF 再次增加，在槽深 G 超过 0.094λ 时，频率变动量 ΔF 超过 25ppm。

[0138] 图 3 所示的曲线图是在石英基板 30 上未形成 IDT 12 和反射器 20 等的电极膜的状态下的仿真，参照以下详述的图 16 ～图 21 可知，可以认为 SAW 谐振器 10 在设置了电极膜时能够减小频率变动量 ΔF。因此，当要确定槽深 G 的上限值时，只要设定为未形成电极膜的状态下的最大值即可，即 G ≤ 0.094λ，为了实现目标，作为优选的槽深 G 的范围，可表示为下式：

[0139] 0.01λ ≤G≤ 0.094λ ・・・(9)。

[0140] 此外，在批量生产工序中，槽深 G 最多具有 ±0.001λ 左右的偏差。因此，图 8 示出了在线占有率 η 恒定的情况下槽深 G 发生了 ±0.001λ 的偏差时、SAW 谐振器 10 的各个频率变动量 Δf。根据图 8 可知，在 G ＝0.04λ 的情况下，当槽深 G 发生了 ±0.001λ 的偏差时，即，在槽深为 0.039λ ≤G≤ 0.041λ 的范围内，频率变动量 Δf 为 ±500ppm 左右。

[0141] 在此，认为如果频率变动量 Δf 小于 ±1000ppm，则能够通过各种频率微调单元进行频率调整。而当频率变动量 Δf 为 ±1000ppm 以上时，频率调整会对 Q 值、CI(crystal impedance：晶体阻抗）值等静态特性及长期可靠性产生影响，从而导致 SAW 谐振器 10 的合格率降低。

[0142] 关于将图 8 所示的描绘点连接而成的直线，通过导出表示频率变动量 Δf[ppm] 与槽深 G 间的关系的近似式，能够得到式 (10)。

[0143] Δf ＝ 16334G-137 ・・・(10)。

[0144] 这里，求出使 Δf ＜ 1000ppm 的 G 值而得到 G ≤ 0.0695λ。因此，作为本实施方式

的槽深 G 的范围，可适当优选下式：

[0145] $0.01\lambda \leqslant G \leqslant 0.0695\lambda$ ・・・(11)。

[0146] 接着，图 9 示出了对二次温度系数 β ＝ 0 时的 η、即表示出三次温度特性的线占有率 η 与槽深 G 间的关系的曲线图。石英基板 30 的欧拉角为 (0°，123°，ψ)。这里，关于 ψ，适当选择了使频率温度特性表现出三次曲线趋势的角度，即，使二次温度系数 β ＝ 0 的角度。此外，图 24 示出了在与图 9 同样的条件下得到使 β ＝ 0 的 η 时的欧拉角 ψ 与槽深 G 间的关系。在图 24 的电极膜厚 H ＝ 0.02λ 的曲线图中，虽未示出 ψ ＜ 42° 的绘制点，不过在 G ＝ 0.03λ 处，该曲线图中的 η2 的绘制点为 ψ ＝ 41.9° 。关于各电极膜厚的情况下的槽深 G 与线占有率 η 间的关系，根据之后详述的图 12 ～图 17 来得到绘制图。

[0147] 根据图 9 可知，无论在哪个膜厚的情况下，如上所述，η1 由于槽深 G 的变化而产生的变动都小于 η2。因此，对于图 9 中的各个膜厚的曲线图，提取出 η1 并汇总在图 10 中。根据图 10 可知，η1 集中在虚线所示的线中。并且，根据图 10 所示，表示线占用率 η 的上限的绘制点是电极膜厚 H ＝ 0.01λ 的 SAW 谐振器，表示线占用率 η 的下限的绘制点是电极膜厚 H ＝ 0.035λ 的 SAW 谐振器。即，随着将电极膜厚 H 加厚，能够实现二次温度系数 β ＝ 0 的线占用率 η 减小。

[0148] 在此基础上，针对表示线占用率 η 的上限的绘制点和表示线占用率 η 的下限的绘 制点分别求出近似式，能够导出式 (12) 和式 (13)。

[0149] $$\eta = -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775 \quad \cdots \quad (12)$$。

[0150] $$\eta = -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \quad \cdots \quad (13)$$。

[0151] 根据式 (12) 和式 (13)，可以说在图 10 中在虚线包围的范围内，能够在式 (14) 的范围内确定 η。

[0152] $$-2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \leqq \eta \leqq -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775 \quad \cdots \quad (14)$$。

[0153] 在此，在容许二次温度系数 β 为 ±0.01ppm/℃ ^{2} 以内的情况下，确认到：如果同时满足式 (11) 和式 (14)，则二次温度系数 β 处于 ±0.01ppm/℃ ^{2} 以内。

[0154] 并且，根据式 (12) ～ (14)，如果针对电极膜厚 H ≈ 0，0.01λ，0.02λ，0.03λ，0.035λ 的 SAW 谐振器 10，分别用近似直线表示 β ＝ 0 时的槽深 G 与线占有率 η 间的关系，则如图 11 所示。此外，未设有电极膜的石英基板 30 的槽深 G 与线占有率 η 间的关系如图 6 所示。

[0155] 根据表示基于这些电极膜厚 H 的近似直线的近似式，频率温度特性良好的槽深 G 与线占用率 η 间的关系式如式 (15) 所示。

[0156] $$\eta = -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 \quad \cdots \quad (15)$$。

[0157] 关于线占有率 η，电极膜厚越厚，则电气特性（尤其是谐振频率）的制造偏差越大，在电极膜厚 H 为式 (6) 的范围内，线占有率 η 产生 ±0.04 以内的制造偏差，而在 H ＞

0.035λ 的范围内，很可能产生比 ±0.04 更大的制造偏差。但是，只要电极膜厚 H 处于式 (6) 的范围内且线占有率 η 的偏差为 ±0.04 以内，就能实现二次温度系数 β 小的 SAW 装置。即，在考虑到线占有率的制造偏差而将二次温度系数设为 ±0.01ppm/℃ ^{2} 以内的情况下，线占有率 η 可以容许达到在式 (15) 上加上 ±0.04 的公差后的式 (16) 的范围。

[0158] $$\eta = -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 \pm 0.04 \quad \cdots \quad (16)$$

。

[0159] 图 12 ～图 17 示出在将电极膜厚分别设为 0.01λ (1% λ)、0.015λ (1.5% λ)、0.02λ (2% λ)、0.025λ (2.5% λ)、0.03λ (3% λ)、0.035λ (3.5% λ) 的情况下，在改变槽深 G 时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0160] 并且，图 18 ～图 23 示出与图 12 ～图 17 对应的 SAW 谐振器 10 的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的曲线图。另外，石英基板都采用欧拉角 (0°，123°，ψ) 的基板，ψ 适当选择使得 ΔF 为最小的角度。

[0161] 其中，图 12 是表示设电极膜厚 H 为 0.01λ 时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的图，图 18 是表示设电极膜厚 H 为 0.01λ 时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的图。

[0162] 并且，图 13 是表示设电极膜厚 H 为 0.015λ 时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的图，图 19 是表示设电极膜厚 H 为 0.015λ 时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的图。

[0163] 并且，图 14 是表示设电极膜厚 H 为 0.02λ 时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的图，图 20 是表示设电极膜厚 H 为 0.02λ 时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的图。

[0164] 并且，图 15 是表示设电极膜厚 H 为 0.025λ 时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的图，图 21 是表示设电极膜厚 H 为 0.025λ 时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的图。

[0165] 并且，图 16 是表示设电极膜厚 H 为 0.03λ 时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的图，图 22 是表示设电极膜厚 H 为 0.03λ 时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的图。

[0166] 并且，图 17 是表示设电极膜厚 H 为 0.035λ 时的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系的图，图 23 是表示设电极膜厚 H 为 0.035λ 时的线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的图。

[0167] 在这些图 (图 12 ～图 23) 中可以理解为 :无论在哪个曲线图中都存在微小差异，但是其变化的趋势类似于图 5、图 7，该图 5、图 7 是表示仅石英基板 30 中的线占用率 η 与二次温度系数 β 间的关系、以及线占用率 η 与频率变动量 ΔF 间的关系的曲线图。

[0168] 即，可以说在除了电极膜之外的石英基板 30 单体的表面声波传播中，也能发挥本实施方式的效果。

[0169] 图 25 对图 24 所示的曲线图中的根据 η1 而得到的 ψ 与槽深 G 间的关系进行了汇 总。并且，选择 η1 的原因如上所述。由图 25 可知，即使在电极膜的膜厚发生变化的情况下，ψ 的角度也基本没有差异，ψ 的最佳角度随着槽深 G 的变动而发生变化。这也可以证明二次温度系数 β 的变化主要是由石英基板 30 的形态引起的。

[0170] 与上述相同，针对使得二次温度系数 β = -0.01ppm/℃ ^{2} 的 ψ 和使得 β = +0.01ppm/℃ ^{2} 的 ψ，求出它们与槽深 G 之间的关系，并归纳为图 26 和图 27。当根据这些曲线图（图 25 ～图 27）来求取能够使 -0.01 ≤ β ≤ +0.01 成立的 ψ 的角度时，可以将上述条件下恰当的 ψ 的角度范围设定为 43° < ψ < 45°，可以进一步优选设定为 43.2° ≤ ψ ≤ 44.2。

[0171] 接着，图 28 示出了 θ 的角度变动时的二次温度系数 β 的变化，即 θ 与二次温度系数 β 间的关系。这里，仿真中使用的 SAW 装置是用欧拉角 (0，θ，ψ) 表示切角和 SAW 传播方向且槽深 G 为 0.04λ 的石英基板，电极膜厚 H 为 0.02λ。此外，关于 ψ，根据 θ 的设定角度而在上述角度范围内适当选择了使二次温度系数 β 的绝对值最小的值。另外，关于 η，根据上式 (15)，设为 0.6383。

[0172] 在这种条件下，根据示出了 θ 与二次温度系数 β 间的关系的图 28 可知，只要 θ 处于 117° 以上 142° 以下的范围内，就能使二次温度系数 β 的绝对值处于 0.01ppm/℃ ^{2} 的范围内。因此，在上述设定值中，只要在 117° ≤ θ ≤ 142° 范围内设定 θ，就能构成具有良好频率温度特性的 SAW 谐振器 10。。

[0173] 图 29 是示出在采用了欧拉角为（φ，123°，43.77°）的石英基板 30 且设槽深 G 为 0.04λ、电极膜厚 H 为 0.02λ、线占有率 η 为 0.65 的情况下，φ的角度与二次温度系数 β 间的关系的曲线图。

[0174] 由图 29 可知，在 Φ 为 -2°、+2° 的情况下，二次温度系数 β 分别低于 -0.01，但当 Φ 处于 -1.5° ～ +1.5° 的范围内时，二次温度系数 β 的绝对值可靠地位于 0.01 的范围内。由此，在上述设定值中，只要在 -1.5° ≤ Φ ≤ +1.5°、优选为 -1° ≤ Φ ≤ +1° 的范围内设定 Φ，就能构成具有良好频率温度特性的 SAW 谐振器 10。

[0175] 在上述说明中，针对 Φ、θ、ψ，分别在一定条件下，导出了在与槽深 G 间的关系中最佳值的范围。与此相对，图 30 示出了使得 -40℃～ +85℃中的频率变动量最小的非常理想的 θ 与 ψ 之间的关系，且求出了其近似式。根据图 30，ψ 的角度随着 θ 的角度上升而变化，且如三次曲线所描绘的那样上升。此外，在图 30 的例子中，θ = 117° 时的 ψ 为 42.79°，θ = 142° 时的 ψ 为 49.57°。当将这些绘制点表示为近似 曲线时，构成图 30 中虚线表示的曲线，近似式可用式 (17) 表示。

[0176] $\psi = 1.19024\times10^{-3}\times\theta^3-4.48775\times10^{-1}\times\theta^2+5.64362\times10^{1}\times\theta-232327\times10^{3}\pm1.0$ • • • (17)。

[0177] 由此，可通过设定 θ 来确定 ψ，在 θ 的范围为 117° ≤ θ ≤142° 的情况下，ψ 的范围可以为 42.79° ≤ ψ ≤ 49.57°。此外，仿真中的槽深 G、电极膜厚 H 分别为 G = 0.04λ、H = 0.02λ。

[0178] 基于上述原因，在本实施方式中，只要根据各种设定的条件来构成 SAW 谐振器 10，就能构成满足目标值的可实现良好频率温度特性的 SAW 谐振器。

[0179] 另外，在本实施方式的 SAW 谐振器 10 中，如式 (6) 及图 12 ～图 23 所示，将电极膜的膜厚 H 设为 0 < H ≤ 0.035λ 的范围内，实现了频率温度特性的改善。这与以往那样通过过度加厚膜厚 H 来实现频率温度特性的改善的方法不同，本实施方式是在保持耐环境特性的状态下实现了频率温度特性的改善。图 37 示出了热循环试验中的电极膜厚 (Al 电极膜厚）与频率变动之间的关系。另外，图 37 所示的热循环试验的结果是连续进行了 8 次如

下这样的循环而得到的：将 SAW 谐振器置于 -55℃的环境中 30 分钟，然后使环境温度上升到 +125℃并置于该环境中 30 分钟。根据图 37 可知，与电极膜厚 H 为 0.06λ 且未设有电极指间槽的情况相比，在本实施方式的 SAW 谐振器 10 的电极膜厚 H 的范围内，频率变动（F 变动）为其 1/3 以下。此外，在图 37 中，对于任意绘制点而言，H+G ＝ 0.06λ 均成立。

[0180] 另外，针对在与图 37 相同的条件下制造出的 SAW 谐振器，进行了将其放置在 125℃的环境中 1000 小时的高温放置试验，结果，与现有的 SAW 谐振器（H ＝ 0.06λ 且 G ＝ 0）相比，确认到：本实施方式的 SAW 谐振器在（H ＝ 0.03λ 且 G ＝ 0.03λ、H ＝ 0.02λ 且 G ＝ 0.04λ、H ＝ 0.015λ 且 G ＝ 0.045λ、H ＝ 0.01λ 且 G ＝ 0.05λ 这 4 个条件）试验前后的频率变动量为其 1/3 以下。

[0181] 在上述条件下，根据如下条件制造出的 SAW 谐振器 10 表现出图 31 所示的频率温度特性，所述条件是：H+G ＝ 0.067λ（铝膜厚 2000Å、槽深 4700Å），IDT 的线占有率 ηi ＝ 0.6，反射器的线占有率 ηr ＝ 0.8，欧拉角为（0°，123°，43.5°），IDT 的对数为 120 对，相交宽度为 40λ（λ ＝ 10μm），反射器个数（每一侧）为 72 个（36 对），电极指不具有倾角（电极指的排列方向与 SAW 的相位速度方向一致）。

[0182] 图 31 描绘出试验片个数 n ＝ 4 的频率温度特性。根据图 31 可知，这些试验片的工作温度范围内的频率变动量 ΔF 被抑制为大致 20ppm 以下。

[0183] 在本实施方式中，说明了槽深 G 及电极膜厚 H 等对频率温度特性的影响。而槽深 G 与电极膜厚 H 的合计深度（阶差）还会影响等效电路常数和 CI 值等静态特性以及 Q 值。例如，图 32 是表示阶差从 0.062λ 变化到 0.071λ 的情况下的阶差与 CI 值之间的关系的曲线图。由图 32 可知，CI 值在阶差为 0.067λ 时收敛，而在阶差增大到该值以上的情况下，CI 值也未得到优化（未变低）。

[0184] 图 33 归纳了表现出图 31 所示的频率温度特性的 SAW 谐振器 10 中的频率、等效电路常数以及静态特性。这里，F 表示频率，Q 表示 Q 值，γ 表示电容比，CI 表示 CI（晶体阻抗：Crystal Impedance）值，M 表示性能指数（优良指数：Figure of Merit）。

[0185] 另外，图 35 示出用于对现有的 SAW 谐振器与本实施方式的 SAW 谐振器 10 的阶差和 Q 值之间的关系进行比较的曲线图。其中，在图 35 中，粗线所示的曲线表示本实施方式的 SAW 谐振器 10 的特性，其在电极指之间设有槽，且采用了阻带上端模式的谐振。细线所示的曲线表示现有的 SAW 谐振器的特性，其在电极指之间未设置槽，且采用了阻带下端模式的谐振。根据图 35 可清楚地看出，当在电极指之间设有槽且采用了阻带上端模式的谐振时，与在电极指之间未设置槽且采用了阻带下端模式的谐振的情况相比，在阶差（G+H）为 0.0407λ（4.07％ λ）以上的区域内，得到了更高的 Q 值。

[0186] 另外，仿真中的 SAW 谐振器的基本数据如下所述。

[0187] • 本实施方式的 SAW 谐振器 10 的基本数据

[0188] H：0.02λ

[0189] G：变化

[0190] IDT 线占用率 ηi：0.6

[0191] 反射器线占用率 ηr：0.8

[0192] 欧拉角（0°，123°，43.5°）

[0193] 对数 N：120

[0194] 相交宽度 W :40λ(λ = 10μm)

[0195] 反射器个数(每一侧):60

[0196] 电极指不具有倾角

[0197] • 以往的 SAW 谐振器的基本数据

[0198] H :变化

[0199] G :零

[0200] IDT 线占用率 ηi :0.4

[0201] 反射器线占用率 ηr :0.3

[0202] 欧拉角(0°,123°,43.5°)

[0203] 对数 N :120

[0204] 相交宽度 W :40λ(λ = 10μm)

[0205] 反射器个数(每一侧):60

[0206] 电极指不具有倾角

[0207] 为了对这些 SAW 谐振器特性进行比较而参照图 33 及图 35 时,能够理解本实施方式的 SAW 谐振器 10 如何实现了高 Q 化。可认为这种高 Q 化基于能量封闭效果的提高,原因如下。

[0208] 为了对在阻带上端模式下激励出的表面声波进行高效的能量封闭,如图 36 所示,只要将 IDT 12 的阻带上端频率 ft2 设定在反射器 20 的阻带下端频率 fr1 与反射器 20 的阻带上端频率 fr2 之间即可。即,只要设定为满足下式的关系即可 :

[0209] $fr1 < ft2 < fr2 \quad \cdots (18)$ 。

[0210] 由此,在 IDT 12 的阻带上端频率 ft2 处,反射器 20 的反射系数 Γ 变大,由 IDT 12 激励出的阻带上端模式的 SAW 被反射器 20 以高反射系数向 IDT 12 侧反射。并且,阻带上端模式的 SAW 的能量封闭变强,能够实现低损耗的谐振器。

[0211] 与此相对,当将 IDT 12 的阻带上端频率 ft2 与反射器 20 的阻带下端频率 fr1、反射器 20 的阻带上端频率 fr2 之间的关系设定为 ft2 < fr1 的状态、fr2 < ft2 的状态时,在 IDT 12 的阻带上端频率 ft2 处,反射器 20 的反射系数 Γ 变小,难以实现较强的能量封闭状态。

[0212] 这里,为了实现式 (18) 的状态,需要使反射器 20 的阻带相对于 IDT 12 的阻带向高域侧进行频移。具体地说,可通过使反射器 20 的导体带 22 的排列周期小于 IDT12 的电极指 18 的排列周期来实现。并且,作为其它的方法,能够通过使作为反射器 20 的导体带 22 而形成的电极膜的膜厚比作为 IDT 12 的电极指 18 而形成的电极膜的膜厚薄来实现,或者通过使反射器 20 的导体带间槽的深度比 IDT 12 的电极指间槽的 深度浅来实现。并且,也可以将这些方法中的多种方法进行组合使用。

[0213] 另外,根据图 33,除了能够得到高 Q 化之外,还能够得到很高的优良指数 M。另外,图 34 是示出得到图 33 的特性后的 SAW 谐振器的阻抗 Z 与频率之间的关系的曲线图。由图 34 可知,在谐振点附近不存在无用的寄生。

[0214] 上述实施方式中示出了构成 SAW 谐振器 10 的 IDT 12 的所有电极指均交替地交叉的情况。不过,本实用新型的 SAW 谐振器 10 即使仅利用其石英基板也能够实现相应的效果。因此,即使间断地设置 IDT 12 的电极指 18,也能够起到同样的效果。

[0215] 另外，对于槽 32，也可以在电极指 18 之间及反射器 20 的导体带 22 之间局部地进行设置。尤其，由于振动位移大的 IDT 12 的中央部会对频率温度特性带来决定性的影响，因此可以采用仅在该部分设置槽 32 的结构。即使是这种结构，也能够形成频率温度特性良好的 SAW 谐振器 10。

[0216] 在上述实施方式中，求出对电极膜厚 H、槽深 G、线占用率 η 以及欧拉角进行各种变化时的频率温度特性的变化，并进行了能够得到良好特性的范围的限定。针对这些各种仿真情况，本申请发明者通过实验发现：即使是在电极膜厚 H、槽深 G、线占用率 η 以及欧拉角处于良好的范围的情况下，也存在如图 38 所示那样谐振特性产生破坏的情况。

[0217] 在以瑞利波中的阻带的上端模式为主振动的情况下，作为产生这种特性破坏的原因，可以列举阻带的下端模式的振动的至少一部分与所述上端模式重叠的情况。并且，本申请发明者发现 IDT 中的电极指的对数 N 可作为用于抑制这种下端模式重叠的一种结构。表 1 表示阶段性地改变对数 N 时的有无下端模式重叠的情况。

[0218] 【表 1】

[0219]

对数 N	144	160	168	170	180	186	196	200	220	270
下端模式的重叠	有	无	无	无	无	无	无	无	无	有

[0220] 根据表 1 可知，只要在式 (19) 的范围内，就不会产生下端模式的重叠。另外，在没有下端模式与上端模式的重叠的情况下，谐振特性不会产生破坏，能够得到如图 39 所示的曲线图。由此，通过观察表示谐振特性相位的曲线图，能够判定有无下端模式的重叠。具体地讲，如图 39 所示，在通过 1port 测定 (SAW 谐振器的阻抗测定) 确认相位的反射特性的情况下，可以说在相位为 0° 的 2 点的频率之间具有拐点时，下端模式的一部分与上端模式产生了重叠。

[0221] 图 40、图 41、图 42 示出表示表 1 中的 IDT 对数 N 为 144、220、270 时的谐振 特性相位的曲线图。图 40、图 42 表示在相位为 0° 的 2 点的频率之间具有拐点，下端模式的一部分与上端模式重叠。另一方面，图 41 表示在相位为 0° 的 2 点的频率之间没有拐点，下端模式的一部分未与上端模式重叠。

[0222] $160 \leqslant N \leqslant 220$ ・・・(19)。

[0223] 得到表 1 所示的数据时的 SAW 谐振器 10 的基本数据如下所述。另外，电极膜的构成材料为 Al。

[0224] H：0.02λ

[0225] G：0.045λ

[0226] IDT 线占用率 ηi：0.64

[0227] 反射器线占用率 ηr：0.73

[0228] 欧拉角 (0°，123°，44°)

[0229] 对数 N：变化

[0230] 相交宽度 W：40λ (λ ＝ 10μm)

[0231] 反射器个数 (每一侧)：178

[0232] 电极指不具有倾角

[0233] 并且，在上述实验中确认到：即使是在改变相交宽度等基本数据的情况下，在将对

数 N 设为式 (19) 的范围时，也能够抑制下端模式的重叠。表 2 示出将对数 N 设为式 (19) 的范围、在改变相交宽度、欧拉角、IDT 线占用率的情况下有无下端模式的重叠。在该实验中确认到，即使是在相交宽度 30λ、欧拉角 (0°，123°，44.5°)、IDT 线占用率变化为 0.62、0.63、0.65、0.66 时，下端模式的一部分也不会与上端模式重叠。

[0234] 【表 2】

[0235]

对数 N	220	220	220	220	220	220	220	220
相交宽度 [λ]	40	30	40	40	40	40	40	40
欧拉角 [°]	0,123,44	0,123,44	0,123,44.5	0,123,44	0,123,44	0,123,44	0,123,44	0,123,44
IDT 线占用率	0.64	0.64	0.64	0.62	0.63	0.65	0.64	0.64
下端模式的重叠	无	无	无	无	无	无	无	无

[0236] 这样，通过将 IDT 中的电极指的对数 N 设在式 (19) 的范围内，能够得到良好的谐振特性。并且，如果使用这种结构的 SAW 谐振器来构成振荡电路，则能够得到良好的振荡特

性。

[0237] 并且，在上述实施方式中，记述了电极膜采用 Al 或者以 Al 为主体的合金的情况。但是，只要是能够发挥与上述实施方式相同的效果的金属，则也可以使用其它的金属材料构成电极膜。

[0238] 在上述实施方式中单纯地说明了 SAW 谐振器，但本实用新型的 SAW 谐振器也能够应用于 SAW 滤波器。并且，上述实施方式是仅设有一个 IDT 的单端子对 SAW 谐振器，但本实用新型也可应用于设有多个 IDT 的双端子对 SAW 谐振器，而且还可以应用于纵向耦合式或横向耦合式的双模式 SAW 滤波器及多模式 SAW 滤波器。

[0239] 下面，参照图 43(A)、图 43(B) 对本实用新型的 SAW 振荡器进行说明。如图 43(A)、图 43(B) 所示，本实用新型的 SAW 振荡器由上述 SAW 谐振器 10、对该 SAW 谐振器 10 的 IDT 12 施加电压并进行驱动控制的 IC(integrated circuit :集成电路)50、和收容 SAW 谐振器 10 和 IC 50 的封装构成。另外，图 43(A) 是卸下盖后的平面图，图 43(B) 是表示图 43(A) 中的 A-A 剖面的图。

[0240] 在实施方式的 SAW 振荡器 100 中，将 SAW 谐振器 10 和 IC 50 收容在同一封装 56 中，利用金属线 60 将形成在封装 56 的底板 56a 上的电极图案 54a ～ 54g、SAW 谐振器 10 的梳齿状电极 14a、14b 以及 IC 50 的焊盘 52a ～ 52f 连接。并且，利用盖 58 将收容了 SAW 谐振器 10 和 IC 50 的封装 56 的腔室进行气密密封。通过采用这种结构，能够将 IDT 12(参照图 1(A)、图 1(B)、图 1(C)) 和 IC 50、以及形成在封装 56 的底面上的未图示的外部安装电极电连接。

[0241] 并且，本实用新型的 SAW 谐振器能够用作便携电话、硬盘、服务器计算机、以及有线 / 无线基站中的时钟源，本实用新型的电子设备是指在这些便携电话和硬盘等中安装了上述 SAW 谐振器的设备。

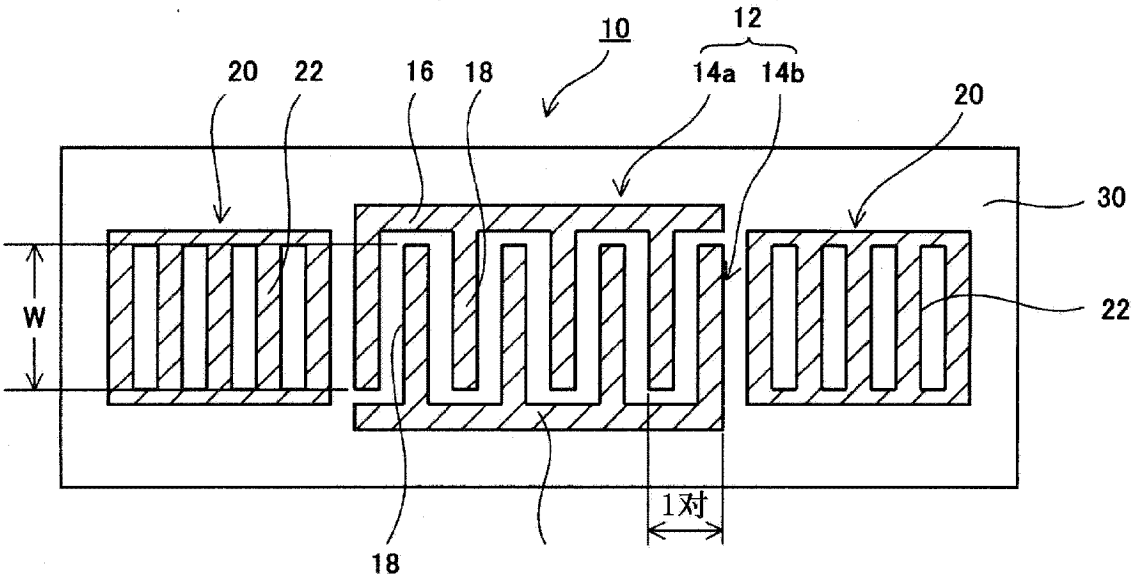

10
12
20
22
16
18
14a
14b
20
30
W
22
1对
18

图 1(A)

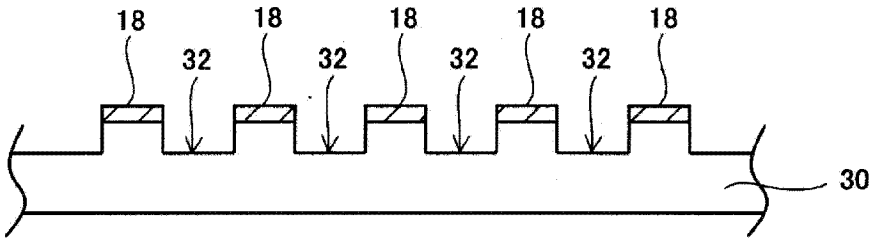

18
18
18
18
18
32
32
32
32
30

图 1(B)

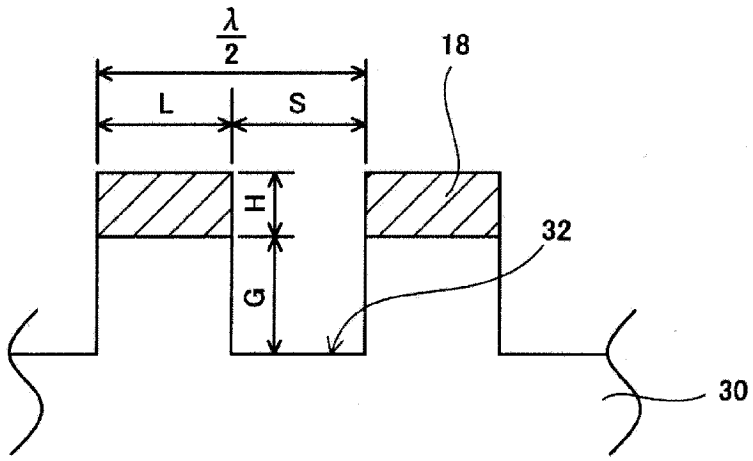

λ/2
18
L
S
H
32
G
30

图 1(C)

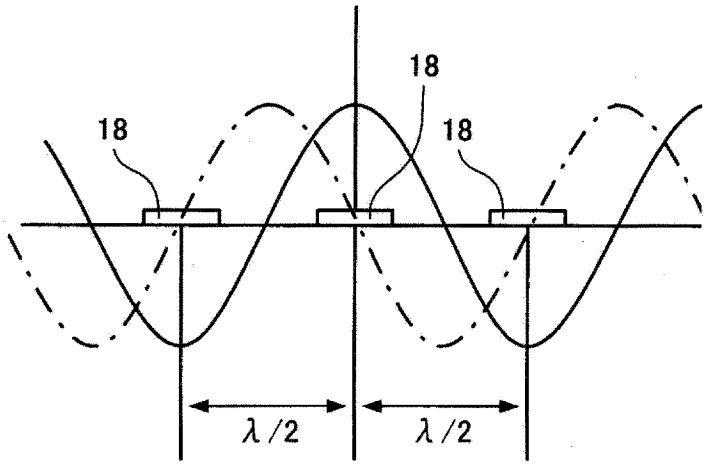

18
18
18
λ/2
λ/2

图 2

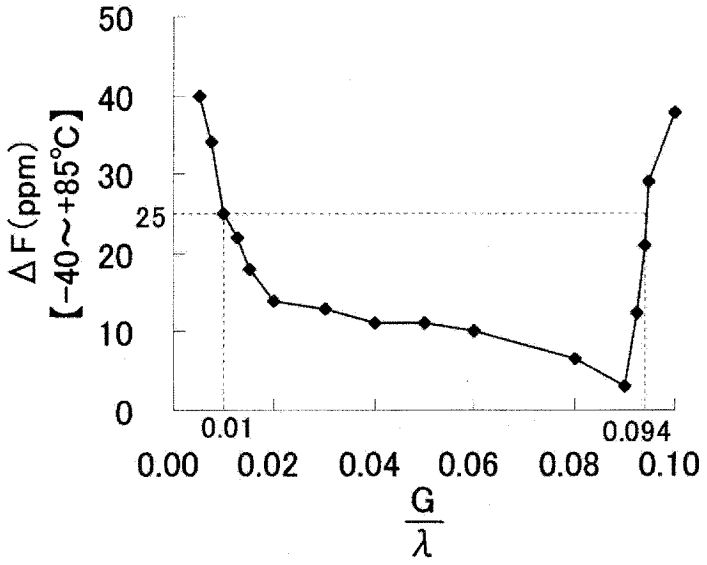

50
40
30
25
20
10
0
ΔF(ppm)
【-40～+85℃】
0.01
0.094
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
G
λ

图 3

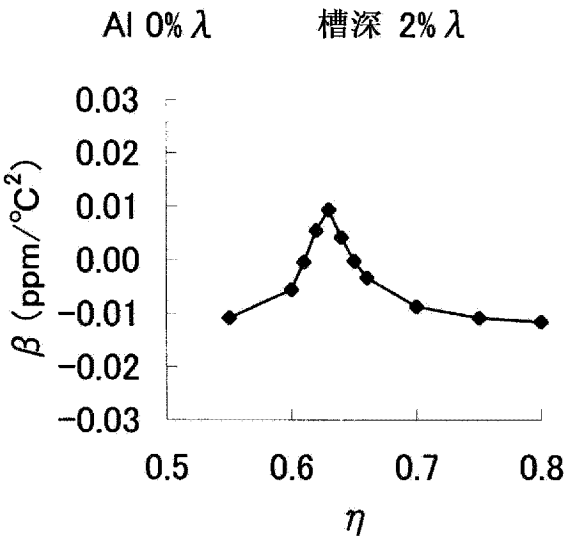

Al 0% λ
槽深 2% λ
0.03
0.02
0.01
0.00
−0.01
−0.02
−0.03
β (ppm/°C²)
0.5
0.6
0.7
0.8
η

图 4(A)

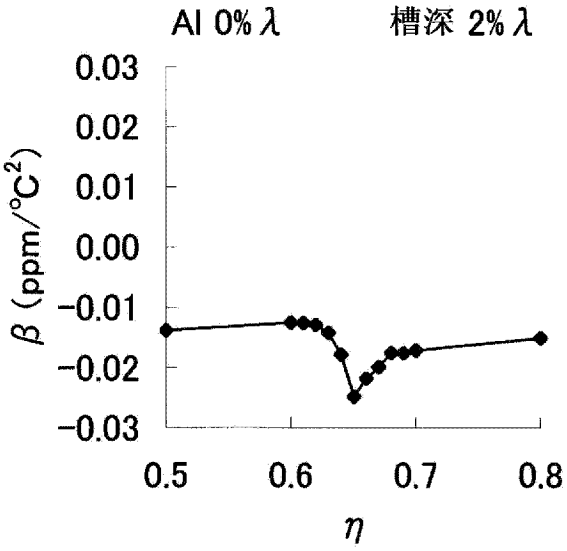

Al 0% λ
槽深 2% λ
0.03
0.02
0.01
0.00
−0.01
−0.02
−0.03
β (ppm/°C²)
0.5
0.6
0.7
0.8
η

图 4(B)

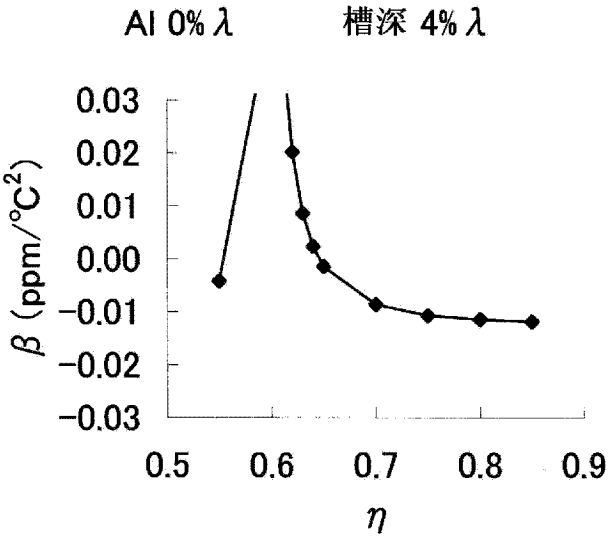

Al 0% λ
槽深 4% λ
0.03
0.02
0.01
0.00
−0.01
−0.02
−0.03
β (ppm/°C²)
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
η

图 4(C)

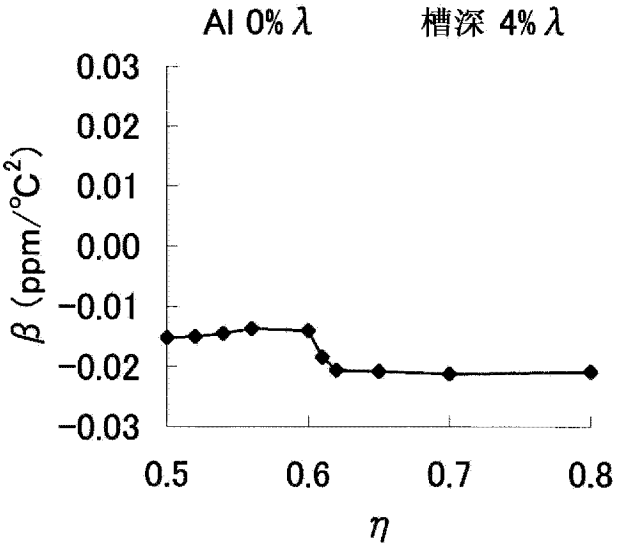


图 4(D)

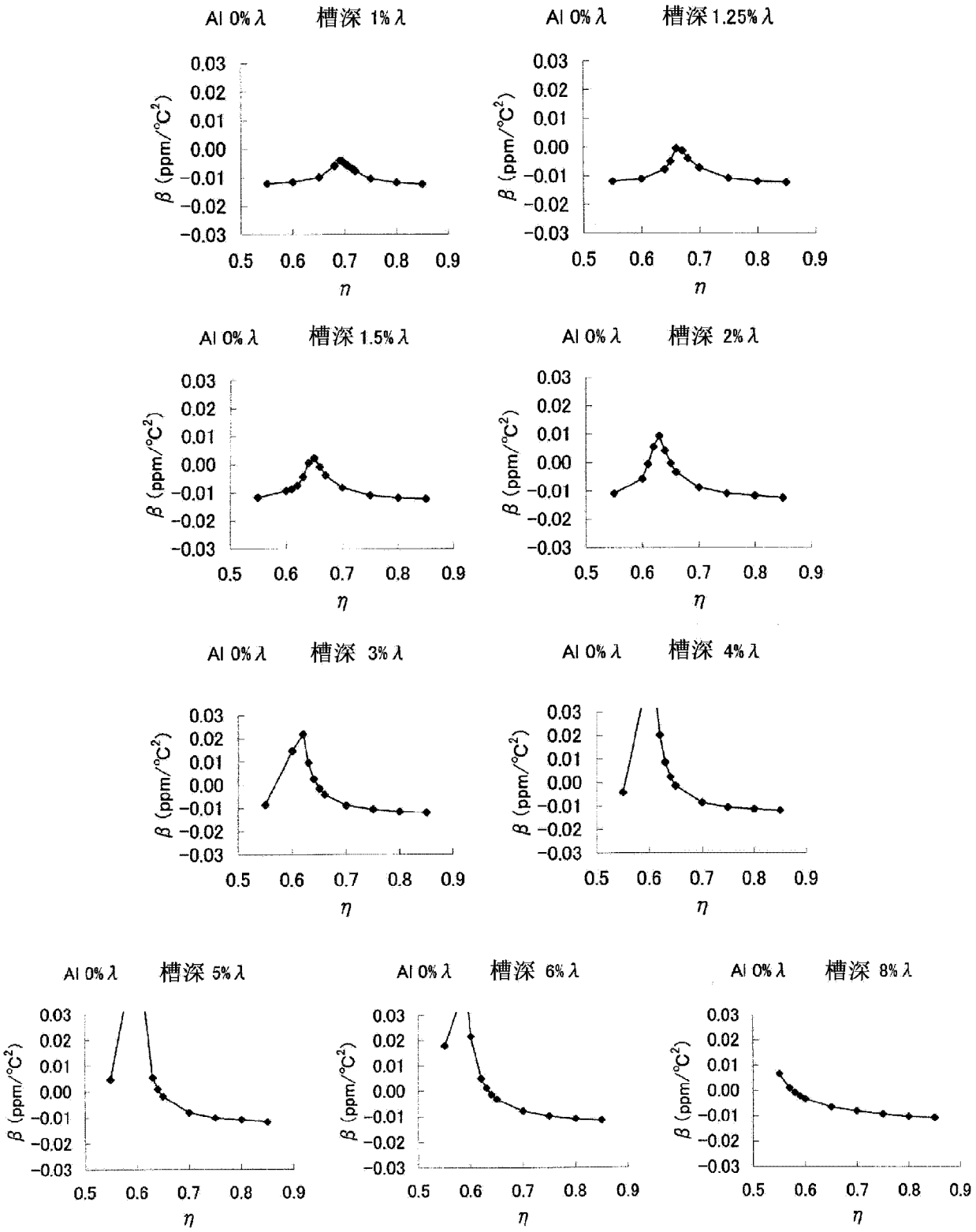

Al 0% λ 槽深 1% λ
Al 0% λ 槽深 1.25% λ
Al 0% λ 槽深 1.5% λ
Al 0% λ 槽深 2% λ
Al 0% λ 槽深 3% λ
Al 0% λ 槽深 4% λ
Al 0% λ 槽深 5% λ
Al 0% λ 槽深 6% λ
Al 0% λ 槽深 8% λ
β (ppm/°C²)
η
0.03
0.02
0.01
0.00
-0.01
-0.02
-0.03
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 5

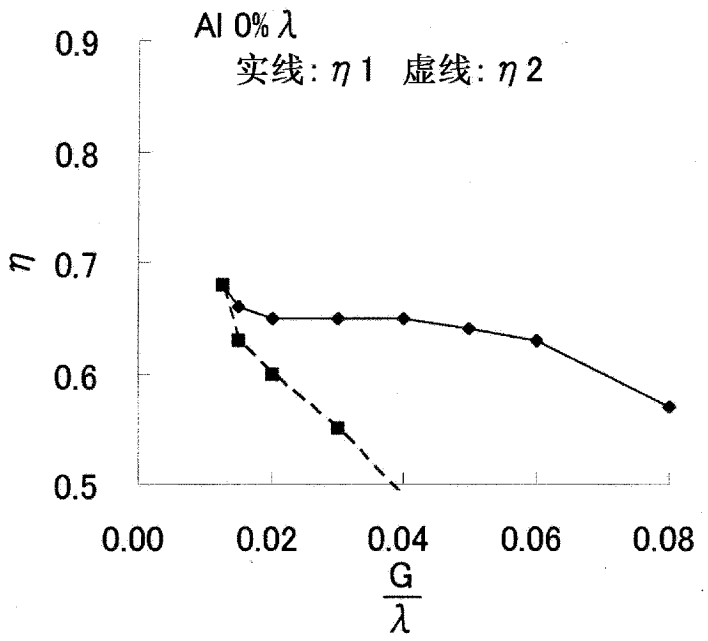


图 6

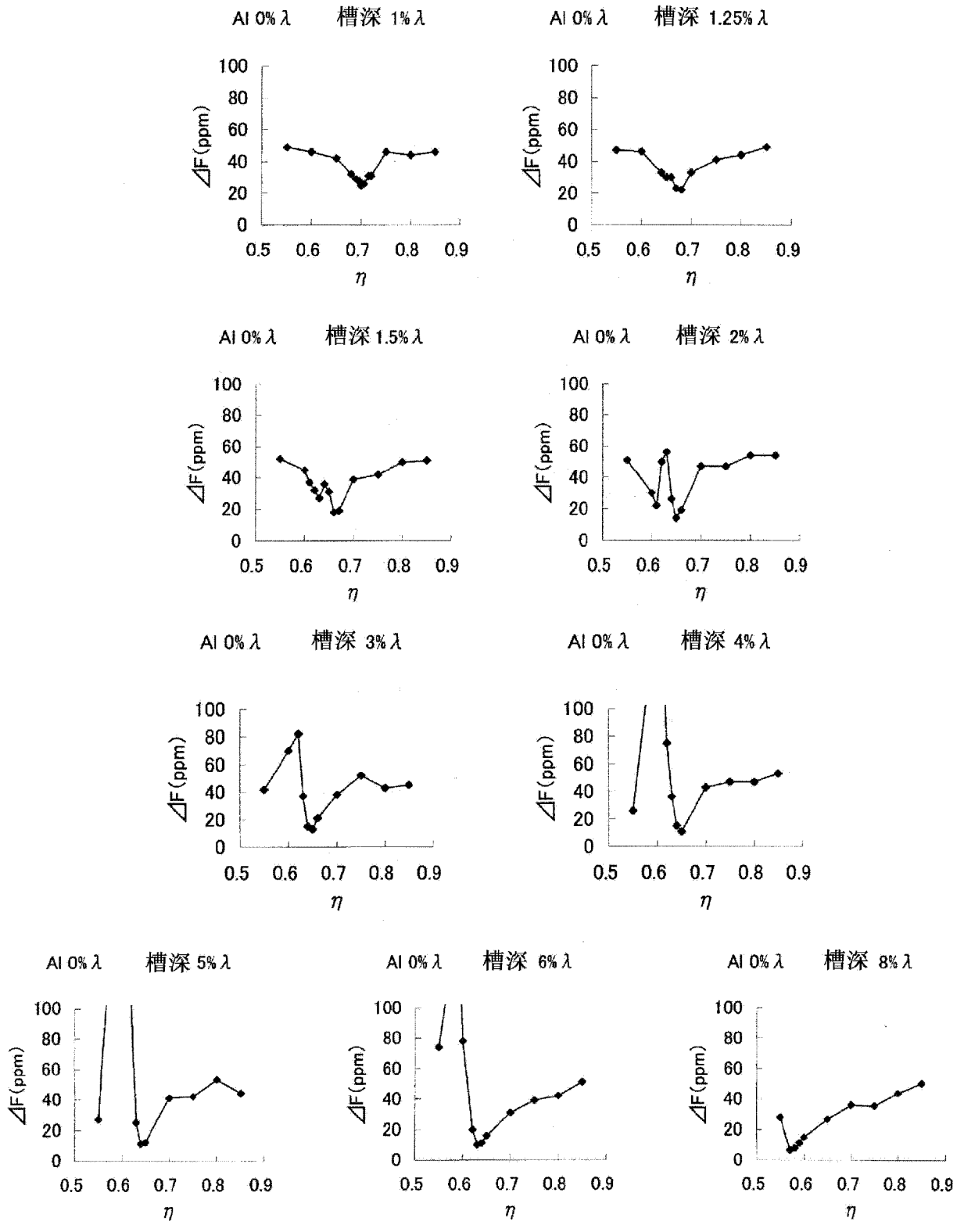

Al 0% λ 槽深 1% λ
Al 0% λ 槽深 1.25% λ
Al 0% λ 槽深 1.5% λ
Al 0% λ 槽深 2% λ
Al 0% λ 槽深 3% λ
Al 0% λ 槽深 4% λ
Al 0% λ 槽深 5% λ
Al 0% λ 槽深 6% λ
Al 0% λ 槽深 8% λ
ΔF(ppm)
η
100
80
60
40
20
0
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 7

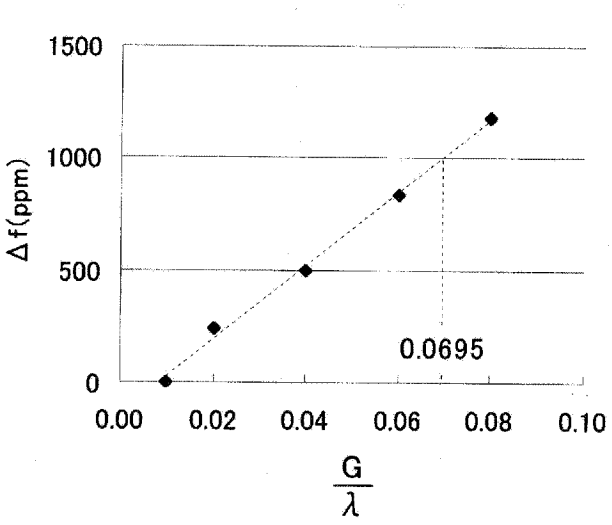


图 8

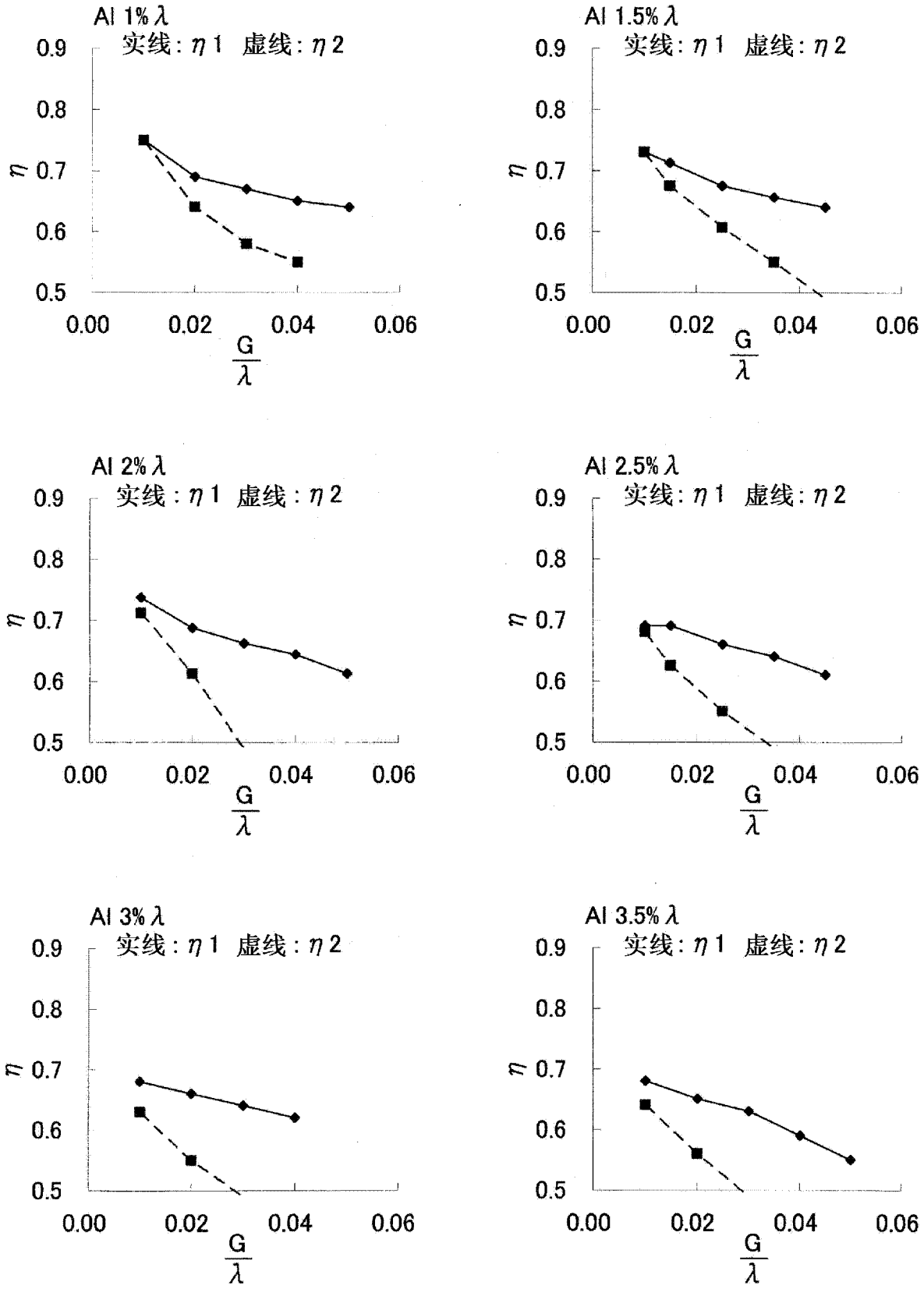

Al 1% λ
实线：η1 虚线：η2
Al 1.5% λ
实线：η1 虚线：η2
Al 2% λ
实线：η1 虚线：η2
Al 2.5% λ
实线：η1 虚线：η2
Al 3% λ
实线：η1 虚线：η2
Al 3.5% λ
实线：η1 虚线：η2
η
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.00
0.02
0.04
0.06
G/λ

图 9

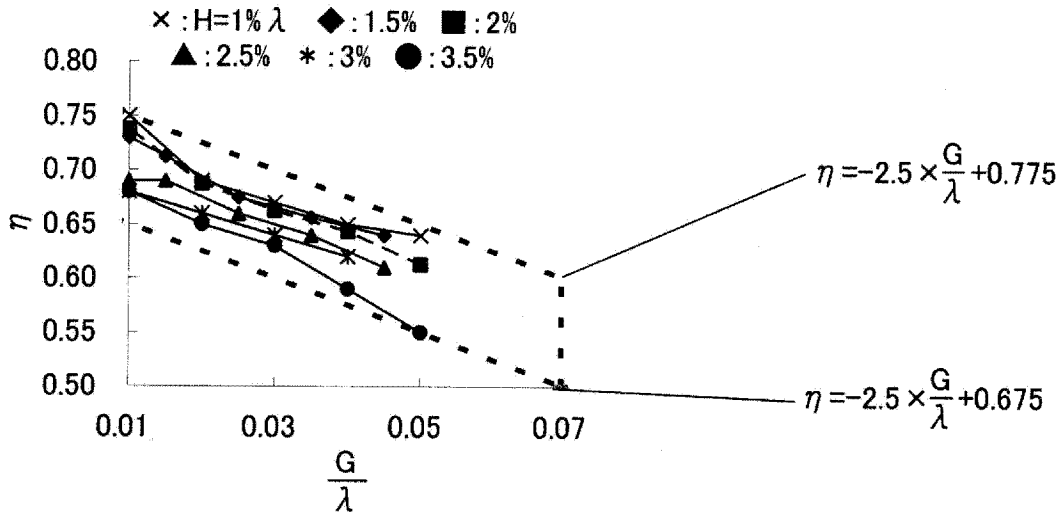

×:H=1%λ ◆:1.5% ■:2%
▲:2.5% ＊:3% ●:3.5%
0.80
0.75
0.70
η 0.65
0.60
0.55
0.50
0.01
0.03
0.05
0.07
G/λ
η=-2.5×G/λ+0.775
η=-2.5×G/λ+0.675

图 10

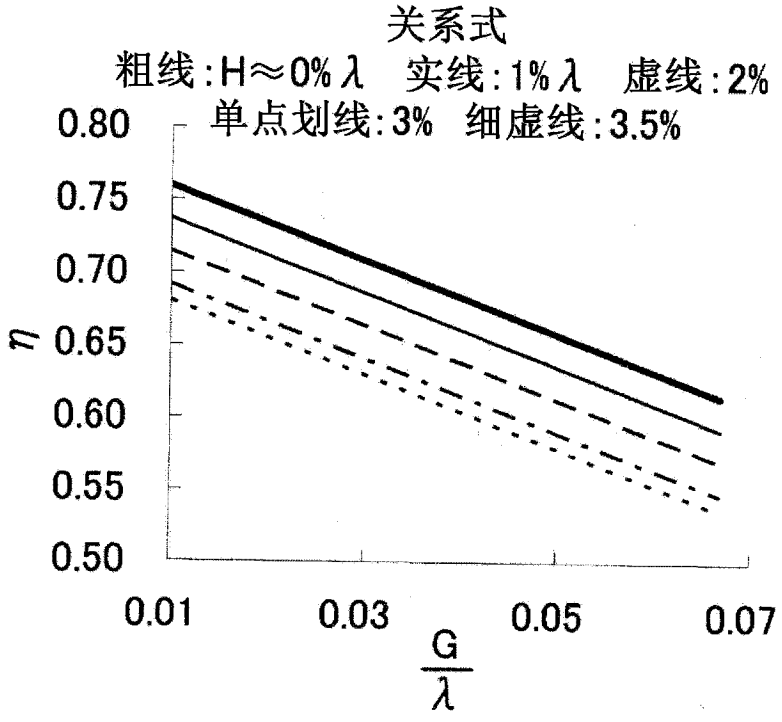

关系式
粗线:H≈0%λ 实线:1%λ 虚线:2%
单点划线:3% 细虚线:3.5%
0.80
0.75
0.70
η 0.65
0.60
0.55
0.50
0.01
0.03
0.05
0.07
G/λ

图 11

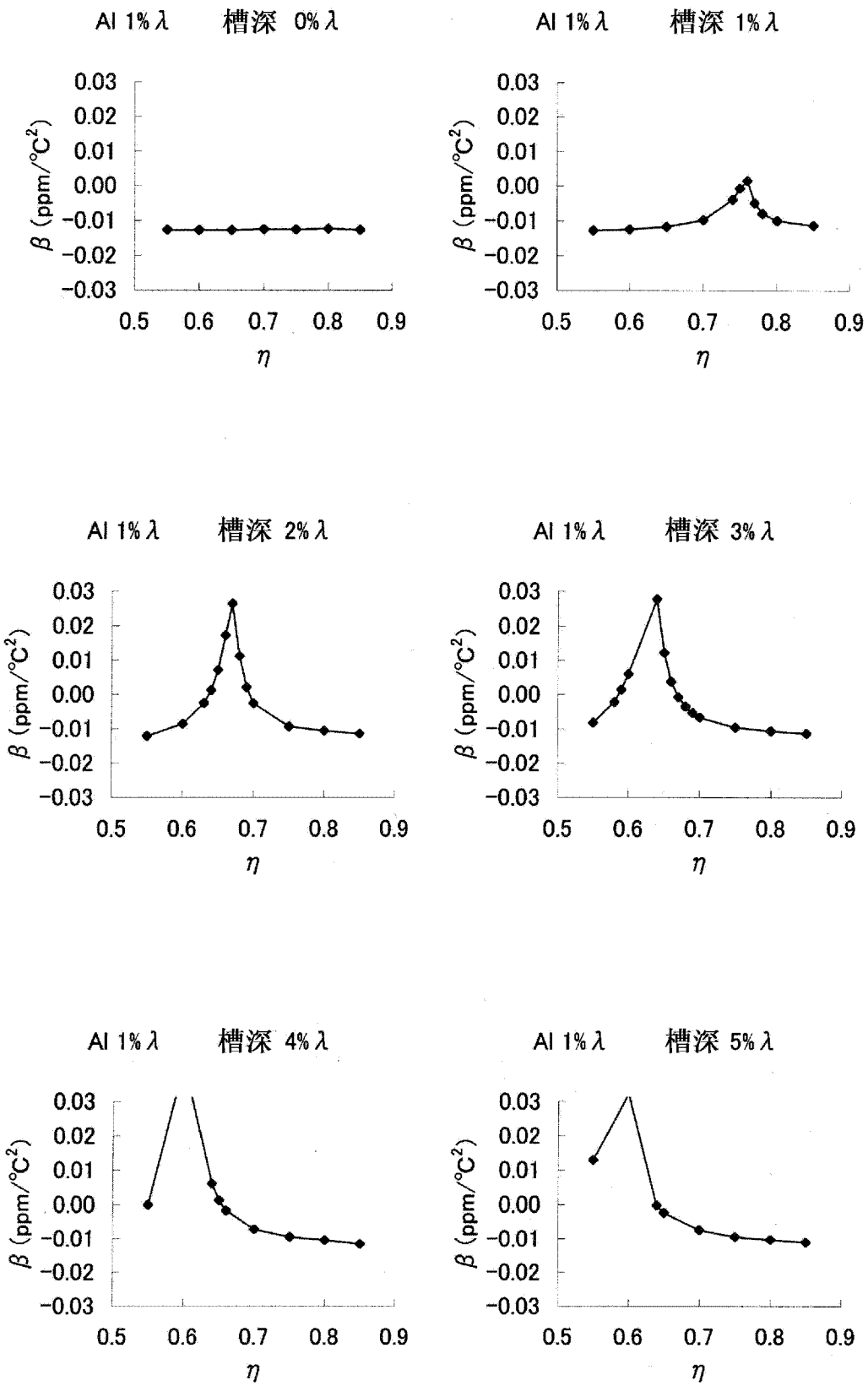

Al 1%λ 槽深 0%λ
Al 1%λ 槽深 1%λ
Al 1%λ 槽深 2%λ
Al 1%λ 槽深 3%λ
Al 1%λ 槽深 4%λ
Al 1%λ 槽深 5%λ
β (ppm/°C²)
η
0.03
0.02
0.01
0.00
-0.01
-0.02
-0.03
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 12

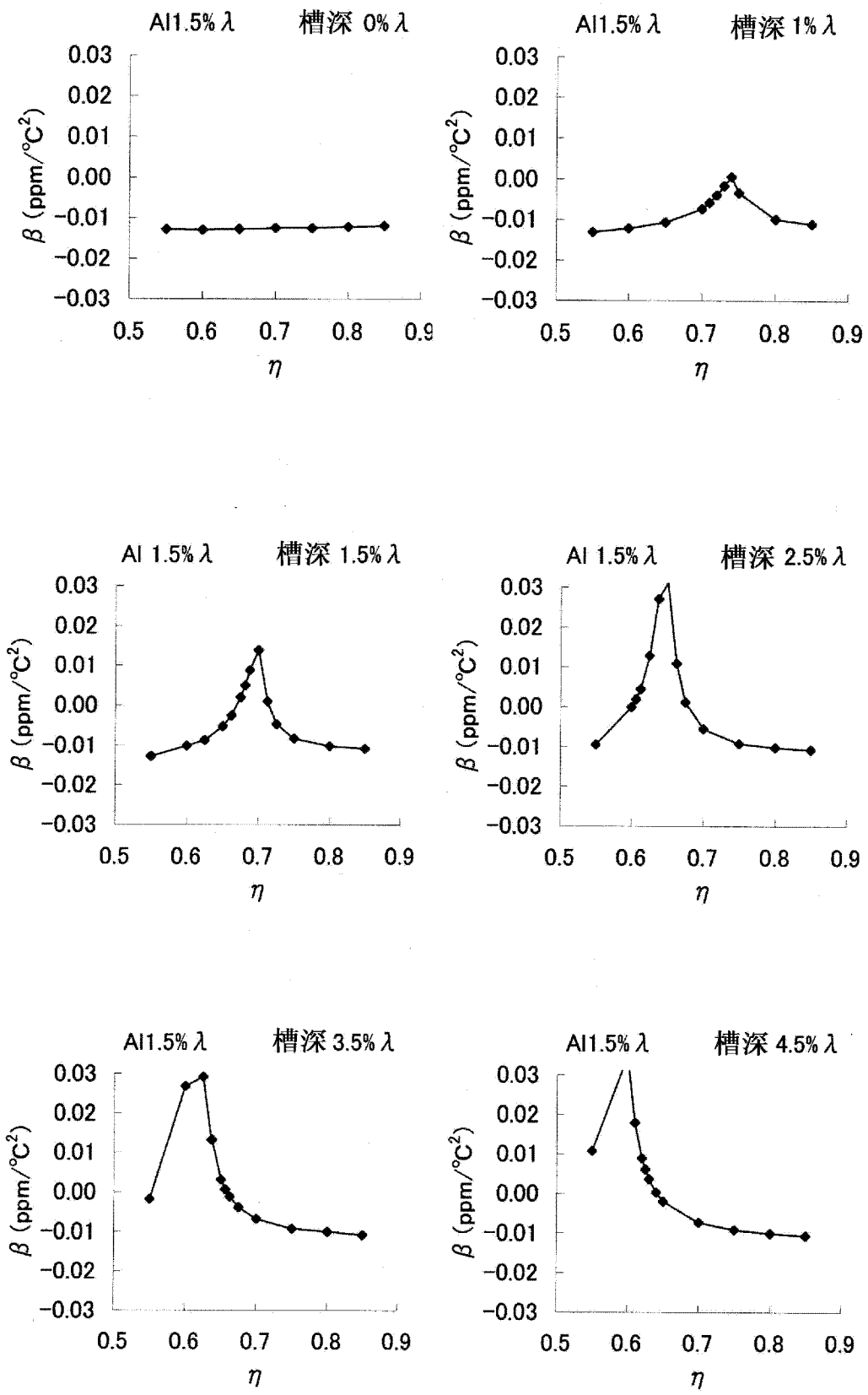

Al1.5% λ 槽深 0% λ
Al1.5% λ 槽深 1% λ
Al 1.5% λ 槽深 1.5% λ
Al 1.5% λ 槽深 2.5% λ
Al1.5% λ 槽深 3.5% λ
Al1.5% λ 槽深 4.5% λ
β (ppm/°C²)
η
0.03
0.02
0.01
0.00
-0.01
-0.02
-0.03
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 13

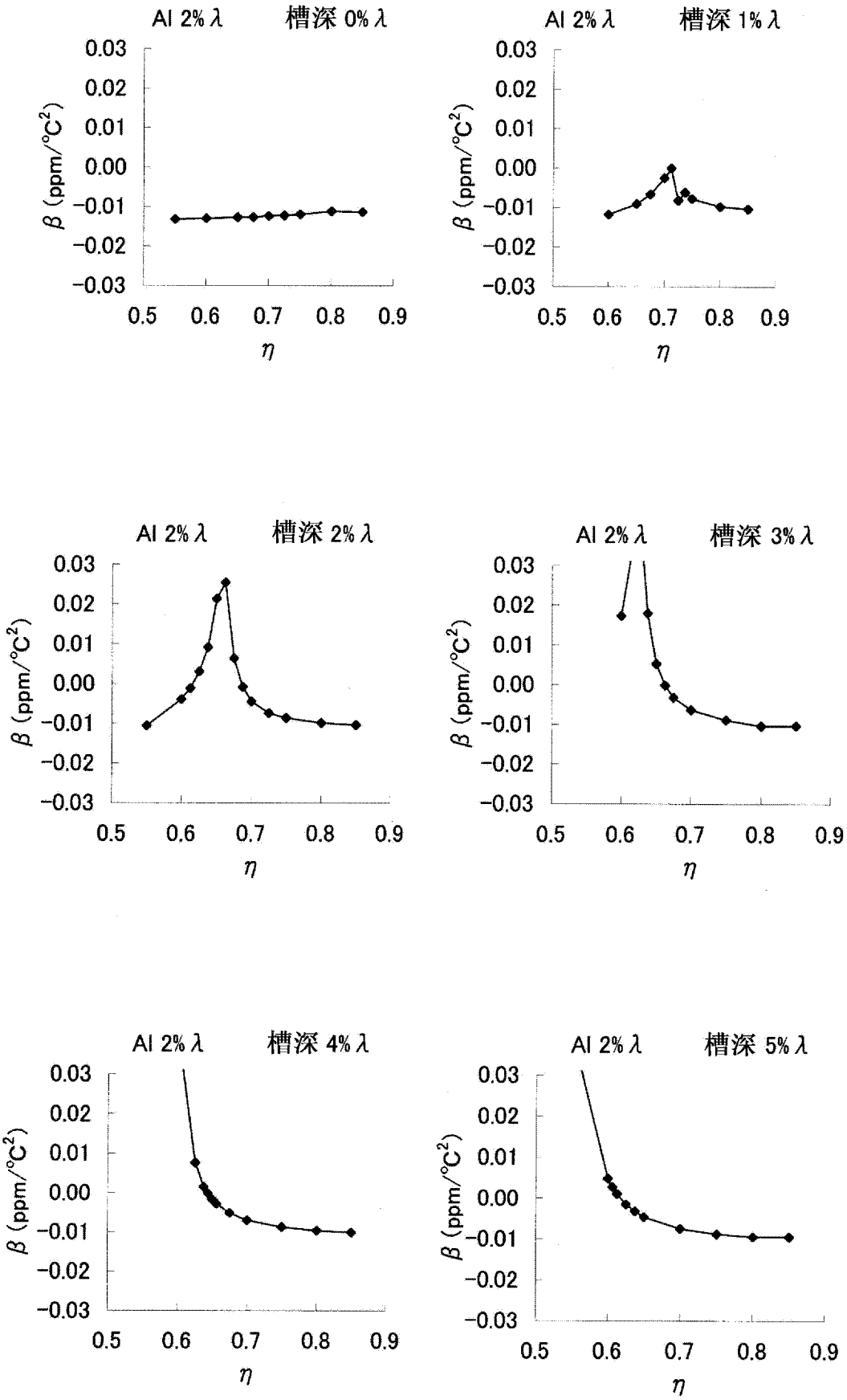

Al 2% λ 槽深 0% λ
Al 2% λ 槽深 1% λ
Al 2% λ 槽深 2% λ
Al 2% λ 槽深 3% λ
Al 2% λ 槽深 4% λ
Al 2% λ 槽深 5% λ
β (ppm/°C²)
η
0.03
0.02
0.01
0.00
−0.01
−0.02
−0.03
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 14

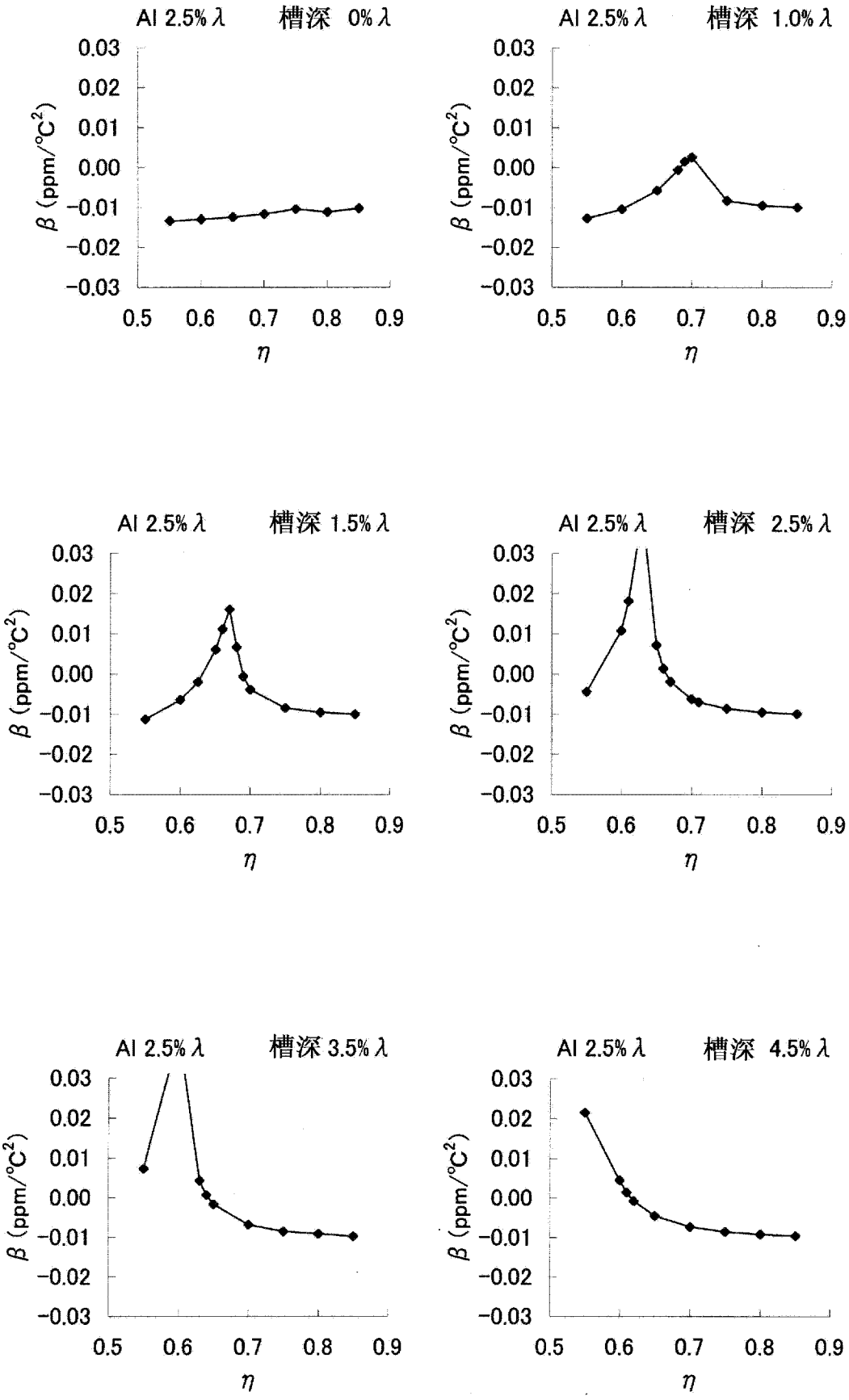

Al 2.5% λ 槽深 0% λ
Al 2.5% λ 槽深 1.0% λ
Al 2.5% λ 槽深 1.5% λ
Al 2.5% λ 槽深 2.5% λ
Al 2.5% λ 槽深 3.5% λ
Al 2.5% λ 槽深 4.5% λ
β (ppm/°C²)
η
0.03
0.02
0.01
0.00
−0.01
−0.02
−0.03
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 15

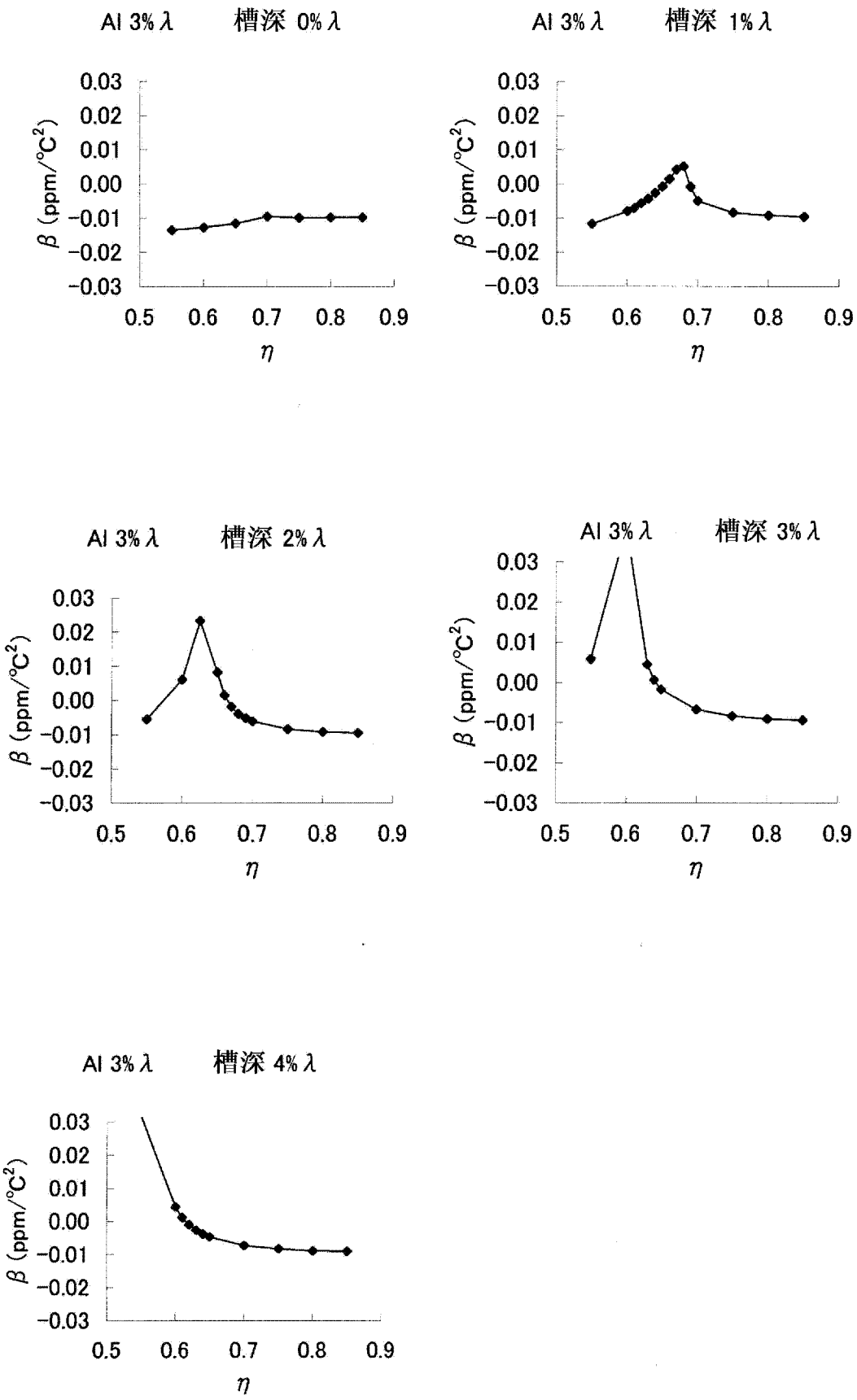

Al 3% λ 槽深 0% λ
Al 3% λ 槽深 1% λ
Al 3% λ 槽深 2% λ
Al 3% λ 槽深 3% λ
Al 3% λ 槽深 4% λ
β (ppm/°C²)
η
0.03
0.02
0.01
0.00
−0.01
−0.02
−0.03
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 16

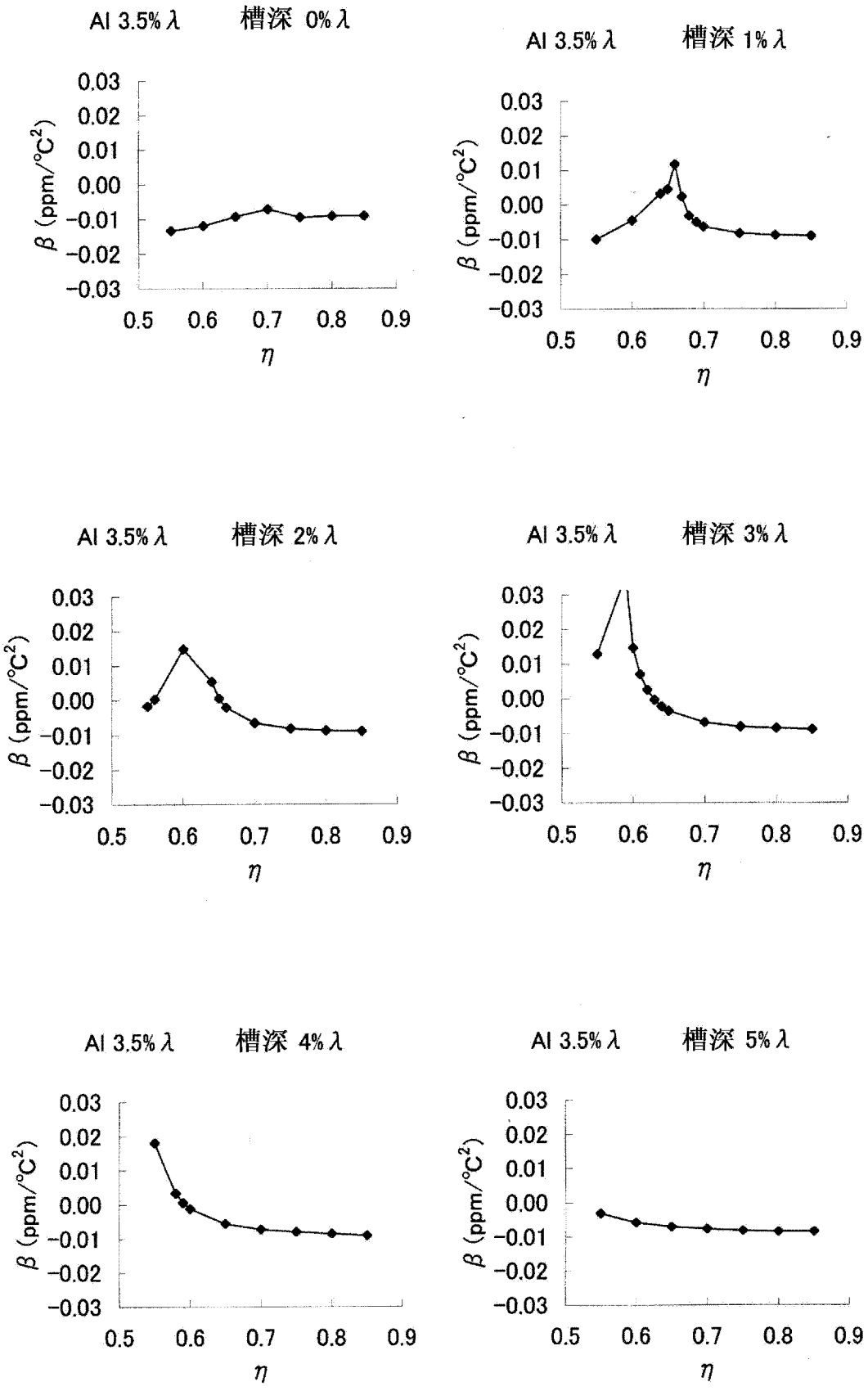

Al 3.5% λ 槽深 0% λ
Al 3.5% λ 槽深 1% λ
Al 3.5% λ 槽深 2% λ
Al 3.5% λ 槽深 3% λ
Al 3.5% λ 槽深 4% λ
Al 3.5% λ 槽深 5% λ
β (ppm/°C²)
η
0.03
0.02
0.01
0.00
−0.01
−0.02
−0.03
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 17

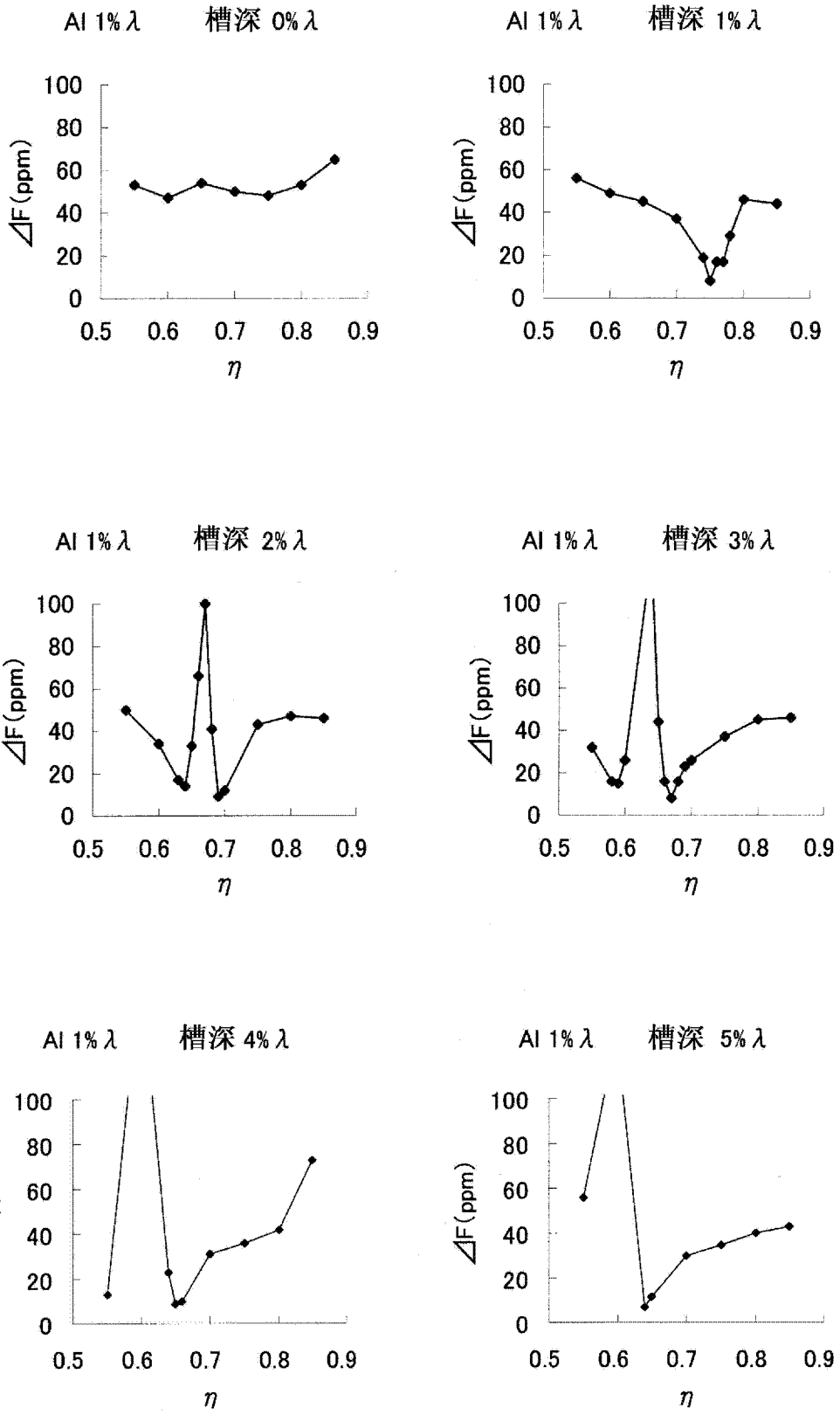

Al 1%λ 槽深 0%λ
Al 1%λ 槽深 1%λ
Al 1%λ 槽深 2%λ
Al 1%λ 槽深 3%λ
Al 1%λ 槽深 4%λ
Al 1%λ 槽深 5%λ
ΔF(ppm)
η
0
20
40
60
80
100
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 18

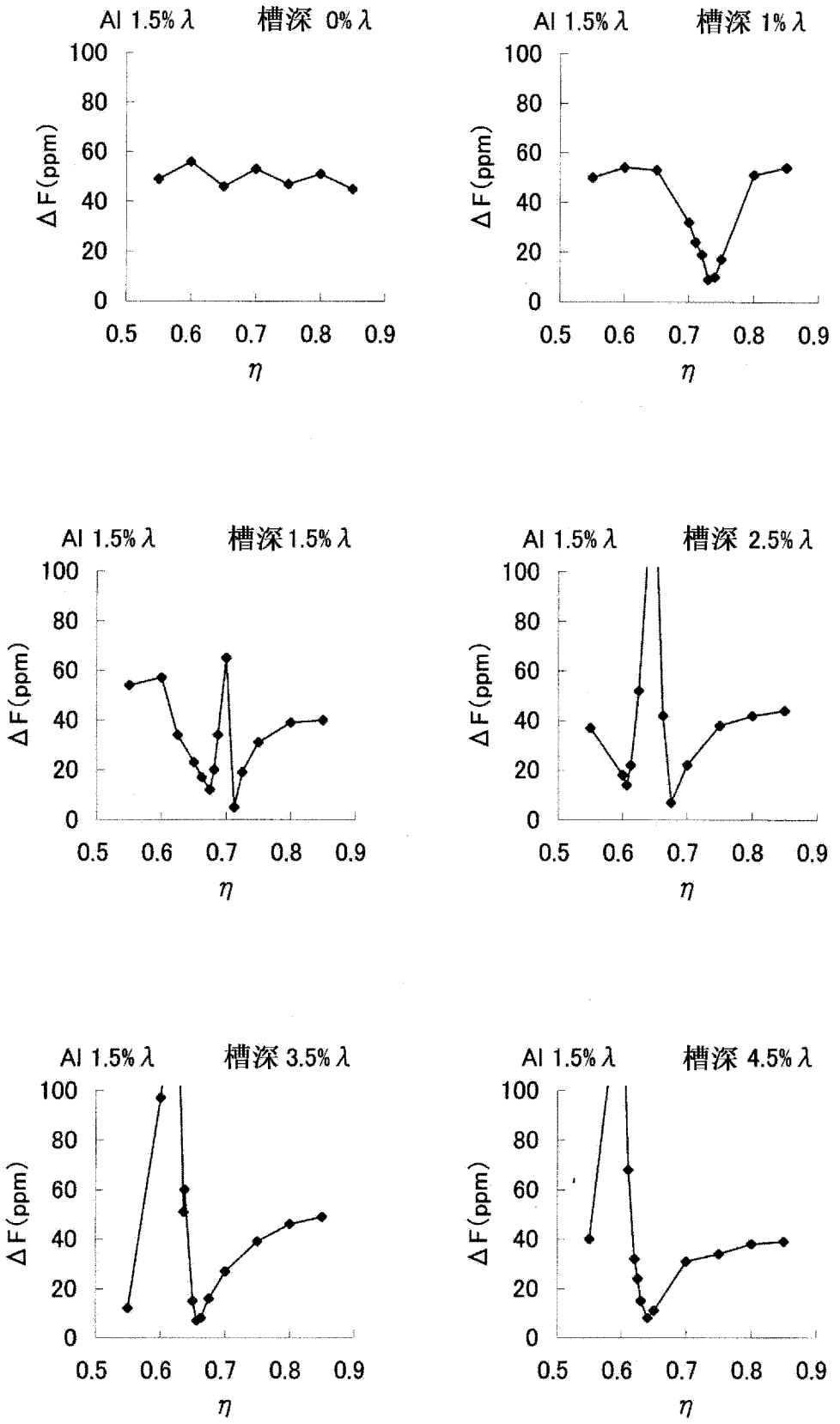

Al 1.5% λ 槽深 0% λ
Al 1.5% λ 槽深 1% λ
Al 1.5% λ 槽深 1.5% λ
Al 1.5% λ 槽深 2.5% λ
Al 1.5% λ 槽深 3.5% λ
Al 1.5% λ 槽深 4.5% λ
ΔF(ppm)
η
0
20
40
60
80
100
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 19

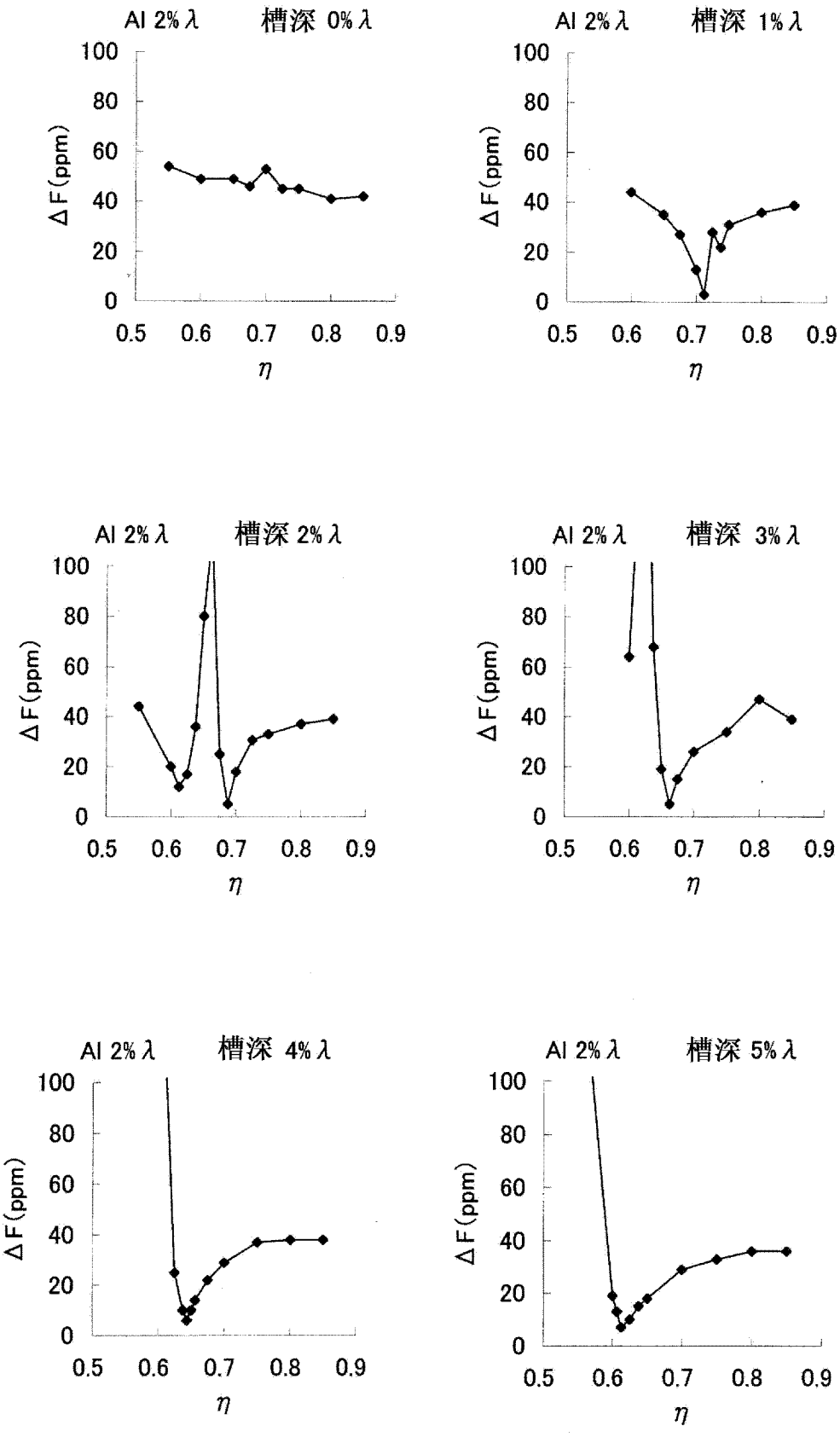

Al 2% λ 槽深 0% λ
Al 2% λ 槽深 1% λ
Al 2% λ 槽深 2% λ
Al 2% λ 槽深 3% λ
Al 2% λ 槽深 4% λ
Al 2% λ 槽深 5% λ
ΔF(ppm)
η
0
20
40
60
80
100
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 20

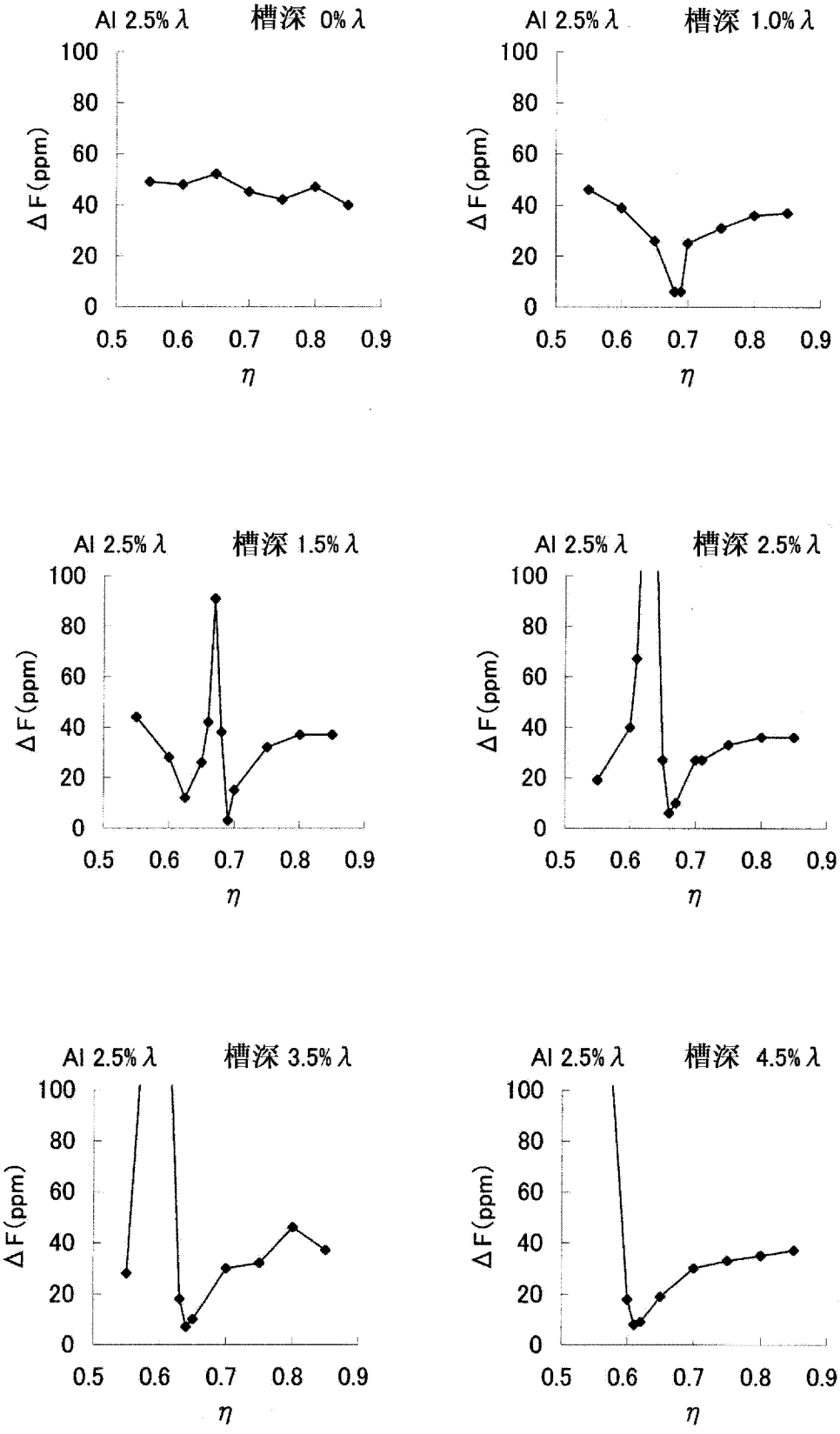

Al 2.5% λ 槽深 0% λ
Al 2.5% λ 槽深 1.0% λ
Al 2.5% λ 槽深 1.5% λ
Al 2.5% λ 槽深 2.5% λ
Al 2.5% λ 槽深 3.5% λ
Al 2.5% λ 槽深 4.5% λ
ΔF(ppm)
η
100
80
60
40
20
0
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 21

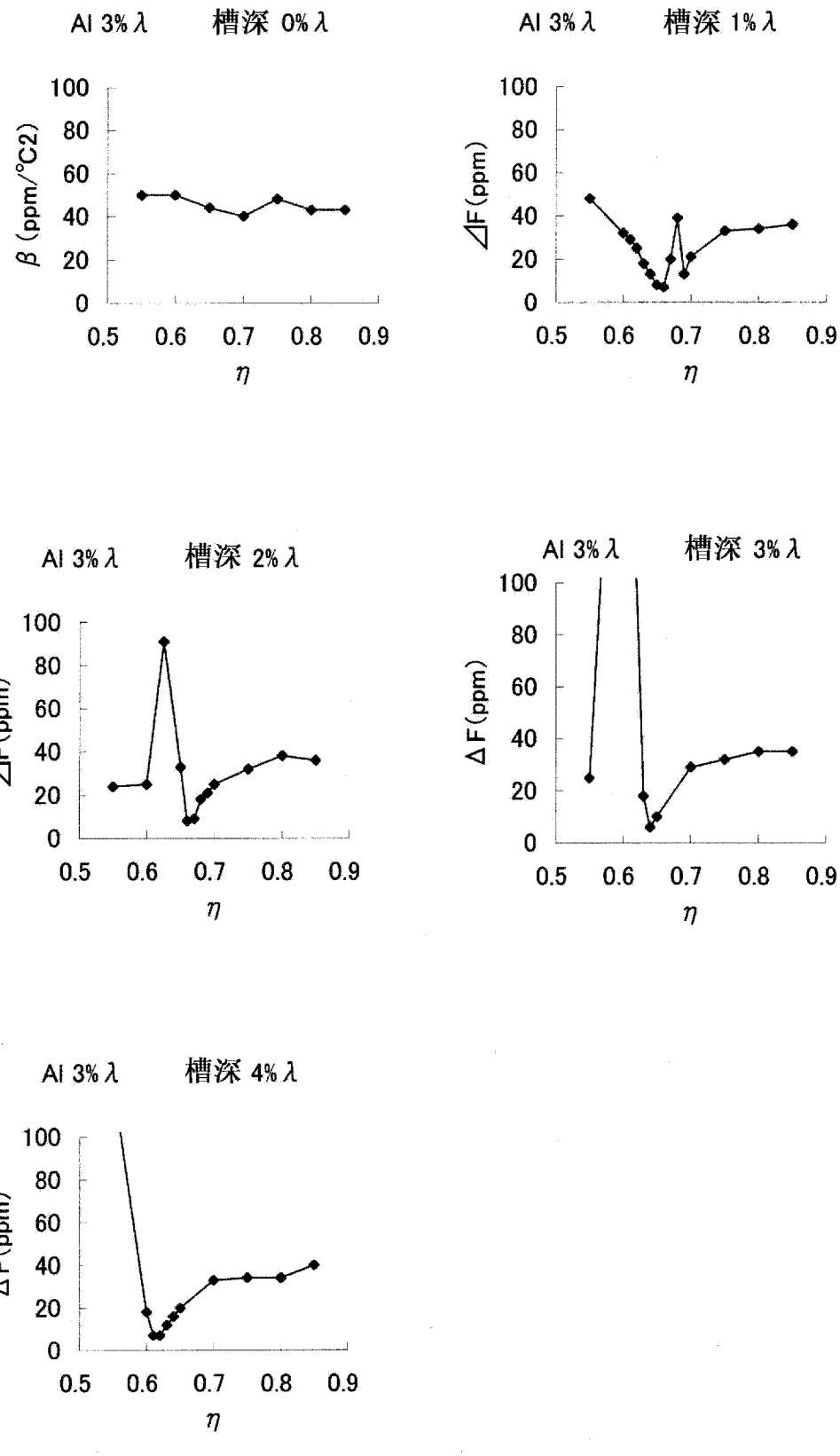

Al 3%λ 槽深 0%λ
β (ppm/°C2)
η
Al 3%λ 槽深 1%λ
ΔF(ppm)
η
Al 3%λ 槽深 2%λ
ΔF(ppm)
η
Al 3%λ 槽深 3%λ
ΔF(ppm)
η
Al 3%λ 槽深 4%λ
ΔF(ppm)
η

图 22

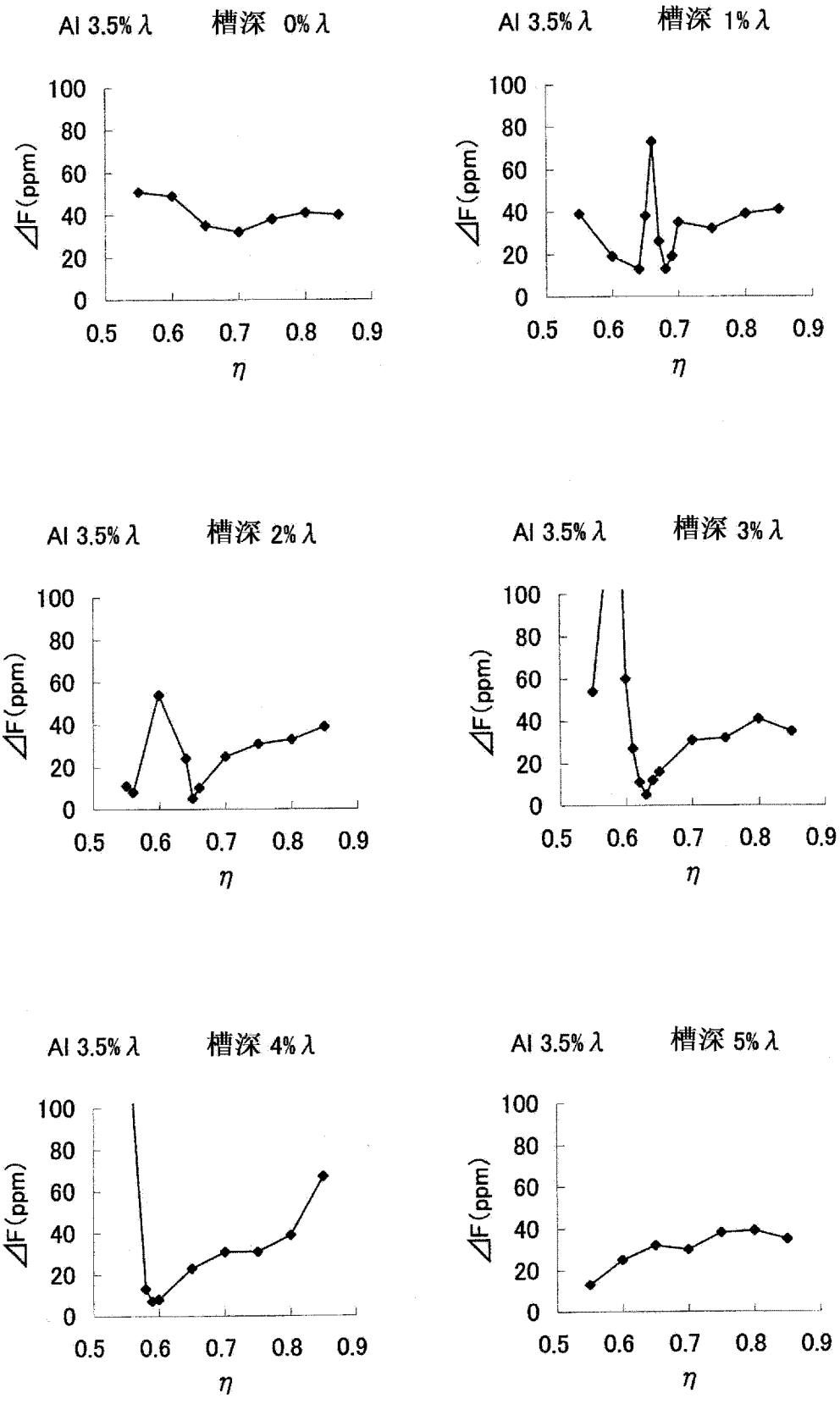

Al 3.5% λ 槽深 0% λ
Al 3.5% λ 槽深 1% λ
Al 3.5% λ 槽深 2% λ
Al 3.5% λ 槽深 3% λ
Al 3.5% λ 槽深 4% λ
Al 3.5% λ 槽深 5% λ
ΔF(ppm)
η
100
80
60
40
20
0
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9

图 23

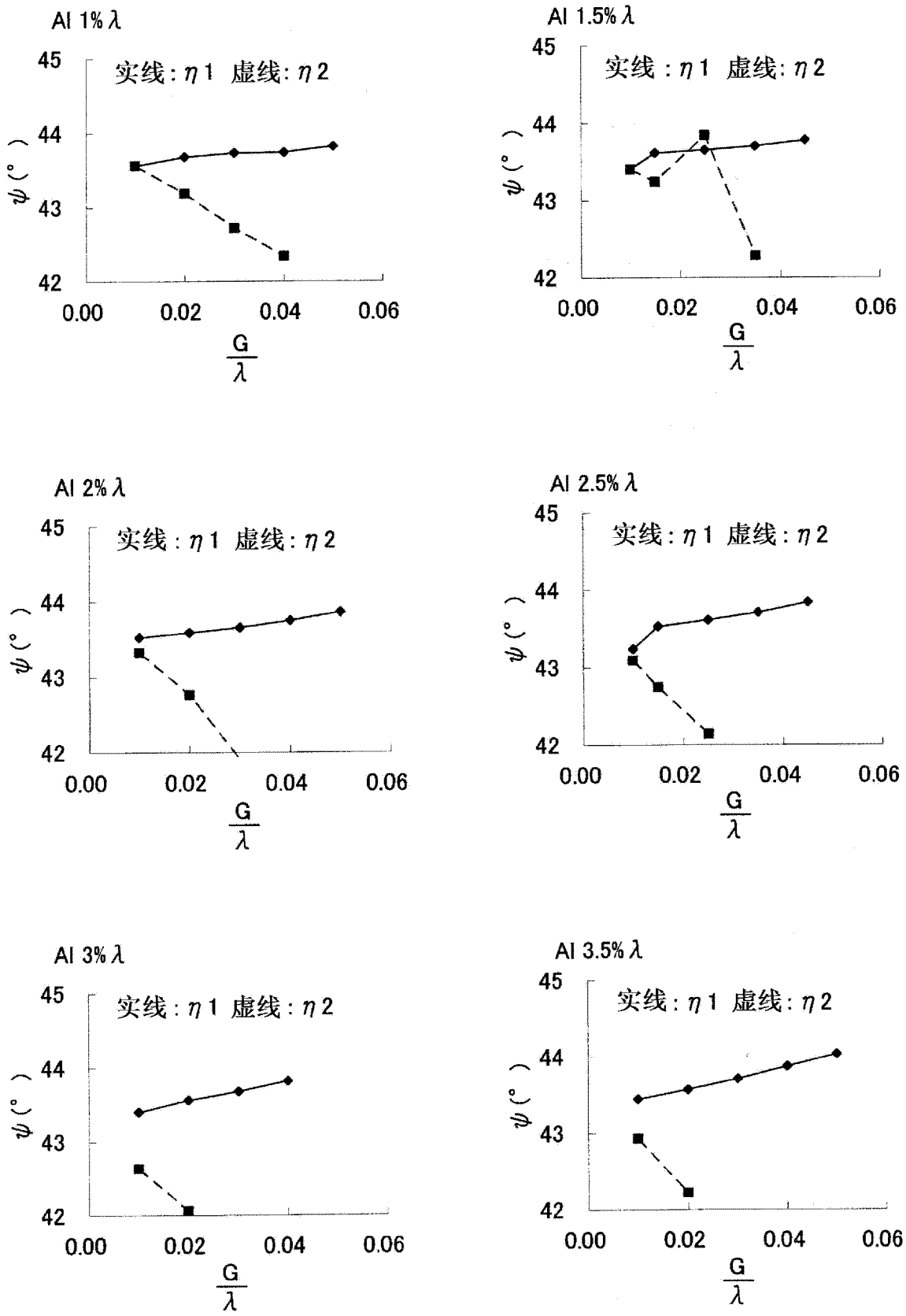

Al 1%λ
实线：η1 虚线：η2
Al 1.5%λ
实线：η1 虚线：η2
Al 2%λ
实线：η1 虚线：η2
Al 2.5%λ
实线：η1 虚线：η2
Al 3%λ
实线：η1 虚线：η2
Al 3.5%λ
实线：η1 虚线：η2
ψ(°)
45
44
43
42
0.00
0.02
0.04
0.06
G/λ

图 24

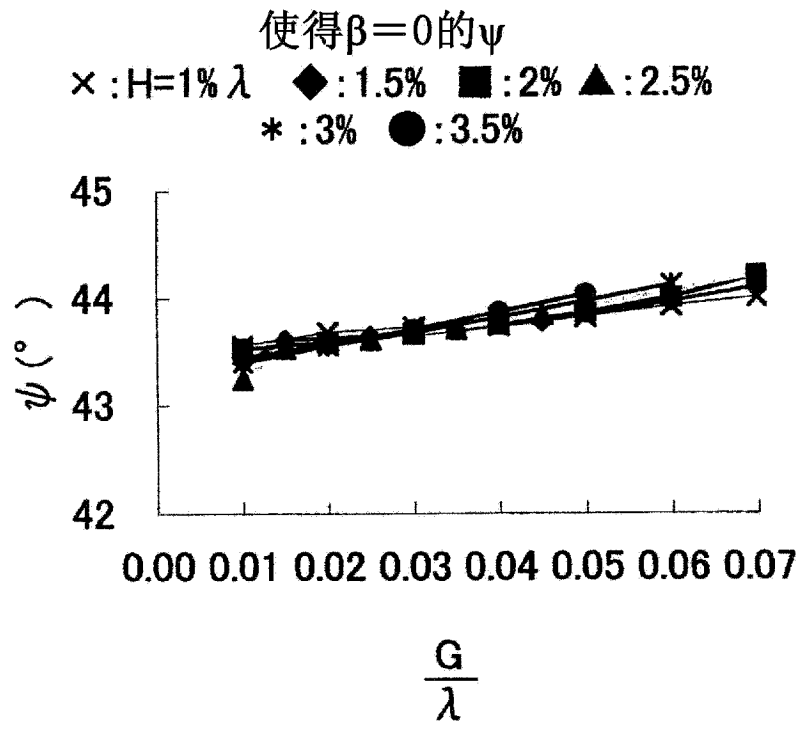

使得β＝0的ψ
×：H=1%λ ◆：1.5% ■：2% ▲：2.5%
＊：3% ●：3.5%
45
44
43
42
ψ（°）
0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07
G/λ

图 25

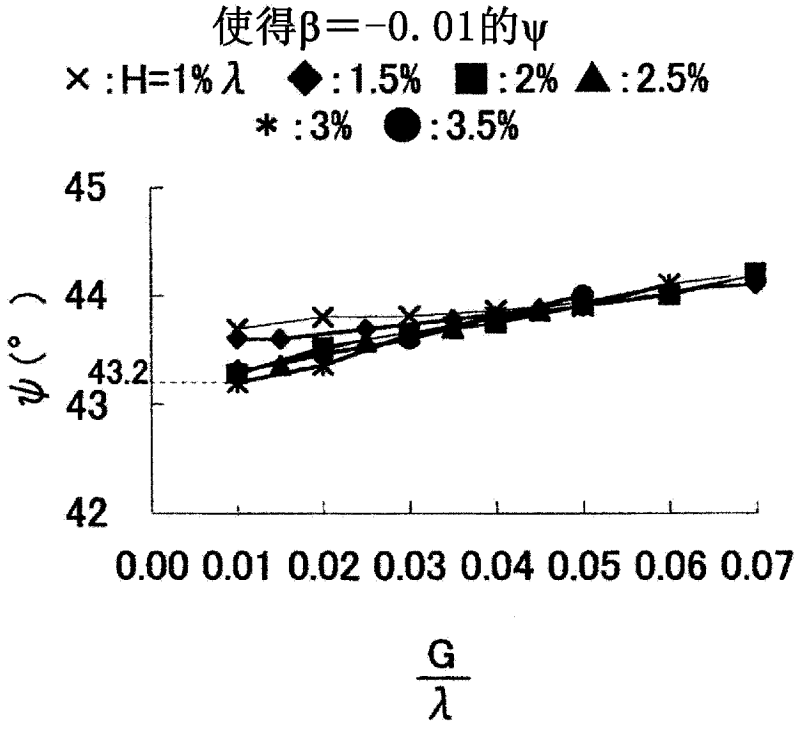

使得β＝-0.01的ψ
×：H=1%λ ◆：1.5% ■：2% ▲：2.5%
＊：3% ●：3.5%
45
44
43.2
43
42
ψ（°）
0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07
G/λ

图 26

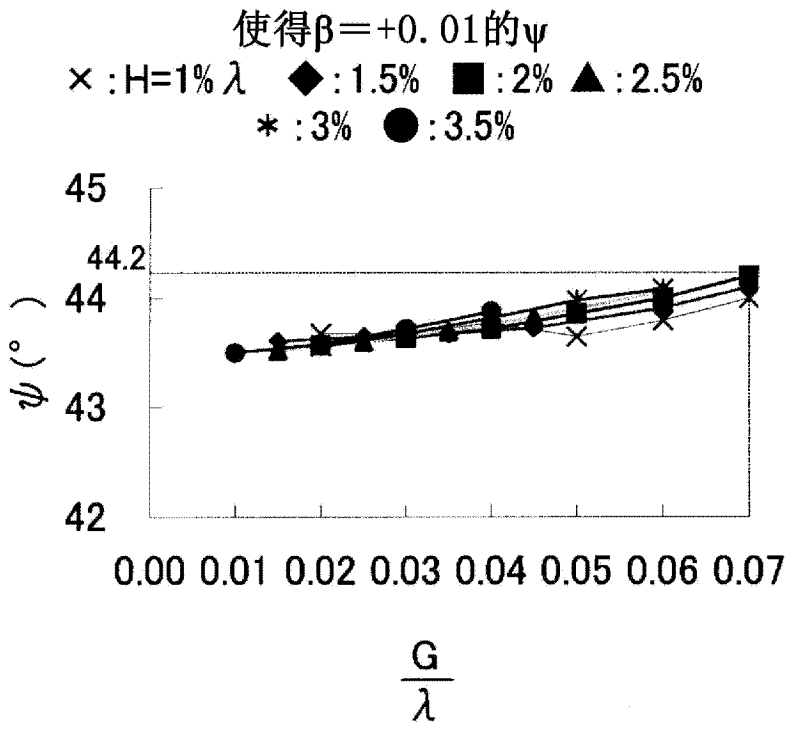

使得β＝+0.01的ψ
×：H=1%λ ◆：1.5% ■：2% ▲：2.5%
＊：3% ●：3.5%
45
44.2
44
43
42
ψ（°）
0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07
G/λ

图 27

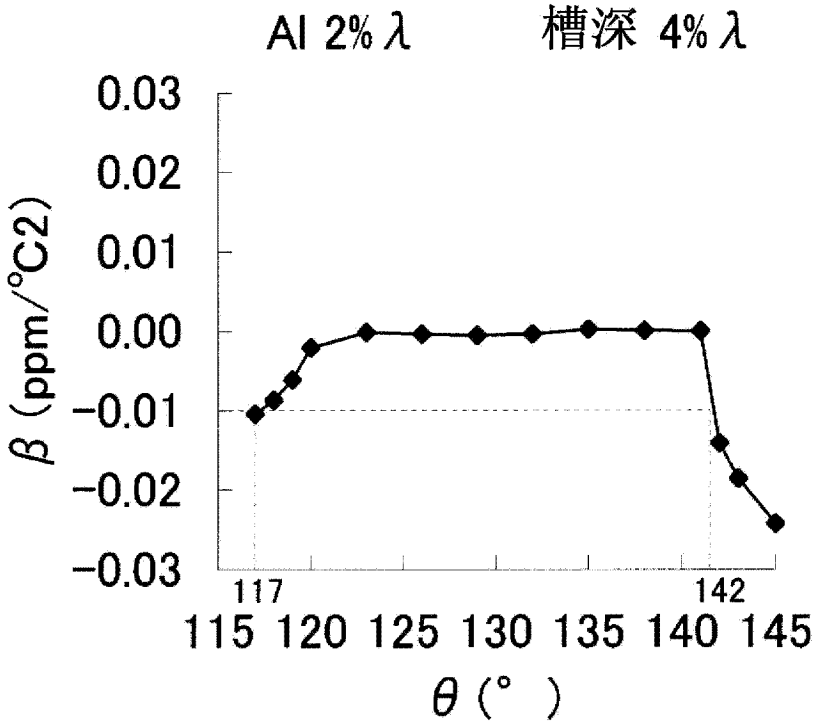

Al 2%λ 槽深 4%λ
0.03
0.02
0.01
0.00
−0.01
−0.02
−0.03
β（ppm/°C2）
117
142
115 120 125 130 135 140 145
θ（°）

图 28

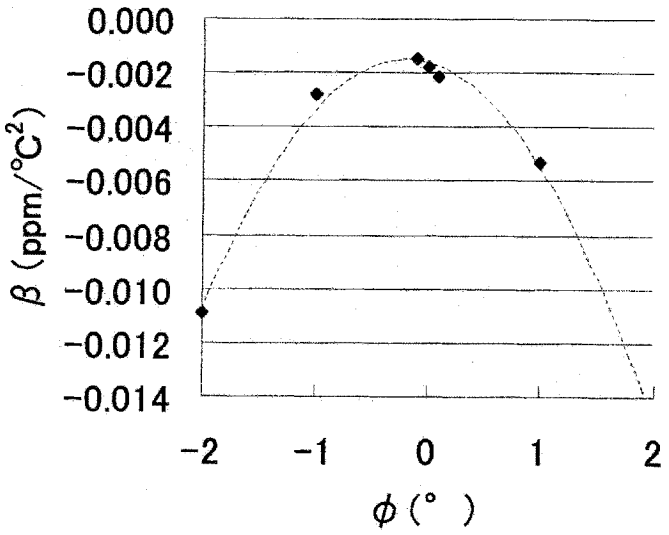

0.000
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.010
-0.012
-0.014
β (ppm/°C²)
-2
-1
0
1
2
φ (°)

图 29

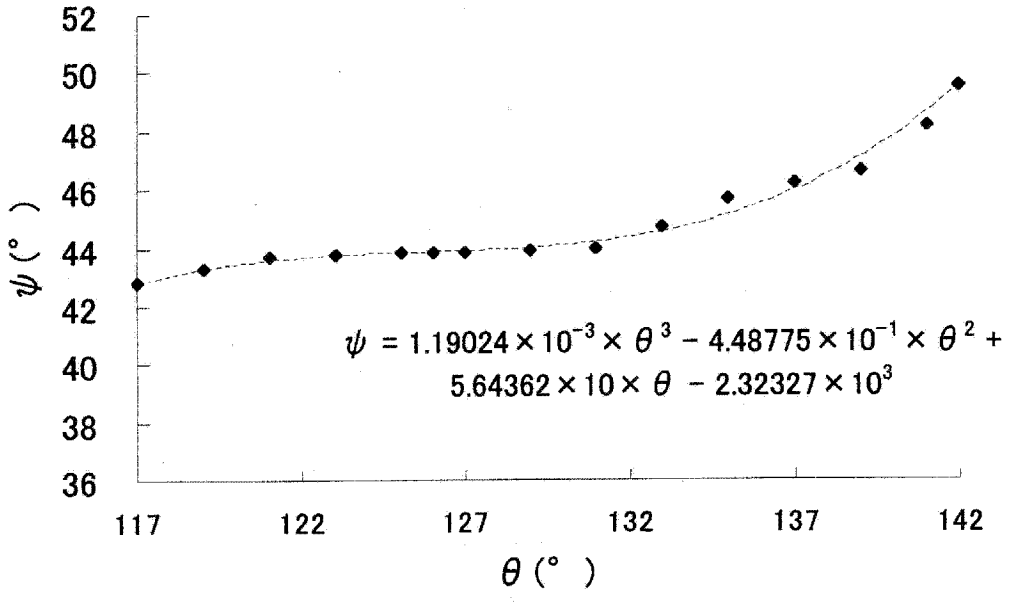

52
50
48
46
44
42
40
38
36
ψ (°)
ψ = 1.19024×10⁻³×θ³ − 4.48775×10⁻¹×θ² +
5.64362×10×θ − 2.32327×10³
117
122
127
132
137
142
θ (°)

图 30

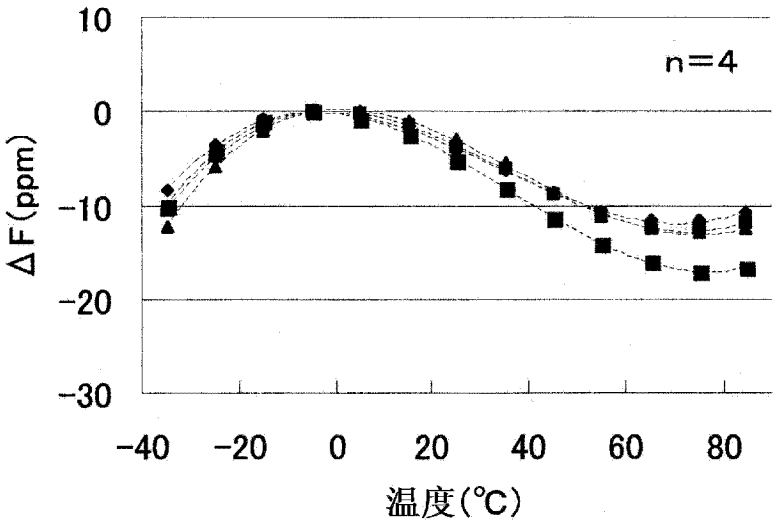


图 31

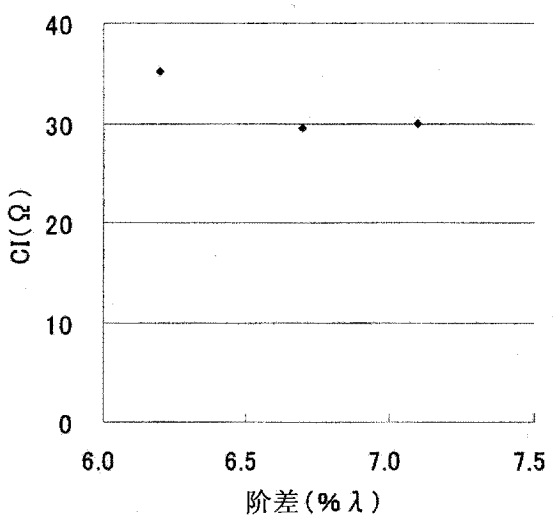


图 32

	F	Q	γ	CI	M
	MH_Z			Ω	
AVG	318.25	13285	2476	21.8	5.4

图 33

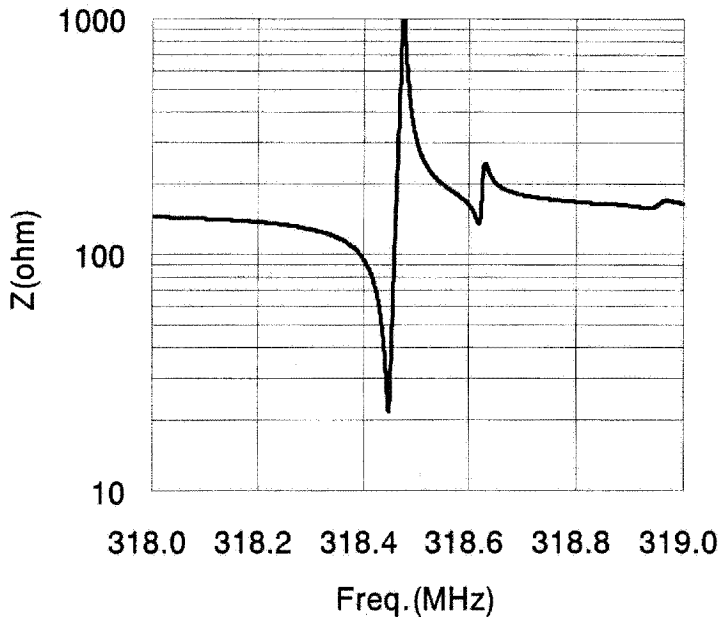

1000
100
10
Z(ohm)
318.0
318.2
318.4
318.6
318.8
319.0
Freq.(MHz)

图 34

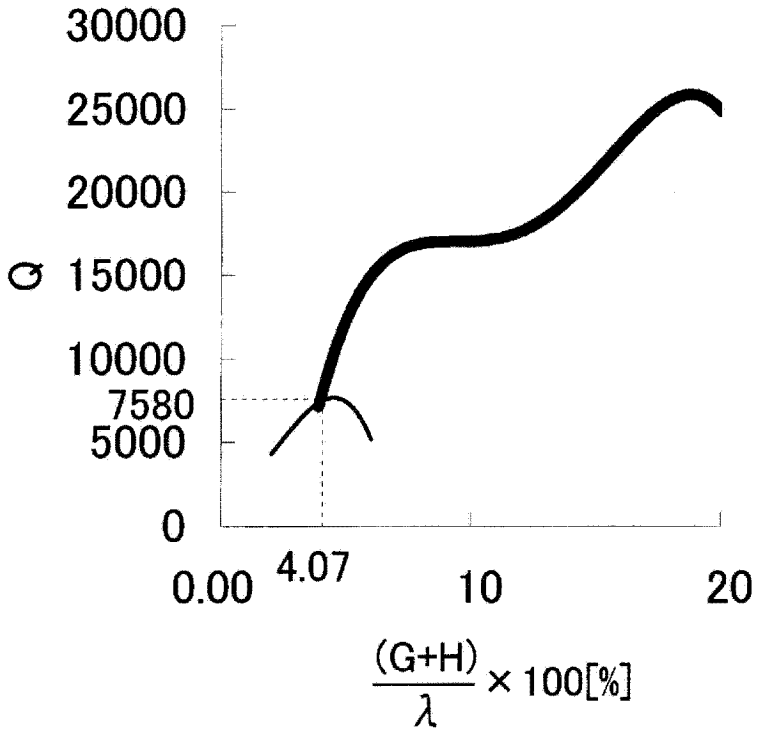

30000
25000
20000
Q 15000
10000
7580
5000
0
0.00
4.07
10
20
(G+H)/λ × 100[%]

图 35

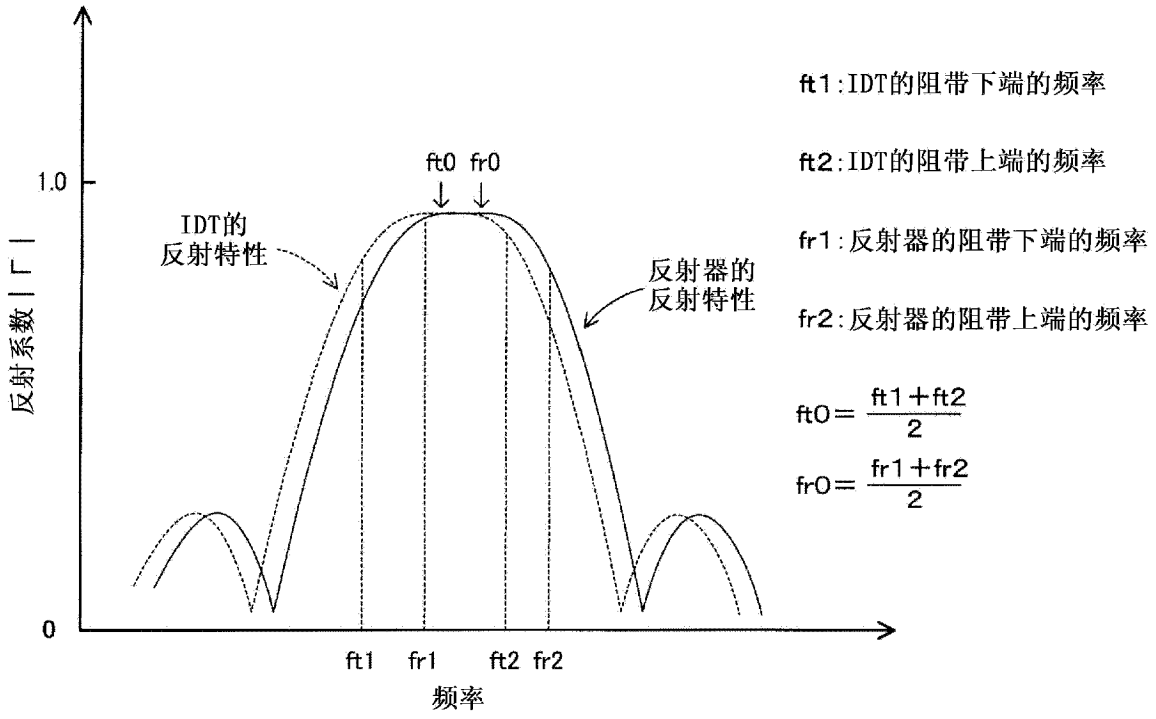

1.0
0
反射系数 | Γ |
ft0 fr0
IDT的
反射特性
反射器的
反射特性
ft1 fr1 ft2 fr2
频率
ft1:IDT的阻带下端的频率
ft2:IDT的阻带上端的频率
fr1:反射器的阻带下端的频率
fr2:反射器的阻带上端的频率
ft0= (ft1+ft2)/2
fr0= (fr1+fr2)/2

图 36

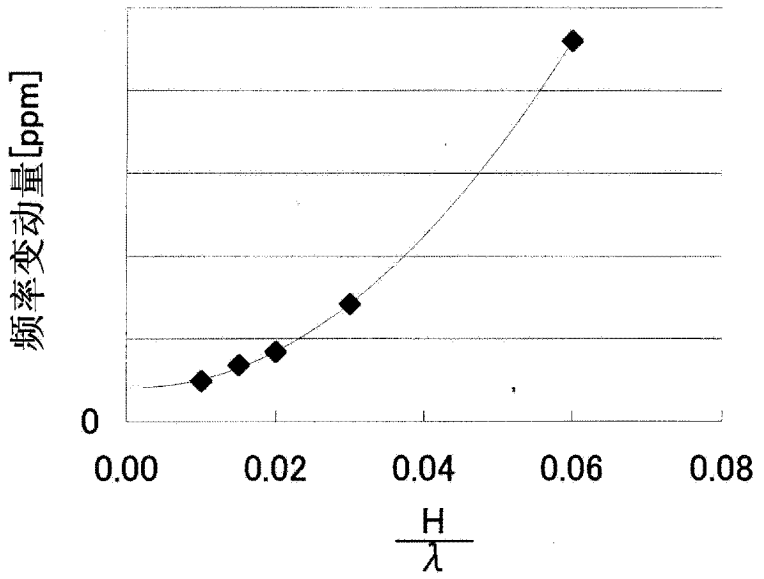

频率变动量[ppm]
0
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
H/λ

图 37

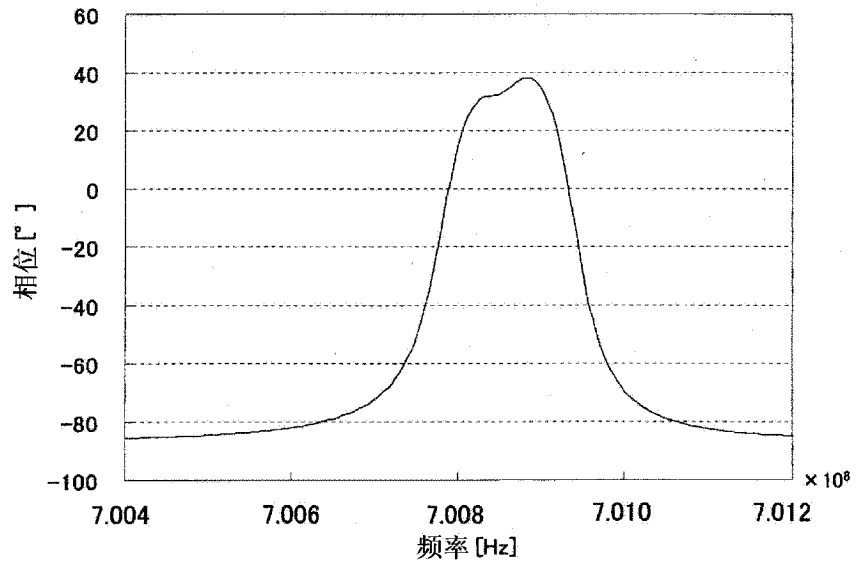

60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
相位[°]
7.004
7.006
7.008
7.010
7.012
×10⁸
频率[Hz]

图 38

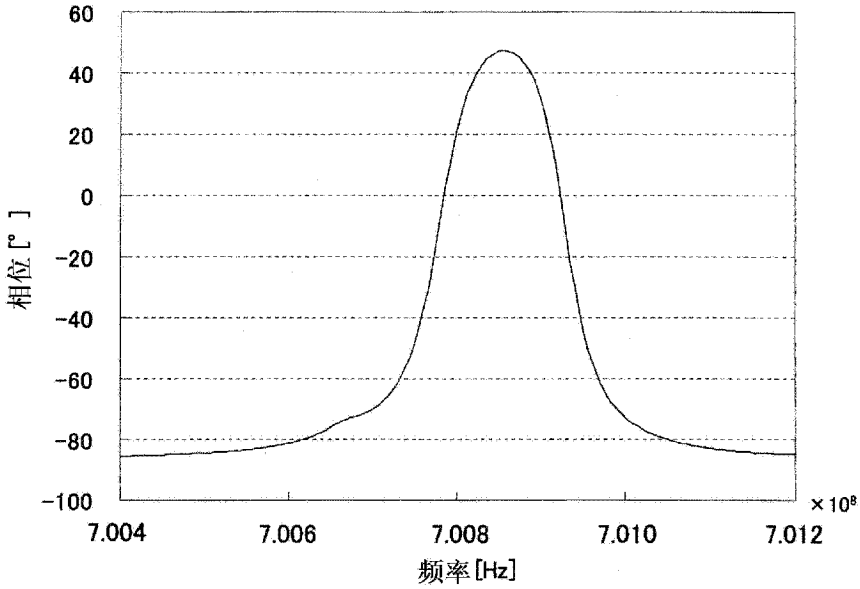

60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
相位[°]
7.004
7.006
7.008
7.010
7.012
×10⁸
频率[Hz]

图 39

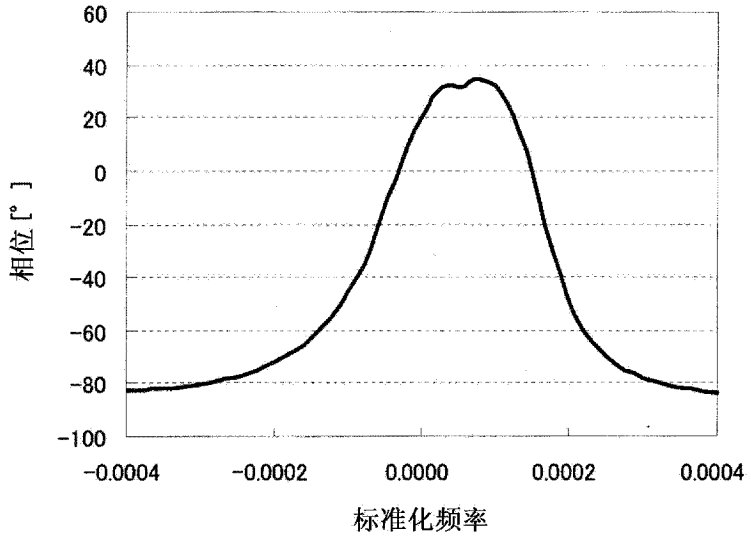

60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
相位[°]
-0.0004
-0.0002
0.0000
0.0002
0.0004
标准化频率

图 40

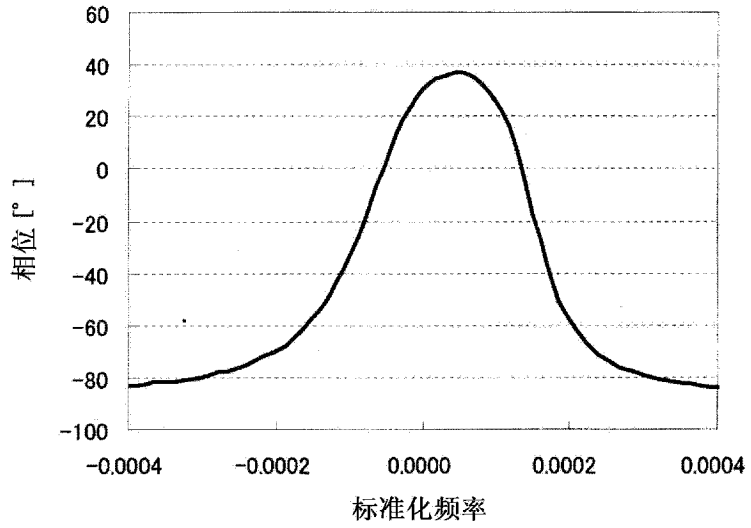

60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
相位[°]
-0.0004
-0.0002
0.0000
0.0002
0.0004
标准化频率

图 41

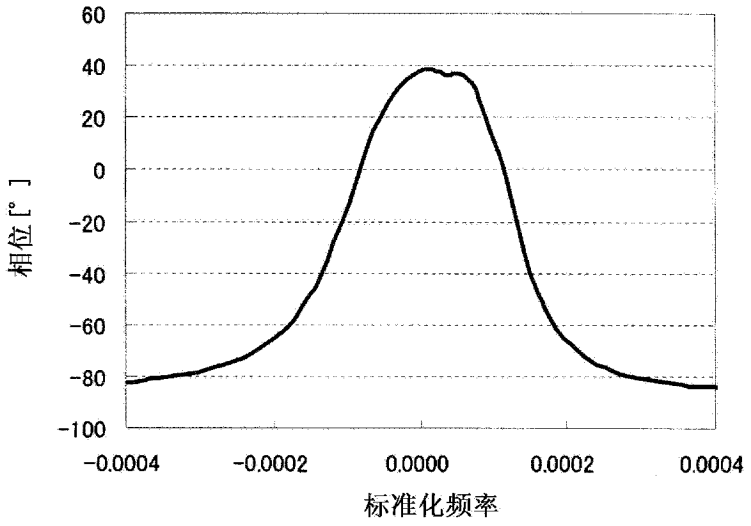

60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
相位[°]
-0.0004
-0.0002
0.0000
0.0002
0.0004
标准化频率

图 42

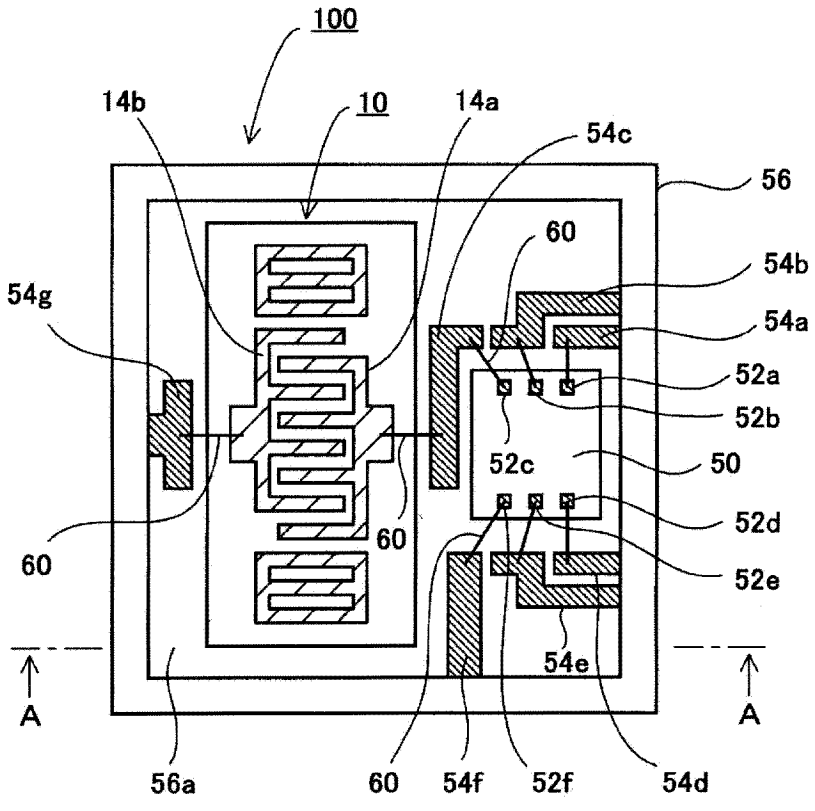

100
14b
10
14a
54c
56
60
54b
54g
54a
52a
52b
52c
50
52d
52e
60
60
54e
A
A
56a
60
54f
52f
54d

图 43(A)

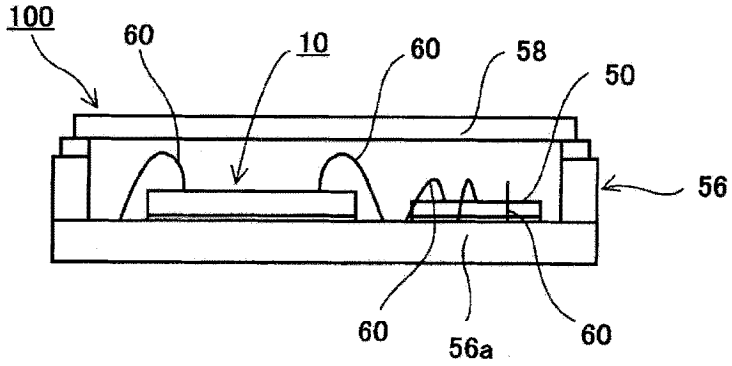


图 43(B)