

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01F 21/02 (2006.01)

H01F 27/00 (2006.01)

H01F 27/28 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200610067650.3

[43] 公开日 2006年10月4日

[11] 公开号 CN 1841581A

[22] 申请日 2006.3.22

[21] 申请号 200610067650.3

[30] 优先权

[32] 2005.3.31 [33] JP [31] 2005-102828

[71] 申请人 富士通株式会社

地址 日本神奈川县

[72] 发明人 石川宽

[74] 专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司

代理人 王玉双 潘培坤

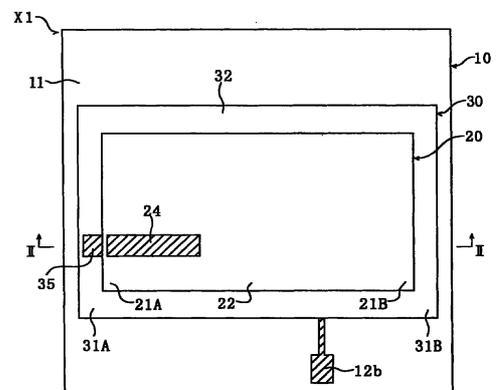
权利要求书 1 页 说明书 20 页 附图 21 页

[54] 发明名称

可变感应器

[57] 摘要

一种可变感应器，包括通电部和导电构件。所述通电部包括线圈和一对与所述线圈电连接的端子。所述导电构件能移动靠近和远离所述线圈。所述端子之间的电感随着所述线圈和所述导电构件之间的距离变小而变小。相反地，所述端子之间的电感随着所述线圈和所述导电构件之间的距离变大而变大。



1. 一种可变感应器，包括：

通电部，所述通电部包括线圈和一对与所述线圈电连接的端子；以及导电构件，所述导电构件能移动靠近和远离所述线圈；

其中，所述端子之间的电感随着所述线圈和所述导电构件之间的距离变小而变小；并且所述端子之间的电感随着所述线圈和所述导电构件之间的距离变大而变大。

2. 如权利要求 1 所述的可变感应器，其中，所述线圈由游丝形线圈构成；所述导电构件由导电膜或者导电板构成，所述导电膜或者所述导电板沿所述游丝形线圈的厚度方向与所述游丝形线圈存在间隔，但是设置成面向所述游丝形线圈。

3. 如权利要求 2 所述的可变感应器，其中，所述导电构件沿所述游丝形线圈的面内方向延伸，并且超出所述游丝形线圈。

4. 如权利要求 2 所述的可变感应器，其中，所述游丝形线圈包括中央开口；所述导电构件包括位于与所述中央开口相对应的位置处的开口。

5. 如权利要求 4 所述的可变感应器，其中，当沿所述游丝形线圈的面内方向看时，所述导电构件中的所述开口位于所述游丝形线圈的所述中央开口内。

6. 如权利要求 1 至 3 中任一项所述的可变感应器，其中，所述游丝形线圈包括中央开口；所述导电构件包括与所述中央开口对应并且设有凸部的区域。

7. 如权利要求 6 所述的可变感应器，其中，所述凸部由导电材料或者介电材料制成。

8. 如权利要求 1 至 7 中任一项所述的可变感应器，其中，所述导电构件的厚度比所述导电构件在其所用频率范围内的最低频率时产生的感应电流的趋肤深度厚。

9. 如权利要求 1 至 8 中任一项所述的可变感应器，其中，所述线圈由 Au、Cu、Al 和 Ni 中任一制成。

可变感应器

技术领域

本发明涉及一种可变感应器，该可变感应器例如用于无线电通信设备。

背景技术

在无线电通信设备例如手机的技术领域中，由于为了获得高性能而增加所述设备中的部件数量，因此对较小的高频电路或者 RF 电路的需求渐增。为了满足这一需求，利用所谓 MEMS（微机电系统）的技术使构建所述电路所需的各种部件微型化成为焦点。感应器就是一类这样的部件。感应器是电路或者电子电路中用来提供电感的电子部件，并且有时候需要电感能够变化。

图 30 和图 31 示出了电感可变的传统可变感应器 X4 的主要构造。图 30 是该感应器 X4 的俯视图，而图 31 为沿图 30 中的 XXXI-XXXI 线所得到的剖视图。

感应器 X4 包括衬底 91、通电部 92 以及铁氧体磁芯（ferrite core）93。利用薄膜成形图案化技术（thin-film formation and patterning technology）形成于衬底 91 上的通电部 92 具有导电线圈 92a 以及一对端子 92b。铁氧体磁芯 93 具有高导磁率并且面向线圈 92a。另外，铁氧体磁芯 93 可以在预定的移动范围内移动接近和远离所述衬底 91 或者线圈 92a。例如专利文献 1：JP-A-H08-204139 中就公开了这样的可变感应器。

在感应器 X4 中，要增大感应器 X4 中所述一对端子 92b 之间的电感（自感），则使铁氧体磁芯 93 接近线圈 92a。当铁氧体磁芯 93 移动远离线圈 92a 时，电感减小。公知的是：线圈的自感与放置线圈处的导磁率成比例。铁氧体磁芯 93 和线圈 92a 之间的距离越近，则线圈 92a 周围的净导磁率越高（因而当电流流经线圈 92a 时线圈 92a 周围产生的净磁通密度越高），因此电感越高。

然而，在通过使高导磁构件（铁氧体磁芯 93）移近/远离线圈 92a 而改

变电感的感应器 X4 中，电感仅能在相对较小的范围内变化，如专利文献 1 所提及的，约为 10%。因此，有时候感应器 X4 的电感变化不能如需要般大。

发明内容

鉴于上述问题提出了本发明，因此本发明的目的是提供一种适于使电感大范围变化的可变感应器。

本发明提供的一种可变感应器包括：通电部，所述通电部包括线圈和一对与所述线圈电连接的端子；以及导电构件，所述导电构件能移动靠近和远离所述线圈。所述端子之间的电感随着所述线圈和所述导电构件之间的距离变小而变小，并且所述端子之间的电感随着所述线圈和所述导电构件之间的距离变大而变大。该可变感应器中待改变的电感为该可变感应器的自感，这种变化的电感是包括所述通电部和所述导电构件的可变感应器中的通电部端子之间的电感。从电学角度而言，线圈位于所述端子之间，并且与各端子串联。此外，线圈和导电构件彼此间隔适当的距离。有关导电构件能移动接近及远离线圈的叙述是指位于预定位置的导电构件能够相对地逼近所述线圈，并且位于该特定位置的导电构件还能够相对远离所述线圈。

在该可变感应器中，当通过端子向所述通电部施加电流时，该电流使得所述线圈周围产生磁场（第一磁场）。该第一磁场使得导电构件中流动有感应电流，而该感应电流使得该导电构件周围产生磁场（第二磁场）。该第二磁场的形成扰乱了第一磁场，即削弱了第一磁场。对于如线圈和导电构件之间的这种电磁干扰，有下述事实：线圈和导电构件之间的距离越小，则导电构件中的感应电流越大，第二磁场越大，因此线圈周围形成的净磁场越小（换句话说，线圈和导电构件之间的距离越大，则导电构件中的感应电流越小，第二磁场越小，因此线圈周围形成的净磁场越大）。发明人发现：线圈周围形成的净磁场越小，则端子之间的电感越小；而线圈周围形成的净磁场越大，则端子之间的电感越大；并且，这种电感变化的变化率倾向于比例如通过使高导磁率元件靠近/远离线圈而改变电感的感应器 X4 要大。电感变化率大的该可变感应器适于在大的范围内改变电感。

优选地，所述线圈由游丝形线圈构成；所述导电构件由导电膜或者导电板构成，所述导电膜或者所述导电板沿所述游丝形线圈的厚度方向与所述游

丝形线圈存在间隔，且面向所述游丝形线圈。上述这种设置适于当向该可变电感器加电时，在线圈和导电构件之间有效地产生电磁干扰。

优选地，所述导电构件沿所述游丝形线圈的面内方向延伸，并且超出所述游丝形线圈。上述这种设置适于在导电构件中适当地产生感应电流，从而获得大的电感变化率。

根据本发明的一个优选实施例，所述游丝形线圈包括中央开口；所述导电构件包括位于与所述中央开口相对应的位置处的开口。至于这种设置，优选地，在所述游丝形线圈的面内方向，所述导电构件中的所述开口位于所述游丝形线圈的所述中央开口内。上述这种设置适于在导电构件中面向游丝形线圈的位置处密集地产生感应电流，从而获得大的电感变化率。

根据本发明的另一个优选实施例，所述游丝形线圈包括中央开口，且所述导电构件包括与所述中央开口对应并且设有凸部的区域。至于这种设置，优选地，所述凸部由导电材料或者介电材料制成。

优选地，所述导电构件的厚度比所述导电构件在其所用频率范围的最低频率时产生的感应电流的趋肤深度厚。上述这种设置适于在导电构件中适当地产生感应电流，从而获得大的电感变化率。

优选地，所述线圈由 Au、Cu、Al 或 Ni 制成。上述这种设置适用于获得大的电感变化率。

附图说明

图 1 为根据本发明第一实施例的可变电感器的俯视图。

图 2 为沿图 1 中的线 II—II 所得剖视图；

图 3 为图 1 中的可变电感器的第一固定结构的俯视图。

图 4 为图 1 中的可变电感器的该第一固定结构的仰视图。

图 5 为图 1 中的可变电感器的第二固定结构的仰视图。

图 6 为图 1 中的可变电感器的可动结构的俯视图。

图 7 为图 1 中的可变电感器的该可动结构的仰视图，以虚线画出了该第一固定结构的线圈。

图 8 示出了制造该第一固定结构的方法。

图 9 示出了制造该第二固定结构的方法。

图 10 示出了制造该可动结构的方法。

图 11 示出了将该第一固定结构、该第二固定结构和该可动结构结合的步骤。

图 12 是根据本发明第二实施例的可变感应器的剖视图；可以将该图与示出根据第一实施例的可变感应器的剖视图的图 2 进行比较。

图 13 示出了根据该第二实施例的可动结构的仰视图。

图 14 是根据本发明第三实施例的可变感应器的剖视图；可以将该图与示出根据第一实施例的可变感应器的剖视图的图 2 进行比较。

图 15 示出了根据该第三实施例的第一固定结构的俯视图。

图 16 示出了根据该第三实施例的可动结构的仰视图。

图 17 是示出了实例 1 的可变感应器的电感 L_s 如何变化的曲线图。

图 18 是示出了实例 1 的可变感应器的电感变化率 ΔL_s 如何变化的曲线图。

图 19 是示出了实例 2 的可变感应器的电感 L_s 如何变化的曲线图。

图 20 是示出了实例 2 的可变感应器的电感变化率 ΔL_s 如何变化的曲线图。

图 21 是示出了实例 3 的可变感应器的电感 L_s 如何变化的曲线图。

图 22 是示出了实例 3 的可变感应器的电感变化率 ΔL_s 如何变化的曲线图。

图 23 是示出了从实例 4 至实例 13，在不同频率下电感变化率 ΔL_s 随导电膜厚度变化的曲线图。

图 24 是示出了实例 14 的可变感应器的电感变化率 ΔL_s 如何变化的曲线图。

图 25 是示出了实例 15 的可变感应器的电感变化率 ΔL_s 如何变化的曲线图。

图 26 是示出了实例 16 的可变感应器的电感变化率 ΔL_s 如何变化的曲线图。

图 27 是示出了实例 17 的可变感应器的电感变化率 ΔL_s 如何变化的曲线图。

图 28 是示出了实例 18 的可变感应器的电感变化率 ΔL_s 如何变化的曲线图。

图。

图 29 是示出了实例 19 的可变感应器的电感变化率 ΔL_s 如何变化的曲线图。

图 30 为一传统可变感应器的俯视图。

图 31 为沿图 30 中 XXXI-XXXI 线所得的剖视图。

具体实施方式

图 1 和图 2 示出了根据本发明第一实施例的可变感应器 X1。图 1 是该可变感应器 X1 的俯视图，而图 2 是沿图 1 中线 II-II 得到的剖视图。

可变感应器 X1 具有层状结构，该层状结构包括第一固定结构 10、第二固定结构 20 以及位于两者之间的可动结构 30。

如图 2 至图 4 所示，第一固定结构 10 包括基板 11 和通电部 12。基板 11 由预定的绝缘材料制成。通电部 12 具有：线圈 12a，其具有开口 12a'；端子 12b、12c；以及导电插塞 (plug) 12d。线圈 12a 是所谓的游丝形线圈 (flat spiral coil)。如图 3 所示，线圈 12a 与端子 12b 形成于 (be patterned on) 基板 11 的一个表面上，并且彼此电连接。尺寸方面，线圈 12a 的导线宽度为例如 5 至 15 μm ，导线厚度为例如 1 至 10 μm ，导线与导线之间的距离为例如 5 至 15 μm ，圈数为例如 3 至 5，图 3 中所示的长度 L_1 (最外部正方形的边长) 为 100 至 3000 μm ，而长度 L_2 (正方形开口 12a' 的边长) 为例如 10 至 200 μm 。端子 12c 如图 4 所示形成在基板 11 的另一表面上，并且通过如图 2 所示穿过基板 11 的导电插塞 12d 与线圈 12a 电连接。从电学角度而言，线圈 12a 位于端子 12b、12c 之间，并且与端子 12b、12c 均串联。端子 12b、12c 通过预定的布线 (未图示) 与预定的电路连接。上述的通电部 12 由预定的导电材料制成。在本实施例中，至少通电部 12 中的线圈 12a 是由 Au、Cu、Al 或 Ni 制成。

如图 1、图 2 和图 5 所示，第二固定结构 20 包括一对接合端部 21A 和 21B、固定梁部 22、驱动电极 23、端子 24 以及导电插塞 25。如图 2 和图 5 所示，接合端部 21 具有退避部 21a。如图 2 所示，固定梁部 22 跨接接合端部 21A 和 21B，并且比接合端部 21A 和 21B 薄。如图 5 所示，驱动电极 23 形成于固定梁部 22 的一个表面上。端子 24 如图 1 所示形成于固定梁部 22

的另一表面上；并且通过穿过固定梁部 22 的导电插塞 25 与驱动电极 23 连接，如图 2 所示。接合端部 21A、21B 和固定梁部 22 由预定的绝缘材料制成。驱动电极 23、端子 24 以及导电插塞 25 均由预定的导电材料制成。

如图 2、图 6 和图 7 所示，可动结构 30 包括一对接合端部 31A 和 31B、可动梁部 32、导电膜 33、驱动电极 34 以及端子 35。如图 2 所示，接合端部 31A、31B 比第二固定结构 20 的接合端部 21A、21B 宽。可动梁部 32 跨接接合端部 31A、31B，并且如图 2 所示，比接合端部 31A、31B 薄。如图 7 所示，导电膜 33 形成在可动梁部 32 的一表面上，并且如图 2 所示面向第一固定结构 10 的线圈 12a。导电膜 33 沿线圈 12a 的面内方向(in-plane direction)延伸，并超出线圈 12a 之外。如图 2 和图 7 所示，在线圈 12a 的面内方向上，导电膜 33 的最外缘与线圈 12a 的最外缘之间的距离 L_3 例如为 0 至 $200\mu\text{m}$ 。线圈 12a 与导电膜 33 距离为 d_1 ，当可动梁部 32 处于自然状态时（即未运行时），距离 d_1 例如为 0.2 至 $2\mu\text{m}$ 。上述的导电膜 33 的厚度例如为 1 至 $10\mu\text{m}$ 。驱动电极 34 如图 6 所示形成于可动梁部 32 的另一表面上，并且面向形成于第二固定结构 20 上的驱动电极 23。驱动电极 23、34 彼此间隔距离 d_2 ；在可动梁部 32 处于自然状态时距离 d_2 例如为 20 至 $60\mu\text{m}$ 。如图 6 所示端子 35 与驱动电极 34 位于同一侧且形成在可动梁部 32 及接合端部 31A 上，并且端子 35 与驱动电极 34 电连接。如图 2 所示，端子 35 延伸通过第二固定结构 20 的接合端部 21A 的退避部 21a。上述端子 35 通过预定的布线（未图示）电接地。接合端部 31A、31B 和可动梁部 32 由预定的绝缘材料制成。导电膜 33 由例如 Al、Cu、Au 及 Ni 制成。驱动电极 34 和端子 35 均由预定的导电材料制成。

对于上述的可变感应器 X1，当通过端子 24 以及导电插塞 25 向驱动电极 23 施加预定的电势时，在驱动电极 23、34 之间产生静电引力。该引力使得可动梁部 32 弹性变形靠近固定梁部 22，从而增大线圈 12a 与导电膜 33 之间的距离 d_1 。通过调整施加至驱动电极 23 上的电势，可以控制驱动电极 23、34 之间的静电引力，从而控制可动梁部 32 的位移量，并因此控制线圈 12a 和导电膜 33 之间的距离 d_1 。

在该可变感应器 X1 中，当通过端子 12b、12c 向通电部 12 施加电流时，该电流使得线圈 12a 周围产生磁场（第一磁场）。该第一磁场使得导电膜 33

中流动有感应电流，而该感应电流使得该导电膜 33 周围产生磁场（第二磁场）。该第二磁场的形成扰乱了第一磁场，即削弱了第一磁场。对于如线圈 12a 和导电膜 33 之间的这种电磁干扰，有下述事实：线圈 12a 和导电膜 33 之间的距离 d_1 越小，则导电膜 33 中的感应电流越大，第二磁场越大，因此线圈 12a 周围形成的净磁场（net magnetic field）越小（换句话说，距离 d_1 越大，则导电膜 33 中的感应电流越小，第二磁场越小，因此线圈 12a 周围形成的净磁场越大）。线圈 12a 周围形成的净磁场越小（即距离 d_1 越小），则端子 12b、12c 之间的电感越小；线圈 12a 周围形成的净磁场越大（即距离 d_1 越大），则端子 12b、12c 之间的电感越大。这种电感变化的变化率倾向于比例如通过使高导磁率元件靠近/远离线圈而改变电感的感应器 X4 要大（可变感应器 X1 的电感可以通过调整距离 d_1 来调整）。电感变化率大的可变感应器 X1 适于在大的范围内改变电感。

在该可变感应器 X1 中，如前所述，导电膜 33 沿线圈 12a 的面内方向延伸，并且超出线圈 12a。这种设置使得能够在导电膜 33 中与线圈 12a 相对的位置处适当地产生上述的感应电流。因此，这样的设置适于获得大的电感变化率。

优选地，导电膜 33 的厚度应该不小于该可变感应器 X1 在其所使用频率范围中的最低频率时导电膜 33 中产生的感应电流的趋肤深度（skin depth）。这样的设置适于在导电膜 33 中适当地产生感应电流，并且适于获得大的电感变化率。当向通电部 12 施加交变电流时，在导电膜 33 中生成的感应电流（AC）的趋肤深度 δ [m]由下述式（1）表示。对于可变感应器 X1 的导电膜 33 的情况，式（1）中的 ρ 代表导电膜 33 的电阻率[$\Omega \cdot m$]， μ 代表导电膜 33 的导磁率[H/m]，而 ω 代表感应电流（AC）的角频率，其等于 $2\pi f$ （ f ：感应电流频率[Hz]）。为了在导电膜 33 中适当地产生感应电流，导电膜 33 的厚度应该不小于感应电流的趋肤深度 δ ，以避免抑制感应电流。

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} \quad (1)$$

图 8 至图 11 示出了制造可变感应器 X1 的方法。图 8 示出了制造第一固定结构 10 的方法，图 9 示出了制造第二固定结构 20 的方法，图 10 示出了制造可动结构 30 的方法，图 11 示出了第一固定结构 10、第二固定结构 20

以及可动结构 30 的结合步骤。

在制造第一固定结构 10 时，首先如图 8 中 (a) 图所示，在衬底 S1 上形成通孔 H1，该通孔用于形成导电插塞 12d。具体地，利用由衬底 S1 上形成的预定抗蚀图 (resist pattern) (未图示) 所提供的掩模，对衬底 S1 进行各向异性蚀刻处理，从而在衬底 S1 中形成通孔 H1。衬底 S1 由例如单晶硅制成，并且将用作基板 11。该各向异性蚀刻处理可由 DRIE (深反应离子蚀刻) 提供。在 DRIE 中，通过蚀刻和侧壁防护彼此交替的博施处理 (Bosch process) 可以获得良好的各向异性蚀刻。

接下来如图 8 中 (b) 图所示，在通孔 H1 中充填预定的导电材料以形成导电插塞 12d。可以通过溅射方法或者 CVD 方法将该导电材料供应至通孔 H1 内部。在完成该步骤之后将形成通孔 H1 时用作掩模的抗蚀图除去。

然后，如图 8 中 (c) 图所示，通过使用例如溅射方法，在衬底 S1 上形成由预定的导电材料制成的膜，从而形成导电膜 82、83。然后，如图 8 中 (d) 图所示，由导电膜 82、83 形成通电部 12 的一部分。具体地，利用由导电膜 82、83 上形成的预定抗蚀图 (未图示) 所提供的掩模，对导电膜 82、83 进行蚀刻处理，从而在衬底 S1 上形成包括线圈 12a 及端子 12b、12c 的通电部 12 的一部分。该蚀刻过程可通过湿蚀刻进行。通过上述步骤，可以制造出包括基板 11 和通电部 12 的第一固定结构 10。

在制造第二固定结构 20 时，首先，如图 9 中 (a) 图所示，在衬底 S2 上形成接合端部 21A、21B 以及固定梁部 22。具体地，利用由衬底 S2 上形成的预定抗蚀图 (未图示) 所提供的掩模，对衬底 S2 进行各向异性蚀刻直至达到预定深度，从而在衬底 S2 上形成接合端部 21A、21B 以及固定梁部 22。衬底 S2 由例如单晶硅制成。该各向异性蚀刻处理可由 DRIE 提供。

接下来，如图 9 中 (b) 图所示，在固定梁部 22 上形成驱动电极 23。具体地，在衬底 S2 上形成预定的导电膜，然后利用由该导电膜上形成的预定抗蚀图 (未图示) 所提供的掩模，对该导电膜进行蚀刻处理，从而形成驱动电极 23。

然后，如图 9 中 (c) 图所示，在固定梁部 22 中形成通孔 H2，该通孔用于形成导电插塞 25。具体地，利用由衬底 S2 上形成的预定抗蚀图 (未图示) 所提供的掩模，对衬底 S2 进行各向异性蚀刻处理，从而在衬底 S2 的固定梁

部 22 上形成通孔 H2。该各向异性蚀刻处理可由 DRIE 提供。

接下来，如图 9 中 (d) 图所示，在通孔 H2 中充填预定的导电材料以形成导电插塞 25。可以通过溅射方法或者 CVD 方法将该导电材料供应至通孔 H2 内部。在完成该步骤之后，将形成通孔 H2 时用作掩模的抗蚀图除去。

然后，如图 9 中 (e) 图所示，在固定梁部 22 和接合端部 21A 上形成端子 24。具体地，在固定梁部 22 和接合端部 21A 上形成预定的导电膜。然后，利用由该导电膜上形成的预定抗蚀图（未图示）所提供的掩模，对该导电膜进行蚀刻处理，从而形成端子 24。通过上述步骤，可以制造出包括一对接合端部 21A 和 21B、固定梁部 22、驱动电极 23、端子 24 以及导电插塞 25 的第二固定结构 20。

在制造可动结构 30 时，首先，如图 10 中 (a) 图所示，在衬底 S3 上形成凹部 H3。具体地，利用由衬底 S3 上形成的预定抗蚀图（未图示）所提供的掩模，对衬底 S3 进行各向异性蚀刻直至达到预定深度，从而在衬底 S3 上形成凹部 H3。衬底 S3 是所谓的 SOI（绝缘体硅片）衬底，其具有层状结构，该层状结构包括硅层 84、85 以及位于所述硅层之间的二氧化硅层 86。在该步骤中所使用的各向异性蚀刻处理可以是 DRIE。

然后，如图 10 中 (b) 图所示，在凹部 H3 的底部上形成导电膜 33。具体地，在凹部 H3 的底部上形成预定的导电材料。然后，利用由该导电膜上形成的预定抗蚀图（未图示）所提供的掩模进行蚀刻处理，从而形成导电膜 33。

然后，如图 10 中 (c) 图所示形成抗蚀图 87。之后，利用该抗蚀图 87 作为掩模，对硅层 84 进行各向异性蚀刻处理直至达到二氧化硅层 86，从而形成如图 10 中 (d) 图所示的凹部 H4。

接下来，除去抗蚀图 87；然后如图 10 中 (e) 图所示，在硅层 85 上形成氧化膜 88。氧化膜 88 可以通过例如硅层 85 表面上的热氧化处理而形成。

然后，如图 10 中 (f) 图所示，在氧化膜 88 上形成驱动电极 34 和端子 35。具体地，在氧化膜 88 上形成预定的导电膜。然后，利用由该导电膜上形成的预定抗蚀图（未图示）所提供的掩模，对导电膜进行蚀刻处理，从而形成驱动电极 34 以及端子 35。通过上述步骤，制造出包括一对接合端部 31A 和 31B、可动梁部 32、导电膜 33、驱动电极 34 以及端子 35 的可动结构 30。

在制造可变感应器 X1 时，将如上制造的第一固定结构 10、第二固定结构 20 以及可动结构 30 如图 11 所示接合到一起。具体地，首先在固定结构 10 的基板 11 与可动结构 30 的接合端部 31A、31B 之间进行接合，同时，在可动结构 30 的接合端部 31A、31B 和固定结构 20 的接合端部 21A、21B 之间也进行接合。可利用的接合方式的例子包括直接接合、共晶接合、聚合物粘结、利用玻璃胶粘剂、环氧粘合剂或其他粘合剂进行接合。在进行完所述步骤之后，可以得到包括第一固定结构 10、第二固定结构 20 以及可动结构 30 的可变感应器 X1。

图 12 为根据本发明第二实施例的可变感应器 X2 的剖视图。可以将该图与图 2 中的可变感应器 X1 的剖视图进行比较。可变感应器 X2 具有层状结构，层状结构包括第一固定结构 10、第二固定结构 20 以及位于两者之间的可动结构 40。可变感应器 X2 与可变感应器 X1 的不同之处在于，可变感应器 X2 包括取代了可动结构 30 的可动结构 40。

如图 12 和图 13 所示，可动结构 40 包括：一对接合端部 41A、41B；可动梁部 42；具有开口 43a 的导电膜 43；驱动电极 44；以及端子 45。接合端部 41A、41B 比第二固定结构 20 的接合端部 21A、21B 宽。可动梁部 42 跨接接合端部 41A、41B，并且比接合端部 41A、41B 薄。导电膜 43 形成于可动梁部 42 的一表面上，并且面向第一固定结构 10 的线圈 12a。导电膜 43 沿线圈 12a 的面内方向延伸并超出线圈 12a。如图 12 和图 13 所示，在线圈 12a 的面内方向上，导电膜 43 的最外缘与线圈 12a 的最外缘之间的距离 L_4 例如为 0 至 $200\mu\text{m}$ 。导电膜 43 具有开口 43a；在线圈 12a 的面内方向上，开口 43a 位于线圈 12a 的开口 12a' 内。沿线圈 12a 的面内方向，如图 13 所示，导电膜 43 的最内缘与线圈 12a 的最内缘之间的距离 L_5 例如为 0 至 $90\mu\text{m}$ 。当可动梁部 42 处于自然状态时（即未运行时），线圈 12a 和导电膜 43 之间的距离 d_3 例如为 0.2 至 $2\mu\text{m}$ 。上述的导电膜 43 的厚度例如为 1 至 $10\mu\text{m}$ 。驱动电极 44 形成于可动梁部 42 的另一表面上，并且面向第二固定结构 20 的驱动电极 23。当可动梁部 42 处于自然状态时，驱动电极 23、44 之间的距离 d_4 例如为 20 至 $60\mu\text{m}$ 。端子 45 与驱动电极 44 位于同一侧且形成在可动梁部 42 及接合端部 41A 上，并且端子 45 与驱动电极 44 电连接。端子 45 延伸通过第二固定结构 20 的接合端部 21A 的退避部 21a。上述端子 45 通过预定的布

线（未图示）电接地。接合端部 41A、41B 和可动梁部 42 由预定的绝缘材料制成。导电膜 43 例如由 Al、Cu、Au 或 Ni 制成。驱动电极 44 和端子 45 均由预定的导电材料制成。

对于上述的可变感应器 X2，当通过端子 24 以及导电插塞 25 向驱动电极 23 施加预定的电势时，在驱动电极 23、44 之间产生静电引力。该引力使得可动梁部 42 弹性变形靠近固定梁部 22，从而增大线圈 12a 与导电膜 43 之间的距离 d_3 。通过调整施加至驱动电极 23 上的电势，可以控制驱动电极 23、44 之间的静电引力，从而控制可动梁部 42 的位移量，并因此控制线圈 12a 和导电膜 43 之间的距离 d_3 。

在该可变感应器 X2 中，当通过端子 12b、12c 向通电部 12 施加电流时，该电流使得线圈 12a 周围产生磁场（第一磁场）。该第一磁场使得导电膜 43 中流动有感应电流，而该感应电流使得该导电膜 43 周围产生磁场（第二磁场）。该第二磁场的形成扰乱了第一磁场，即削弱了第一磁场。对于如线圈 12a 和导电膜 43 之间的这种电磁干扰，有下述事实：线圈 12a 和导电膜 43 之间的距离 d_3 越小，则导电膜 43 中的感应电流越大，第二磁场越大，因此线圈 12a 周围形成的净磁场越小（换句话说，距离 d_3 越大，则导电膜 43 中的感应电流越小，第二磁场越小，因此线圈 12a 周围形成的净磁场越大）。线圈 12a 周围形成的净磁场越小（即距离 d_3 越小），则端子 12b、12c 之间的电感越小；线圈 12a 周围形成的净磁场越大（即距离 d_3 越大），则端子 12b、12c 之间的电感越大。这种电感变化的变化率倾向于大于例如通过使高导磁率元件靠近/远离线圈而改变电感的感应器 X4（可变感应器 X2 的电感可以通过调整距离 d_3 来调整）。电感变化率大的可变感应器 X2 适于在大的范围内改变电感。

在该可变感应器 X2 中，如前所述，导电膜 43 沿线圈 12a 的面内方向延伸，并且超出线圈 12a。这种设置使得能够在导电膜 43 中与线圈 12a 面对的位置处适当地产生上述的感应电流。因此，这样的设置适于获得大的电感变化率。

在该可变感应器 X2 中，如前所述，在线圈 12a 的面内方向上，导电膜 43 的开口 43a 位于线圈 12a 的开口 12a' 内。这种设置适于在导电膜 43 中与线圈 12a 面对的位置处密集地产生上述的感应电流。因此，这样的设置适于

获得大的电感变化率。

在该可变感应器 X2 中，优选地，导电膜 43 的厚度应该不小于该可变感应器 X2 在其所使用频率范围中的最低频率时导电膜 43 中产生的感应电流的趋肤深度。这样的设置适于在导电膜 43 中适当地产生感应电流，并且适于获得大的电感变化率。

图 14 为根据本发明第三实施例的可变感应器 X3 的剖视图。可以将该图与图 2 中的可变感应器 X1 的剖视图进行比较。可变感应器 X3 具有层状结构，该层状结构包括第一固定结构 50、第二固定结构 20 以及位于两者之间的可动结构 60。可变感应器 X3 与可变感应器 X1 的不同之处在于，可变感应器 X3 包括取代了第一固定结构 10 和可动结构 30 的第一固定结构 50 和可动结构 60。

如图 14 和图 15 所示，第一固定结构 50 包括基板 51 和通电部 52。基板 51 由预定的绝缘材料制成。通电部 52 具有：线圈 52a，其具有开口 52a'；端子 52b、52c；以及导电插塞 52d。线圈 52a 是所谓的游丝形线圈。线圈 52a 与端子 52b 形成于基板 51 的一个表面上，并且彼此电连接。尺寸方面，线圈 52a 的导线宽度例如为 5 至 15 μm ，导线厚度例如为 1 至 10 μm ，导线与导线之间的距离例如为 5 至 15 μm ，圈数例如为 3 至 5，图 15 中所示的长度 L_6 （最外部正方形的边长）例如为 100 至 3000 μm 。上述的线圈 52a 具有开口 52a'，其与基板 51 上形成的凹部 51a 相面对。如图 15 所示，凹部 51a 的长度 L_7 例如为 10 至 200 μm 。端子 52c 形成在基板 51 的另一表面上，并且通过穿过基板 51 的导电插塞 52d 与线圈 52a 电连接。从电学角度而言，线圈 52a 位于端子 52b、52c 之间，并且与端子 52b、52c 均串联。端子 52b、52c 通过预定的布线（未图示）与预定的电路连接。上述通电部 52 由预定的导电材料制成。至少感应器 52 的线圈 52a 由 Au、Cu、Al 或 Ni 制成。

如图 14 和图 16 所示，可动结构 60 包括一对接合端部 61A 和 61B、可动梁部 62、导电膜 63、驱动电极 64、端子 65 以及凸部 66。接合端部 61A、61B 比第二固定结构 20 的接合端部 21A、21B 宽。可动梁部 62 跨接接合端部 61A、61B，并且比接合端部 61A、61B 薄。导电膜 63 形成于可动梁部 62 的一表面上，并且面向第一固定结构 50 的线圈 52a。导电膜 63 沿线圈 52a 的面内方向延伸并超出线圈 52a。如图 14 和图 16 所示，在线圈 52a 的面内

方向上，导电膜 63 的最外缘与线圈 52a 的最外缘之间的距离 L_8 例如为 0 至 $200\mu\text{m}$ 。当可动梁部 62 处于自然状态时（即未运行时），线圈 52a 和导电膜 63 之间的距离 d_5 例如为 0.2 至 $2\mu\text{m}$ 。上述的导电膜 63 的厚度例如为 1 至 $10\mu\text{m}$ 。驱动电极 64 形成于可动梁部 62 的另一表面上，并且面向驱动电极 23。当可动梁部 62 处于自然状态时，驱动电极 23、64 之间的距离 d_6 例如为 20 至 $60\mu\text{m}$ 。端子 65 与驱动电极 64 位于同一侧且形成在可动梁部 62 及接合端部 61A 上，并且端子 65 与驱动电极 64 电连接。端子 65 延伸通过第二固定结构 20 中的接合端部 21A 的退避部 21a。上述端子 65 通过预定的布线（未图示）电接地。凸部 66 位于导电膜 63 上，面向线圈 52a 的开口 52a'，并且当可动梁部 62 处于自然状态时凸部 66 的一部分位于第一固定结构 50 上的基板 51 的凹部 51a 中。凸部 66 的长度 L_9 如图 16 所示，比长度 L_7 短，例如为 8 至 $180\mu\text{m}$ 。接合端部 61A、61B 和可动梁部 62 由预定的绝缘材料制成。导电膜 63 由例如 Al、Cu、Au 或 Ni 制成。驱动电极 64 和端子 65 均由预定的导电材料制成。凸部 66 由导电材料或者介电材料制成。

对于上述的可变感应器 X3，当通过端子 24 以及导电插塞 25 向驱动电极 23 施加预定的电势时，在驱动电极 23、64 之间产生静电引力。该引力使得可动梁部 62 弹性变形靠近固定梁部 22，从而增大线圈 52a 与导电膜 63 之间的距离 d_5 。通过调整施加至驱动电极 23 上的电势，可以控制驱动电极 23、64 之间的静电引力，从而控制可动梁部 62 的位移量，并因此控制线圈 52a 和导电膜 63 之间的距离 d_5 。

在该可变感应器 X3 中，当通过端子 52b、52c 向通电部 52 施加电流时，该电流使得线圈 52a 周围产生磁场（第一磁场）。该第一磁场使得导电膜 63 中流动有感应电流，而该感应电流使得该导电膜 63 周围产生磁场（第二磁场）。该第二磁场的形成扰乱了第一磁场，即削弱了第一磁场。对于如线圈 52a 和导电膜 63 之间的这种电磁干扰，有下述事实：线圈 52a 和导电膜 63 之间的距离 d_5 越小，则导电膜 63 中的感应电流越大，第二磁场越大，因此线圈 52a 周围形成的净磁场越小（换句话说，距离 d_5 越大，则导电膜 63 中的感应电流越小，第二磁场越小，因此线圈 52a 周围形成的净磁场越大）。线圈 52a 周围形成的净磁场越小（即距离 d_5 越小），则端子 52b、52c 之间的电感越小；线圈 52a 周围形成的净磁场越大（即距离 d_5 越大），则端子

52b、52c 之间的电感越大。这种电感变化的变化率倾向于比例如通过使高导磁率元件靠近/远离线圈而改变电感的感应器 X4 要大（可变感应器 X3 的电感可以通过调整距离 d_5 来调整）。电感变化率大的可变感应器 X3 适于在大的范围内改变电感。

在该可变感应器 X3 中，如前所述，导电膜 63 沿线圈 52a 的面内方向延伸，并且超出线圈 52a。这种设置使得能够在导电膜 63 中与线圈 52a 面对的位置处适当地产生上述的感应电流。因此，这样的设置适于获得大的电感变化率。

在该可变感应器 X3 中，由导电材料或者介电材料制成的凸部 66 设置在导电膜 63 上线圈 52a 所在的这侧。通过选择凸部的形状和材料，可以调整电感变化率。

在该可变感应器 X3 中，优选地，导电膜 63 的厚度应该不小于该可变感应器 X3 在其所使用频率范围中的最低频率时导电膜 63 中产生的感应电流的趋肤深度。这样的设置适于在导电膜 63 中适当地产生感应电流，并且适于获得大的电感变化率。

<实例 1>

可变感应器的构造：

根据该实例的该可变感应器是具有如下构成的可变感应器 X1：线圈 12a 由 Cu 制造，导线宽度为 $10\mu\text{m}$ ，导线厚度为 $5\mu\text{m}$ ，导线与导线的距离为 $10\mu\text{m}$ ，圈数为 $3+(3/4)$ 。图 3 中所示的长度 L_1 为 $240\mu\text{m}$ ，图 3 中所示的长度 L_2 为 $100\mu\text{m}$ 。导电膜 33 由 Al 制成，厚度为 $5\mu\text{m}$ ，并且形成为边长为 $2500\mu\text{m}$ 的正方形。线圈 12a 面向导电膜 33 的中心。当可动梁部 32 处于自然状态时（未运行时），线圈 12a 与导电膜 33 之间的距离 d_1 为 $1\mu\text{m}$ 。

电感：

根据该实例的可变感应器经受如下测量：具体地，向线圈 12a 施加预定频率（1.0GHz、1.8GHz、3.2GHz、5.6GHz 和 10GHz）的交变电流，改变距离 d_1 以观察电感 $L_s[\text{nH}]$ 的变化。结果如图 17 中曲线图所示。此外，图 18 是示出电感 L_s 的变化率 $\Delta L_s[\%]$ 的曲线图（变化率 $\Delta L_s[\%]$ 为当距离最小时电感变化量相对于电感的百分比）。在图 17 中，曲线图的水平轴线代表距离 d_1 ，而垂直轴线代表电感 L_s （后面描述的图 19 和图 21 也是如此）。另外，

在图 17 中，曲线随 1.0GHz、1.8GHz、3.2GHz、5.6GHz 和 10GHz 的频率变化，分别利用符号○、×、△、□和●表示（后面描述的图 19 和图 21 也是如此）。另一方面，图 18 中的图表使用水平轴线代表距离 d_1 ，而使用垂直轴线代表电感变化率 ΔL_s （后面描述的图 20 和图 22 也是如此）。

<实例 2>

可变感应器的构造：

根据该实例的可变感应器与根据实例 1 的可变感应器的不同之处在于，导电膜 33 厚度为 $1\mu\text{m}$ 而不是 $5\mu\text{m}$ 。除此之外，实例 2 中的可变感应器与实例 1 的可变感应器 X1 相同。

电感：

根据该实例的可变感应器经受如下测量：具体地，向线圈 12a 施加预定频率（1.0GHz，1.8GHz，3.2GHz，5.6GHz，10GHz）的交变电流，改变距离 d_1 以观察电感 $L_s[\text{nH}]$ 的变化。结果如图 19 中的曲线图所示。此外，图 20 是示出电感 L_s 的变化率 $\Delta L_s[\%]$ 的曲线图。

<实例 3>

可变感应器的构造：

根据该实例的可变感应器与根据实例 1 的可变感应器的不同之处在于，导电膜 33 厚度为 $0.2\mu\text{m}$ 而不是 $5\mu\text{m}$ 。除此之外，实例 3 中的可变感应器与实例 1 的可变感应器 X1 相同。

电感：

根据该实例的可变感应器经受如下测量：具体地，向线圈 12a 施加预定频率（1.0GHz，1.8GHz，3.2GHz，5.6GHz，10GHz）的交变电流，改变距离 d_1 以观察电感 $L_s[\text{nH}]$ 的变化。结果如图 21 中的曲线图所示。此外，图 22 是示出电感 L_s 的变化率 $\Delta L_s[\%]$ 的曲线图。

<实例 4>

可变感应器的构造：

根据该实例的该可变感应器是具有如下构成的可变感应器 X1：线圈 12a 由 Cu 制造，导线宽度为 $10\mu\text{m}$ ，导线厚度为 $5\mu\text{m}$ ，导线与导线的距离为 $10\mu\text{m}$ ，圈数为 $3+(3/4)$ 。图 3 中所示的长度 L_1 为 $240\mu\text{m}$ ，图 3 中所示的长度 L_2 为 $100\mu\text{m}$ 。导电膜 33 由 Cu 制成，厚度为 $0.2\mu\text{m}$ ，并且形成为边长为 $2500\mu\text{m}$

的正方形。线圈 12a 面向导电膜 33 的中心。当可动梁部 32 处于自然状态时（未运行时），线圈 12a 与导电膜 33 之间的距离 d_1 为 $0.2\mu\text{m}$ 。

电感：

根据该实例的可变感应器经受如下测量：具体地，向线圈 12a 施加预定频率（1.0GHz、1.6GHz、2.5GHz、4.0GHz、6.3GHz 以及 10GHz）的交变电流，改变距离 d_1 以观察电感 L_s [nH] 的变化。图 23 示出了距离 d_1 为 $50\mu\text{m}$ 时的电感 L_s 相对于距离 d_1 为 $0.2\mu\text{m}$ 时的电感 L_s 的电感变化率 ΔL_s [%] 的曲线图。在图 23 中的曲线图中，水平轴线代表导电膜厚度 [μm]，而垂直轴线代表变化率 ΔL_s 。另外，在图 23 中，曲线以 1.0GHz、1.6GHz、2.5GHz、4.0GHz、6.3GHz 以及 10GHz 的频率变化，分别利用符号 \circ 、 \times 、 \triangle 、 \blacklozenge 、 \square 和 \bullet 表示。在该实例中，水平轴线上的绘图间距（plotting interval）为 0.2。此外，图 23 中的曲线图以虚线（每条虚线均表示水平轴线上的一个点）示出了在各个频率（1.0GHz、1.6GHz、2.5GHz、4.0GHz、6.3GHz 以及 10GHz）下 Cu 膜（导电膜 33）中产生的感应电流的趋肤深度（理论计算值）。最左侧的虚线对应 1.0GHz，左起第二条虚线对应 1.6GHz，左起第三条虚线对应 2.5GHz，左起第四条虚线对应 4.0GHz，右起第二条虚线对应 6.3GHz，而最右侧虚线对应 10GHz。

<实例 5 至 13>

可变感应器的构成：

根据实例 5 至 13 的可变感应器与根据实例 4 的可变感应器 X1 的不同之处在于，导电膜 33 的厚度由 $5\mu\text{m}$ 变成 $0.4\mu\text{m}$ （实例 5）、 $0.6\mu\text{m}$ （实例 6）、 $0.8\mu\text{m}$ （实例 7）、 $1.0\mu\text{m}$ （实例 8）、 $1.2\mu\text{m}$ （实例 9）、 $1.4\mu\text{m}$ （实例 10）、 $1.6\mu\text{m}$ （实例 11）、 $1.8\mu\text{m}$ （实例 12）、 $2.0\mu\text{m}$ （实例 13）。除此之外，所述可变感应器与实例 4 中的可变感应器 X1 相同。

电感：

根据实例 5 至 13 的可变感应器经受如下测量：具体地，向线圈 12a 施加预定频率（1.0GHz，1.6GHz，2.5GHz，4.0GHz，6.3GHz 和 10GHz）的交变电流，改变距离 d_1 以观察电感 L_s [nH] 的变化。图 23 示出了距离 d_1 为 $50\mu\text{m}$ 时的电感 L_s 相对于距离 d_1 为 $0.2\mu\text{m}$ 时的电感 L_s 的电感变化率 ΔL_s [%] 的曲线图。水平轴线上的绘图间距在实例 5 中例如为 0.4，而在实例 10 中例如为

1.4。

<实例 14>

可变感应器的构造:

根据该实例的可变感应器是具有如下构成的可变感应器 X2: 线圈 12a 由 Cu 制造, 导线宽度为 $10\mu\text{m}$, 导线厚度为 $5\mu\text{m}$, 导线与导线的距离为 $10\mu\text{m}$, 圈数为 $3+(3/4)$ 。长度 L_1 (如与第一实施例相关的图 3 中所示) 为 $240\mu\text{m}$, 长度 L_2 (如与第一实施例相关的图 3 中所示) 为 $100\mu\text{m}$ 。导电膜 43 由 Al 制成, 厚度为 $0.8\mu\text{m}$, 并且形成为边长为 $2500\mu\text{m}$ 的正方形。线圈 12a 面向导电膜 43 的中心。如图 12 和图 13 中所示的、导电膜 43 的最外缘与线圈 12a 的最外缘之间沿线圈 12a 的面内方向的距离 L_4 为 $1130\mu\text{m}$ 。如图 13 所示的、导电膜 43 的最内缘与所述线圈 12a 的最内缘之间沿线圈 12a 的面内方向的距离为 $10\mu\text{m}$ 。当可动梁部 42 处于自然状态时 (未运行时), 线圈 12a 与导电膜 43 之间的距离 d_3 为 $1\mu\text{m}$ 。

电感:

根据该实例的可变感应器经受如下测量: 具体地, 向线圈 12a 施加预定频率 (1.0GHz , 2.2GHz , 4.6GHz 和 10GHz) 的交变电流, 改变距离 d_3 以观察电感 $L_s[\text{nH}]$ 的变化。图 24 为示出电感 L_s 的变化率 $\Delta L_s[\%]$ 的曲线图。在图 24 中, 曲线图的水平轴线代表距离 d_3 , 而垂直轴线代表变化率 ΔL_s (后面描述的图 25 至图 32 也是如此)。另外, 在图 24 中, 曲线以 1.0GHz 、 2.2GHz 、 4.6GHz 和 10GHz 的频率变化, 分别利用符号 \bullet 、 \square 、 \triangle 和 \times 表示 (后面描述的图 25 至图 29 也是如此)。

<实例 15>

可变感应器的构造:

根据该实例的可变感应器是具有如下构成的可变感应器 X2: 线圈 12a 由 Cu 制造, 导线宽度为 $10\mu\text{m}$, 导线厚度为 $5\mu\text{m}$, 导线与导线的距离为 $10\mu\text{m}$, 圈数为 $3+(3/4)$ 。长度 L_1 (如与第一实施例相关的图 3 中所示) 为 $240\mu\text{m}$ 。长度 L_2 (如与第一实施例相关的图 3 中所示) 为 $100\mu\text{m}$ 。导电膜 43 由 Al 制成, 厚度为 $5\mu\text{m}$, 并且形成为边长为 $260\mu\text{m}$ 的正方形。线圈 12a 面向导电膜 43 的中心。如图 12 和图 13 中所示的、导电膜 43 的最外缘与线圈 12a 的最外缘之间沿线圈 12a 的面内方向的距离 L_4 为 $10\mu\text{m}$ 。如图 13 所示的、导电

膜 43 的最内缘与所述线圈 12a 的最内缘之间沿线圈 12a 的面内方向的距离 L_5 为 $10\mu\text{m}$ 。当可动梁部 42 处于自然状态时（未运行时），线圈 12a 与导电膜 43 之间的距离 d_3 为 $1\mu\text{m}$ 。

电感：

根据该实例的可变感应器经受如下测量：具体地，向线圈 12a 施加预定频率（1.0GHz, 2.2GHz, 4.6GHz, 10GHz）的交变电流，改变距离 d_3 以观察电感 L_s [nH] 的变化。图 25 为示出电感 L_s 的变化率 ΔL_s [%] 的曲线图。

<实例 16>

可变感应器的构造：

根据该实例可变感应器与根据实例 15 的可变感应器 X2 的不同之处在于，图 12 和图 13 中所示的距离 L_4 从 $10\mu\text{m}$ 变为 $0\mu\text{m}$ 。除此之外，实例 16 中的可变感应器与实例 15 中的可变感应器 X2 相同。

电感：

根据该实例的可变感应器经受如下测量：具体地，向线圈 12a 施加预定频率（1.0GHz, 2.2GHz, 4.6GHz 和 10GHz）的交变电流，改变距离 d_3 以观察电感 L_s [nH] 的变化。图 26 为示出电感 L_s 的变化率 ΔL_s [%] 的曲线图。

<实例 17>

可变感应器的构造：

根据该实例可变感应器与基于可变感应器 X2 的实例 15 的可变感应器的不同之处在于，图 12 和图 13 中所示的距离 L_4 从 $10\mu\text{m}$ 变为 $-10\mu\text{m}$ 。另外，在该可变感应器中，线圈的部分最外缘并不面向导电膜。

电感：

根据该实例的可变感应器经受如下测量：具体地，向线圈 12a 施加预定频率（1.0GHz, 2.2GHz, 4.6GHz 和 10GHz）的交变电流，改变距离 d_3 以观察电感 L_s [nH] 的变化。图 27 为示出电感 L_s 的变化率 ΔL_s [%] 的曲线图。

<实例 18>

可变感应器的构造：

根据该实例可变感应器与根据实例 15 的可变感应器 X2 的不同之处仅在于，图 13 中所示的距离 L_5 从 $10\mu\text{m}$ 变为 $0\mu\text{m}$ 。

电感：

根据该实例的可变感应器经受如下测量：具体地，向线圈 12a 施加预定频率（1.0GHz，2.2GHz，4.6GHz 和 10GHz）的交变电流，改变距离 d_3 以观察电感 L_s [nH] 的变化。图 28 为示出电感 L_s 的变化率 ΔL_s [%] 的曲线图。

<实例 19>

可变感应器的构造：

根据该实例可变感应器与基于可变感应器 X2 的实例 15 的可变感应器的不同之处在于，图 13 中所示的距离 L_5 从 $10\mu\text{m}$ 变为 $-10\mu\text{m}$ 。另外，在该可变感应器中，线圈的最内缘部分并不面向导电膜。

电感：

根据该实例的可变感应器经受如下测量：具体地，向线圈 12a 施加预定频率（1.0GHz，2.2GHz，4.6GHz 和 10GHz）的交变电流，改变距离 d_3 以观察电感 L_s [nH] 的变化。图 29 为示出电感 L_s 的变化率 ΔL_s [%] 的曲线图。

<评估>

由图 17、图 19 以及图 21 中的曲线图（实例 1 至实例 3）可以看到，很明显电感 L_s 随着距离 d_3 变大而变大。由图 18、图 20 以及图 22 中的曲线图（实例 1 至实例 3）可以看到，很明显电感的变化率 ΔL_s 随着流经线圈 12a 的交变电流的频率变大而变大。例如，当频率为 10GHz 时，变化率 ΔL_s 可以高达 400%。另外，图 20 的曲线图（实例 2）与图 22 的曲线图（实例 3）之间的比较表明，实例 2 中可变感应器的导电膜 33 厚度比实例 3 中可变感应器的导电膜 33 厚度大，实例 2 中可变感应器倾向于具有较大的变化率 ΔL_s ，尤其是在低频区。这可能是因为在实例 2 中的导电膜 33（Al 膜）具有足够的厚度——与低频范围下感应电流的趋肤深度等深或者更深；而实例 3 中的导电膜 33（Al 膜）没有足够的厚度。

如图 23 的曲线图所示，如果导电膜 33 的厚度不薄于各频率下的趋肤深度，则电感的变化率 ΔL_s 基本饱和。趋肤深度随着频率的增大而变大。因此，在根据本发明的可变感应器中，面向线圈的导电膜的厚度优选不薄于该感应器所用频率范围内的最低频率所对应的趋肤深度，从而可以在导电膜中适当地产生感应电流，用于获得大的电感变化率或者大的电感。

图 18 中的曲线图（实例 1）和图 24 中的曲线图（实例 14）的对比表明，根据实例 14 的、导电膜 43 具有开口 43a 的可变感应器倾向于比根据实例 1

的、导电膜 33 不具有开口的可变感应器具有更大的变化率 ΔL_s ，尤其是在高频区。这可能是因为：与实例 1 的导电膜 33 相比，在实例 14 的导电膜 43 中与线圈 12a 相对的位置处能更密集且有效地产生感应电流。

图 25 至图 27 中的曲线图（实例 15、16 和 17）之间的比较表明，根据实例 15 和 16 的、导电膜 43 沿线圈 12a 的面内方向延伸超出线圈 12a 的可变感应器表现出比根据实例 17 的、导电膜没有延伸超出线圈的可变感应器更大的电感变化率 ΔL_s ，尤其是在低频区。

图 25、图 28 和图 29 中的曲线图（实例 15、18 和 19）之间的比较表明，根据实例 15 和 18 的、导电膜 43 具有沿线圈 12a 的面内方向位于线圈 12a 的开口 12a' 内的开口 43a 的可变感应器表现出比根据实例 19 的、导电膜开口未位于线圈开口内的可变感应器更大的电感变化率 ΔL_s ，尤其是在高频区。

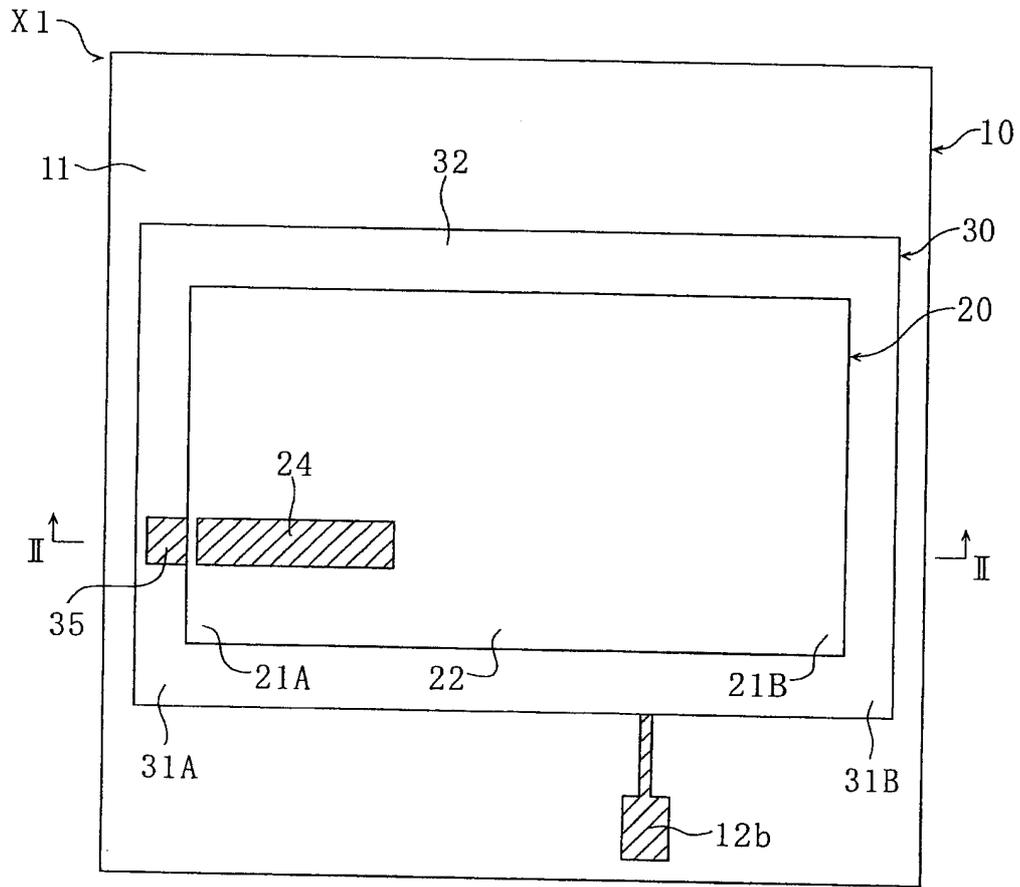


图 1

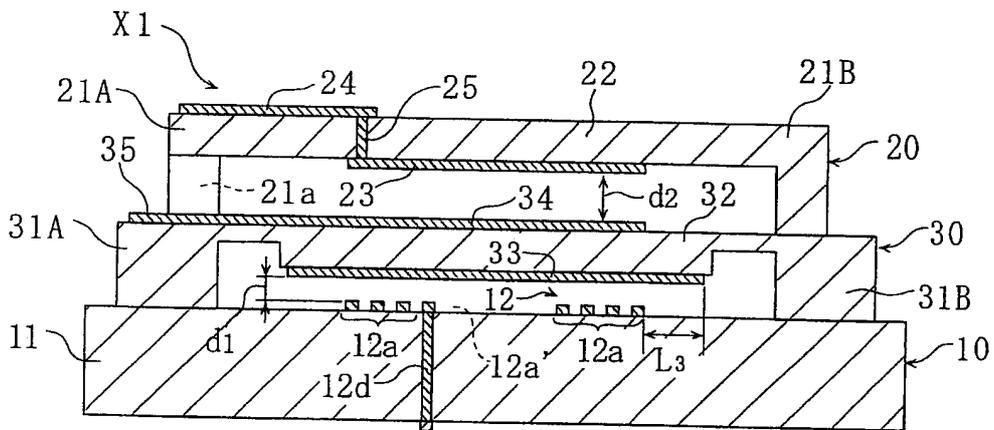


图 2

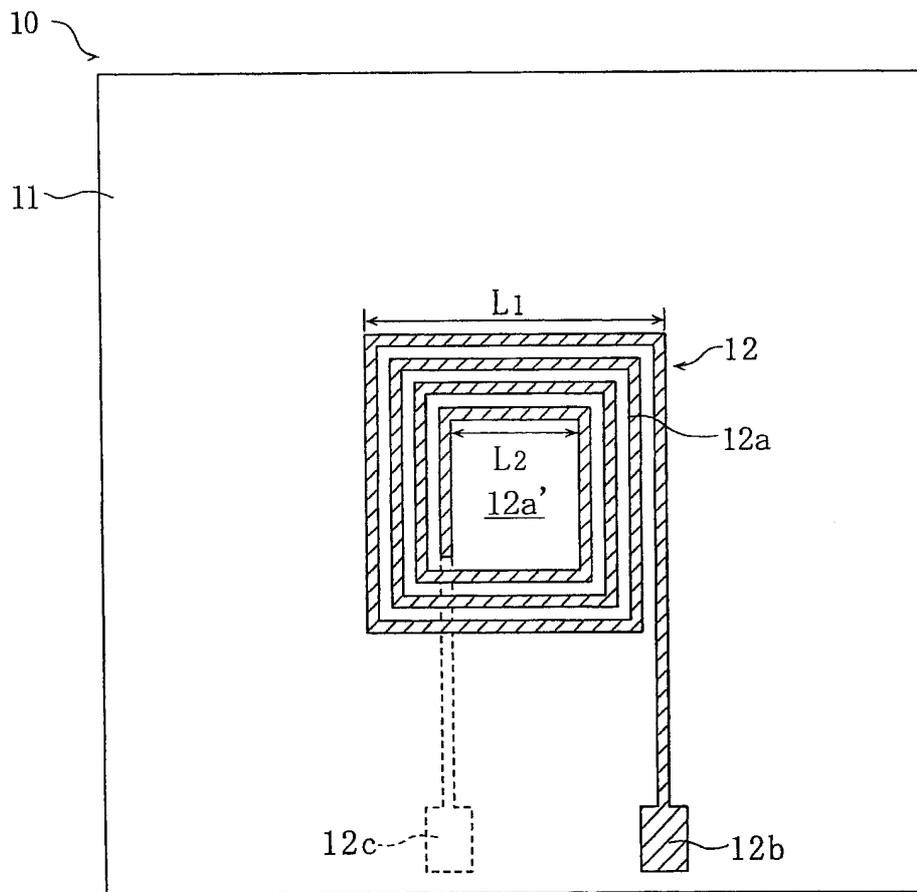


图 3

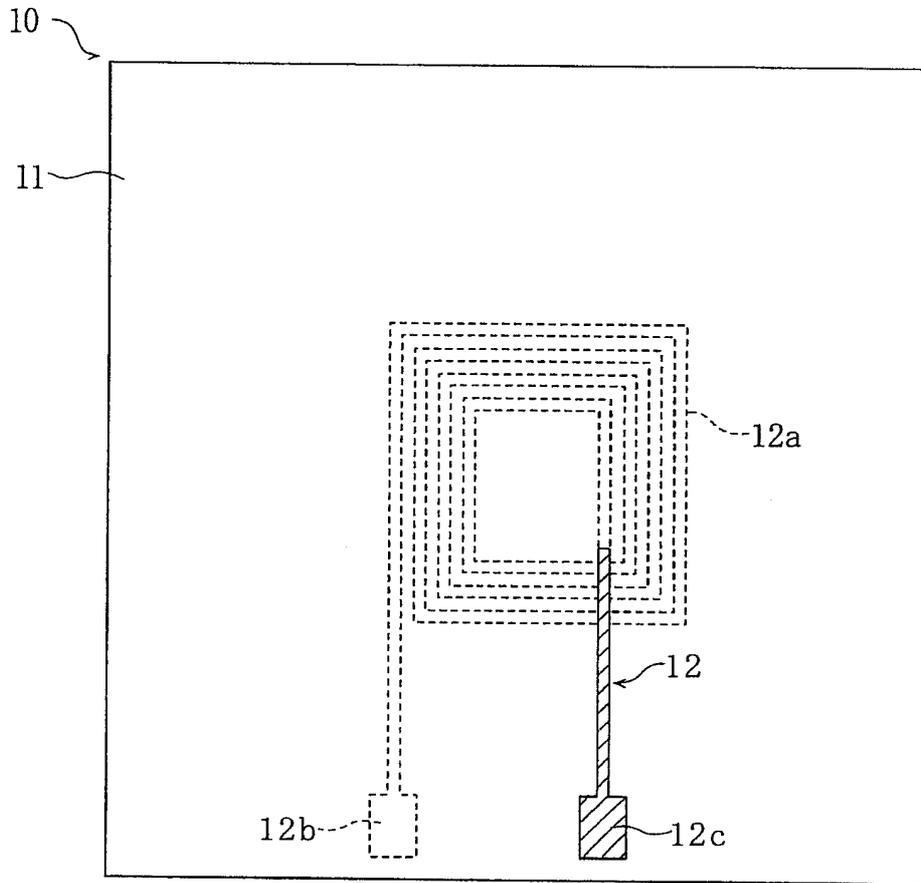


图 4

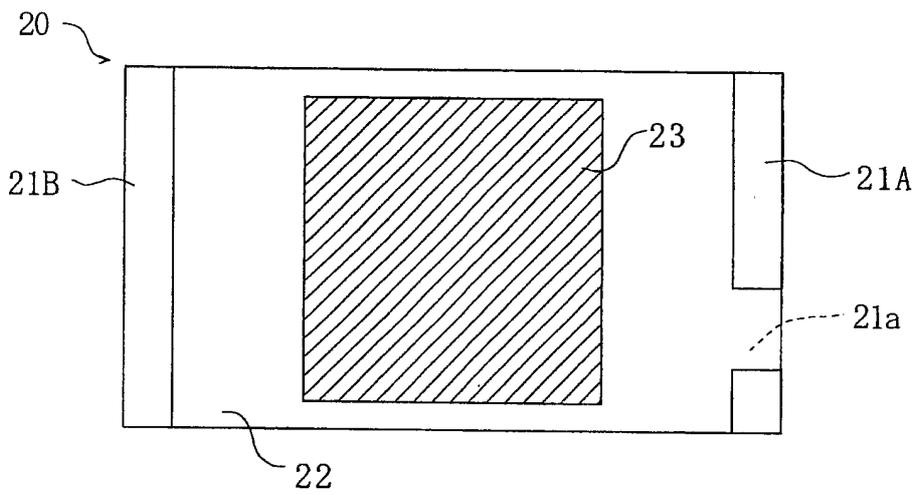


图 5

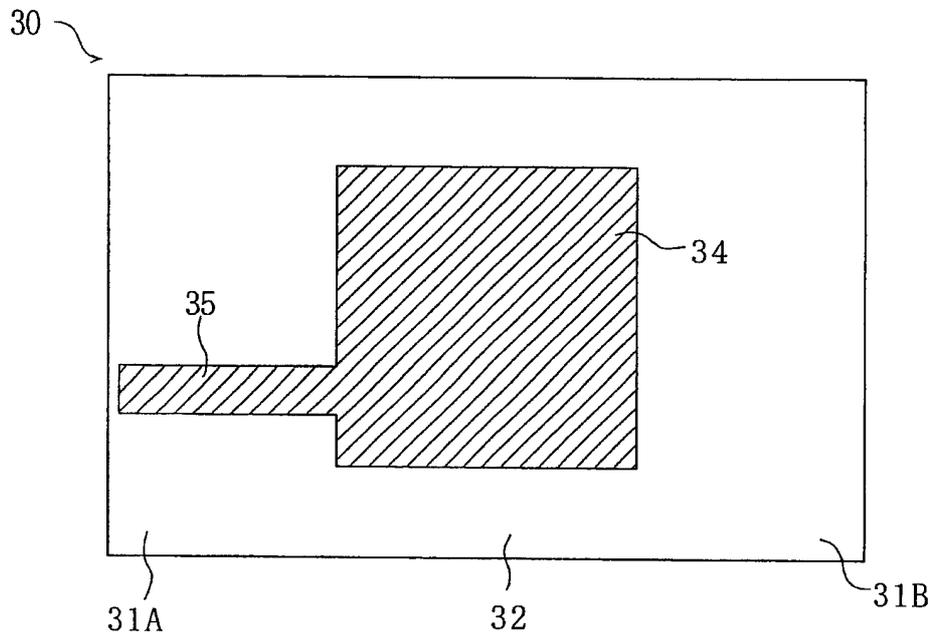


图 6

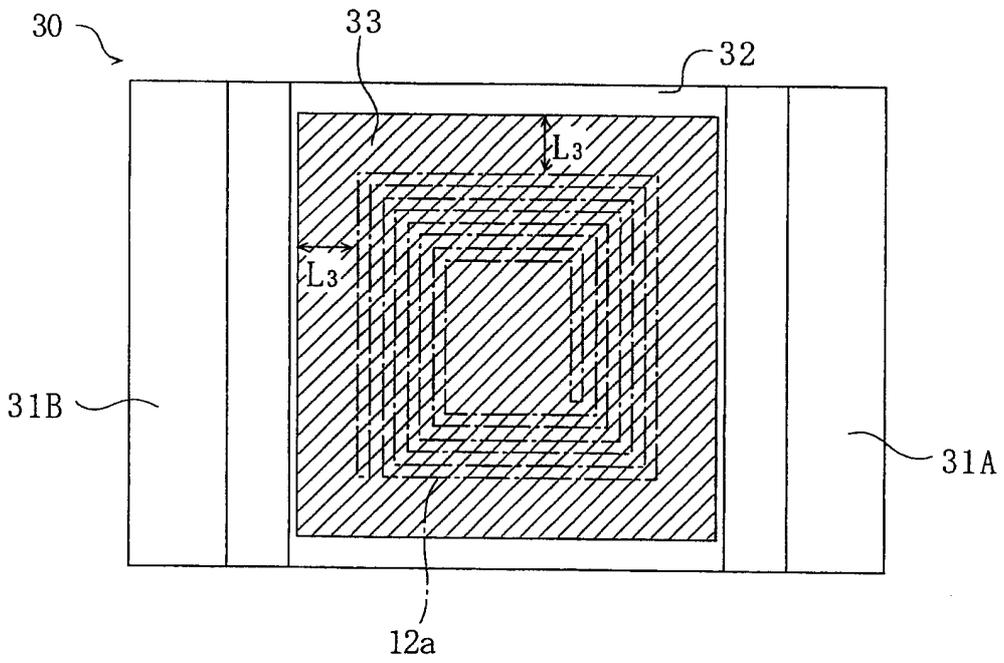


图 7

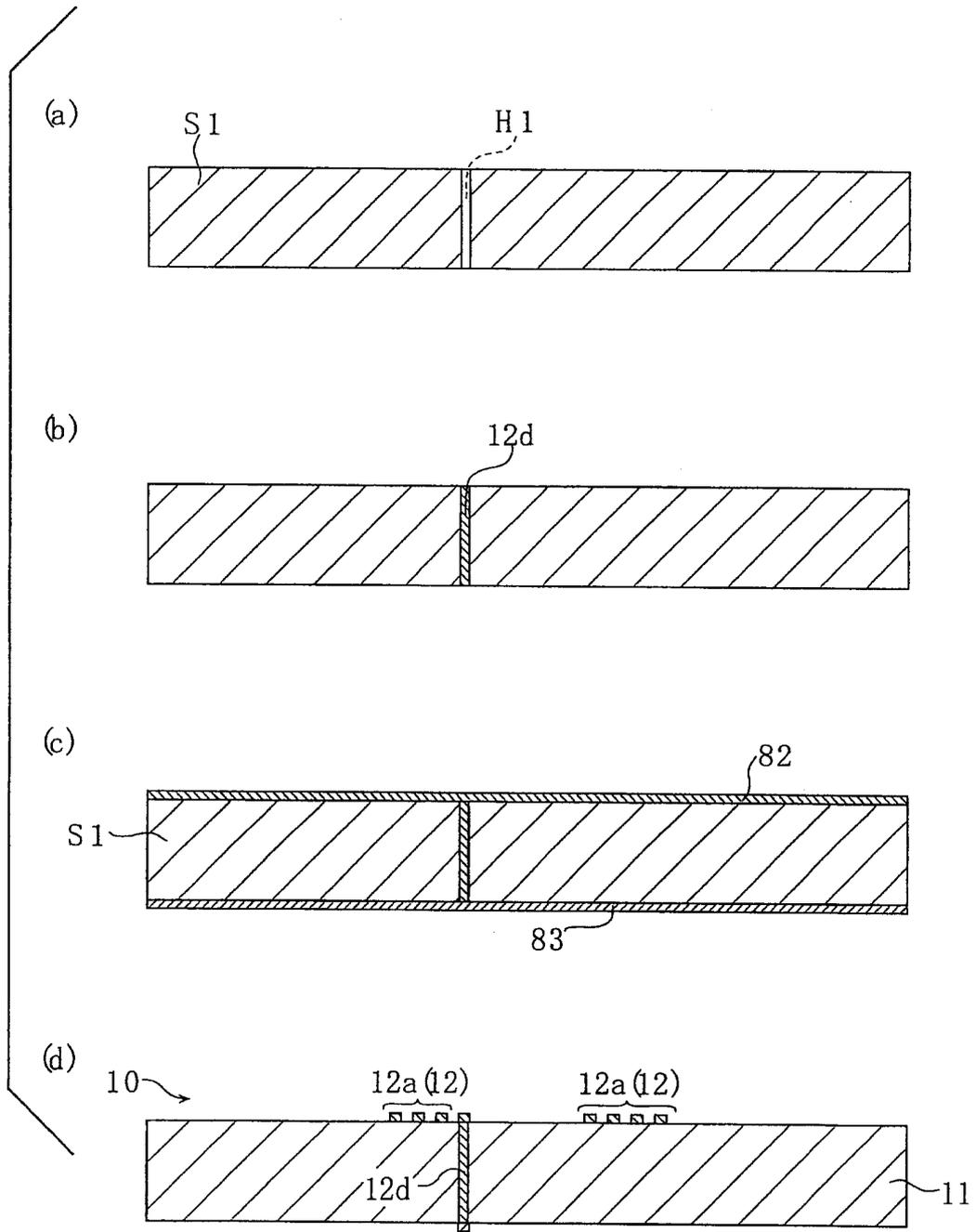


图 8

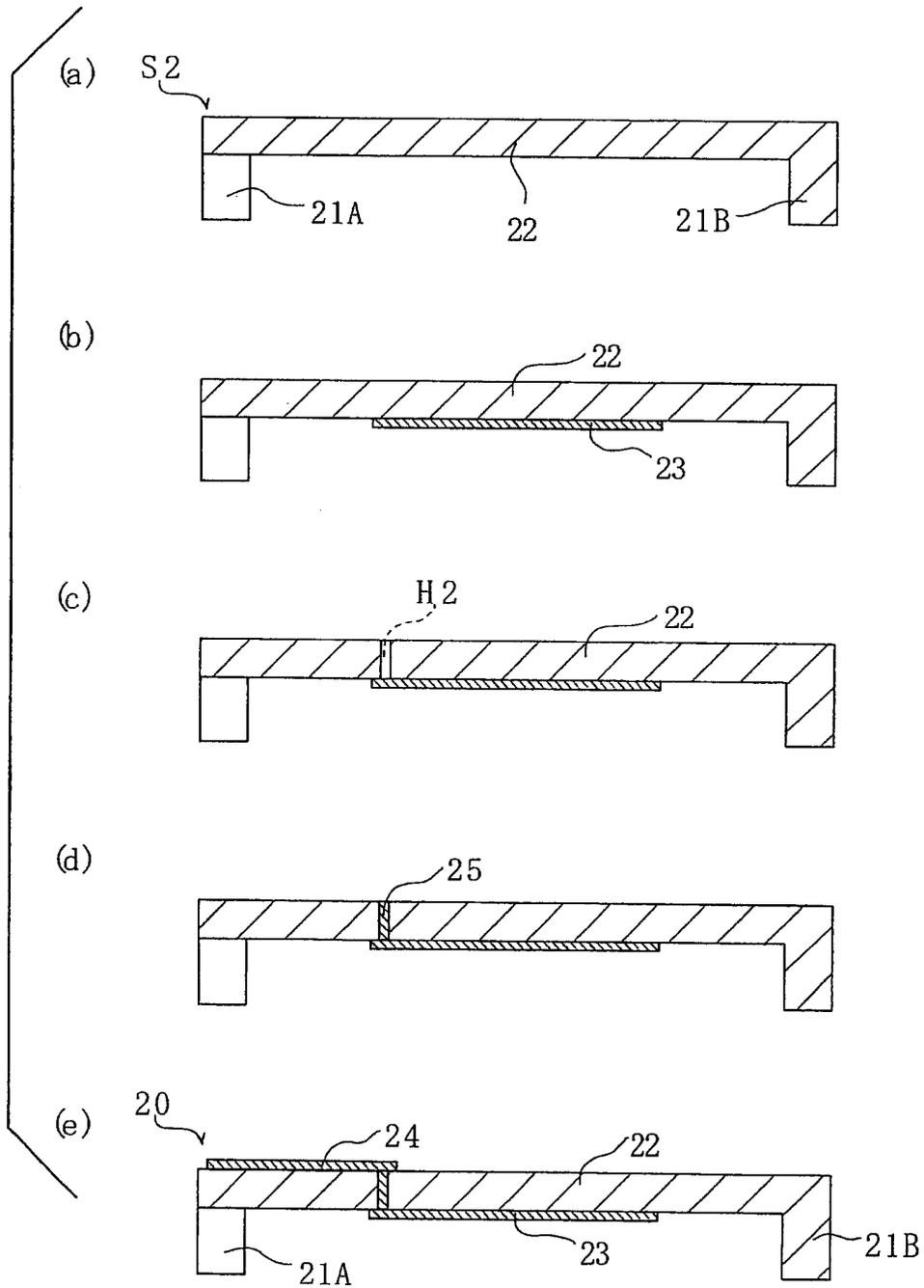


图 9

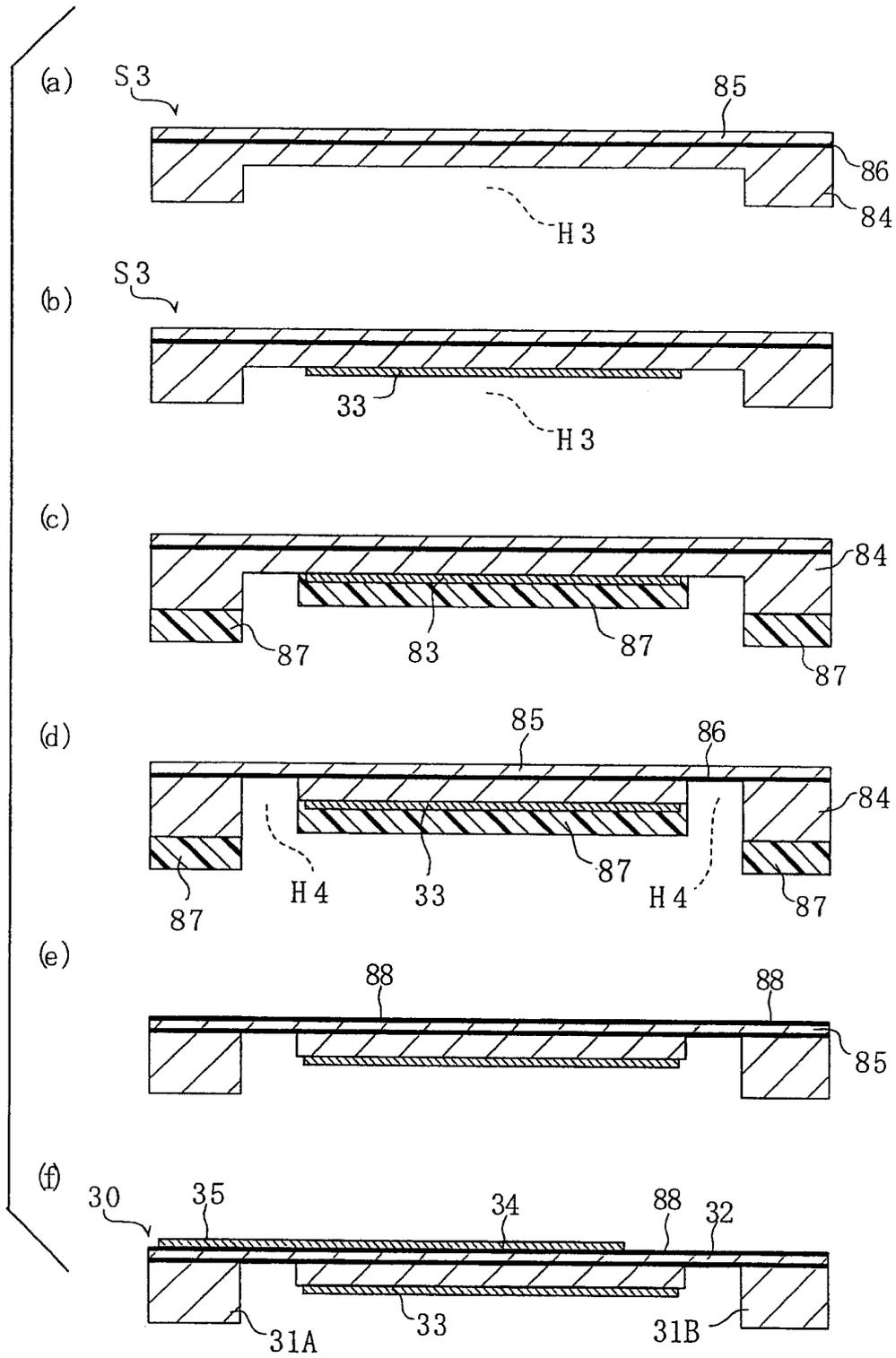


图 10

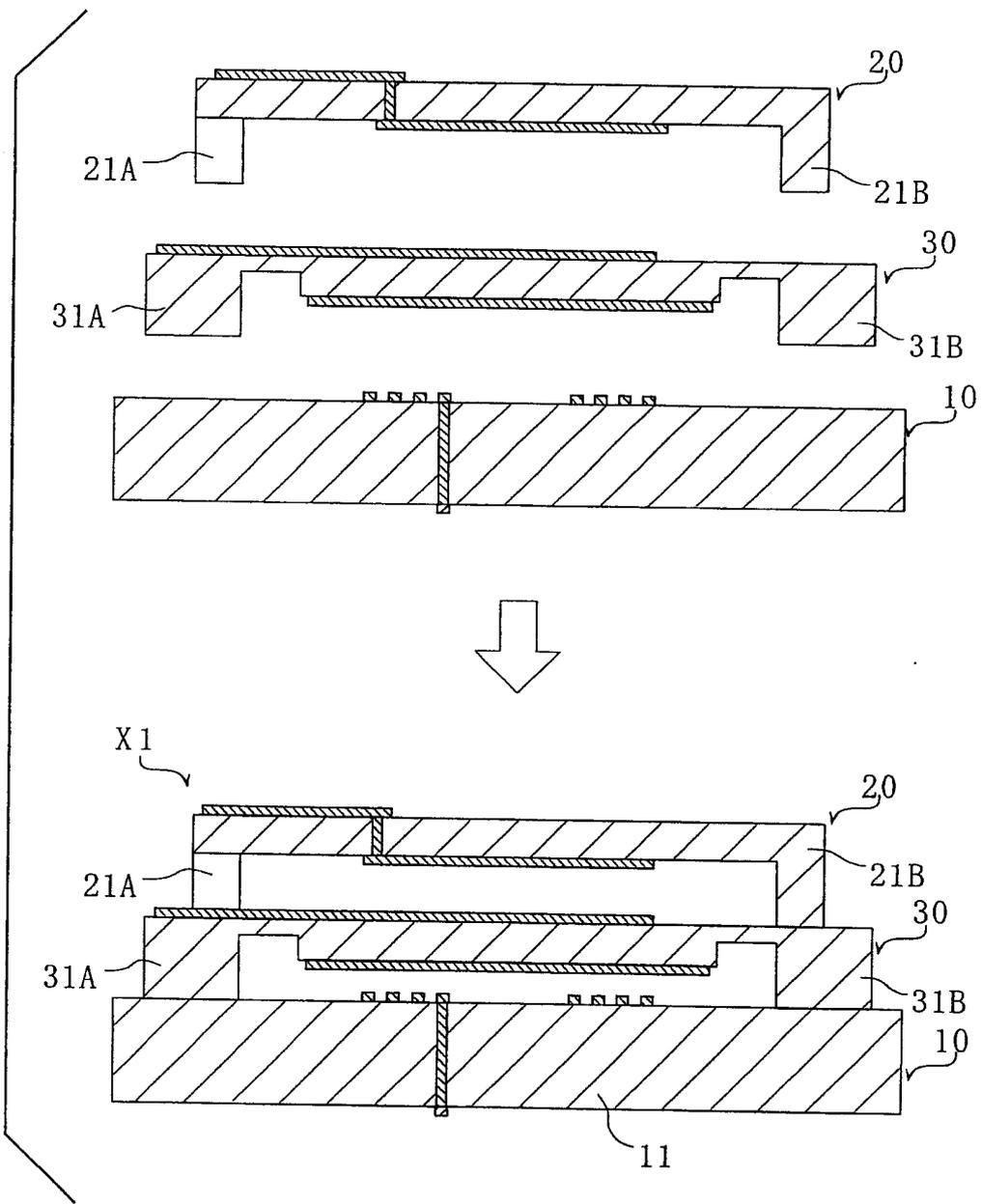


图 11

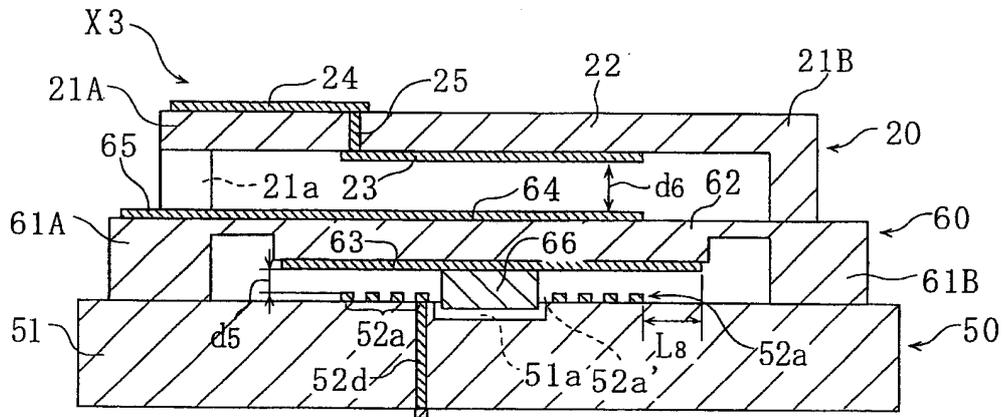


图 14

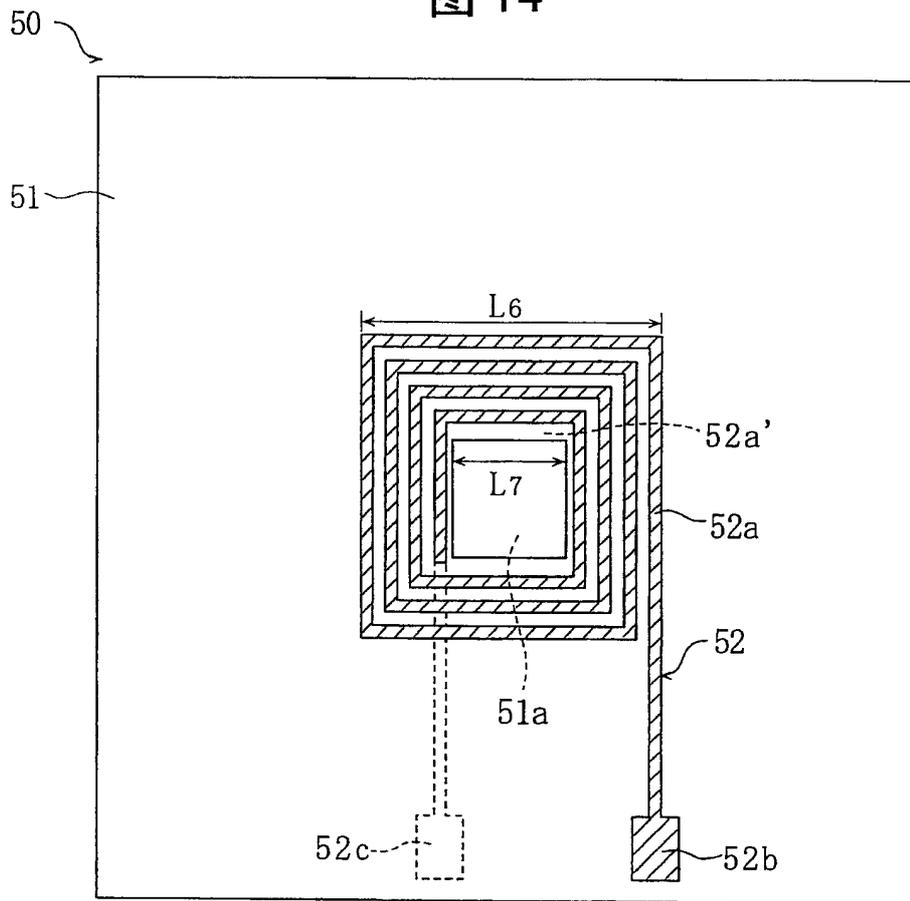


图 15

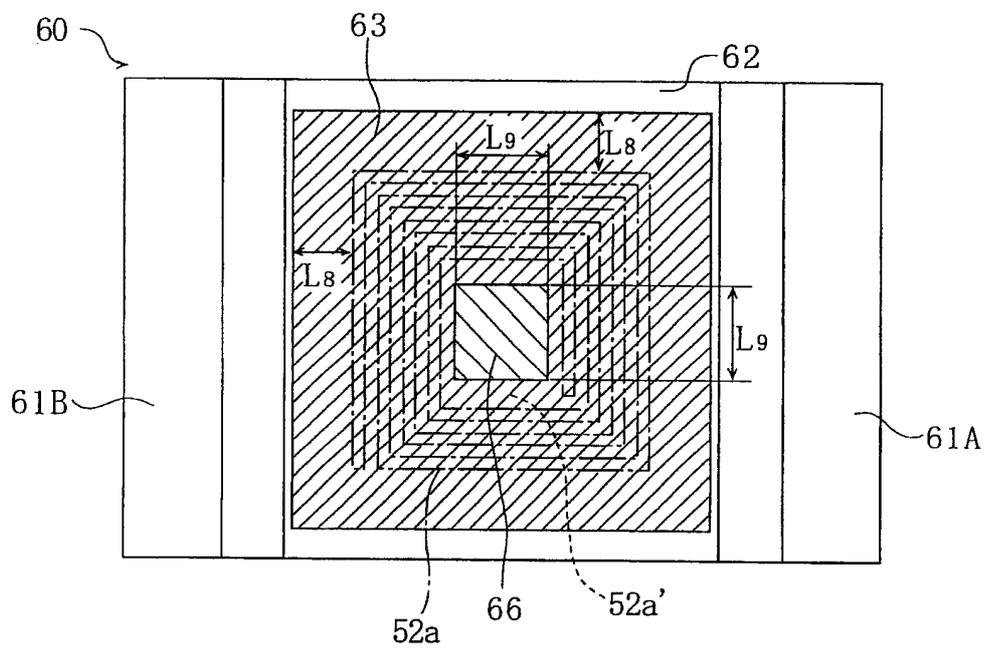


图 16

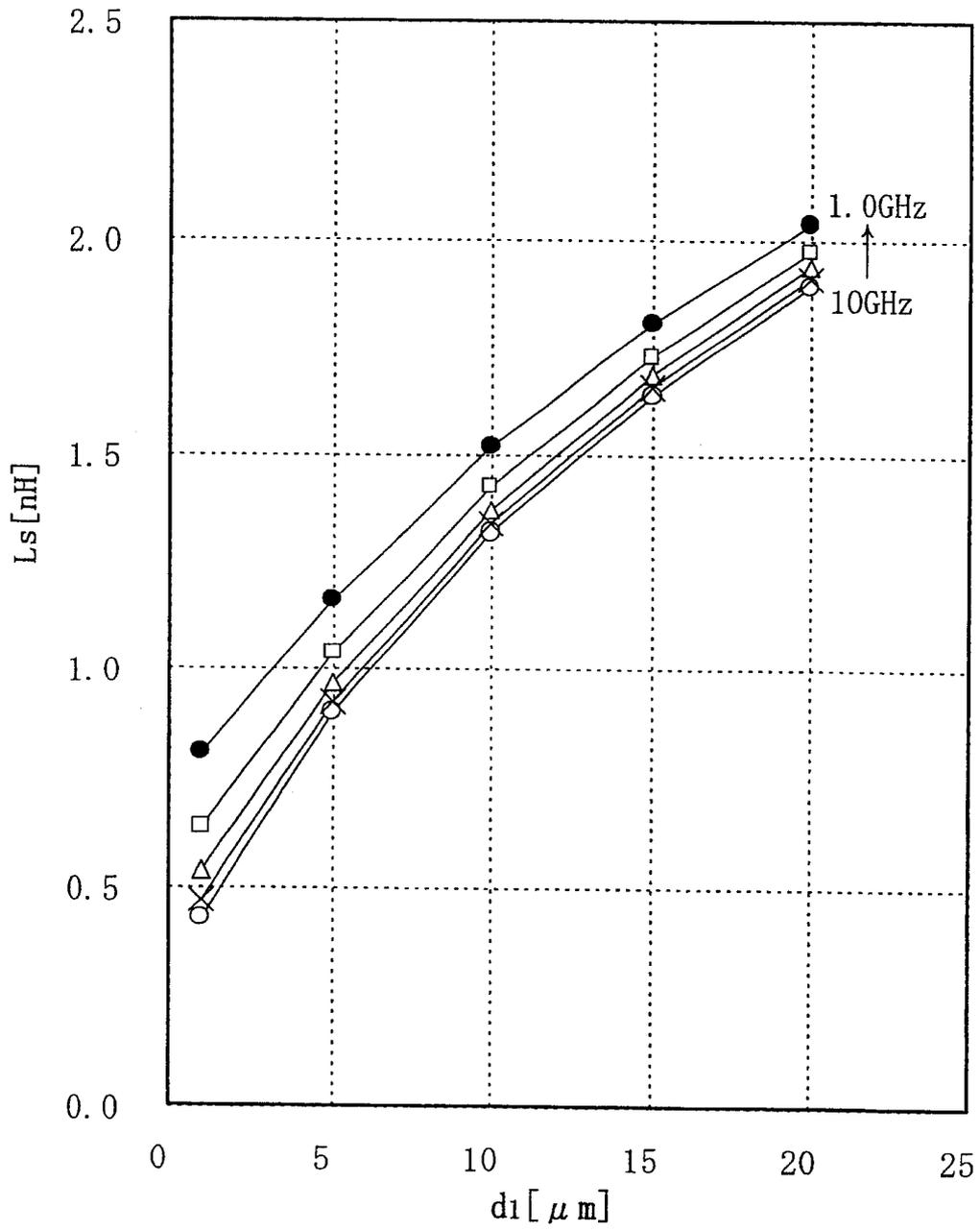


图 17

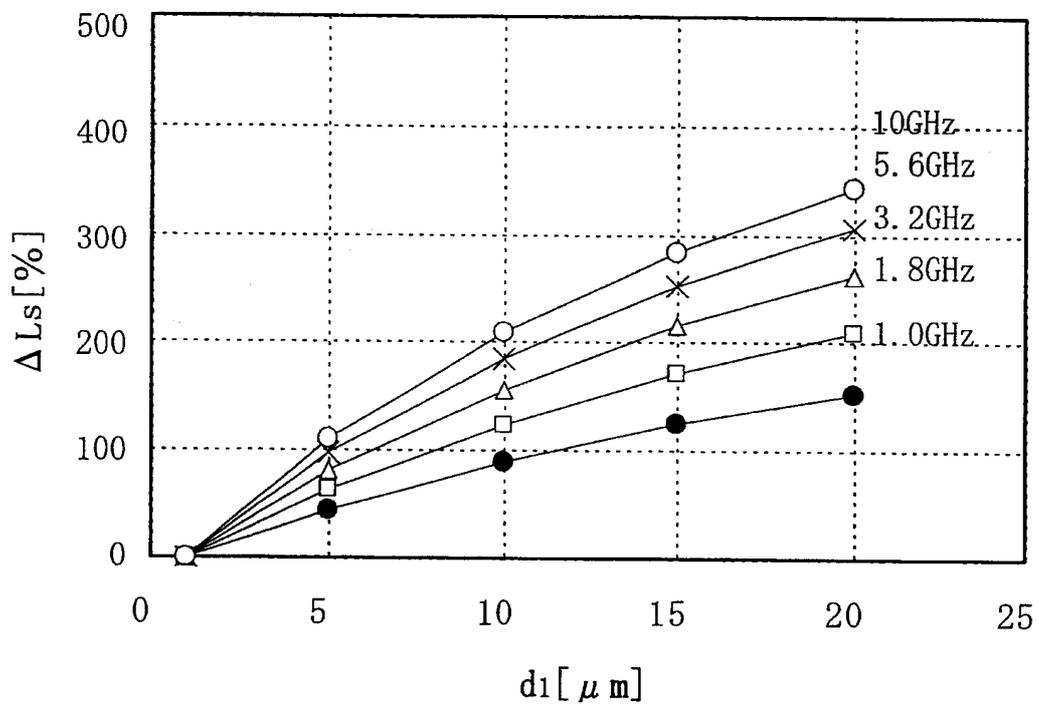


图 18

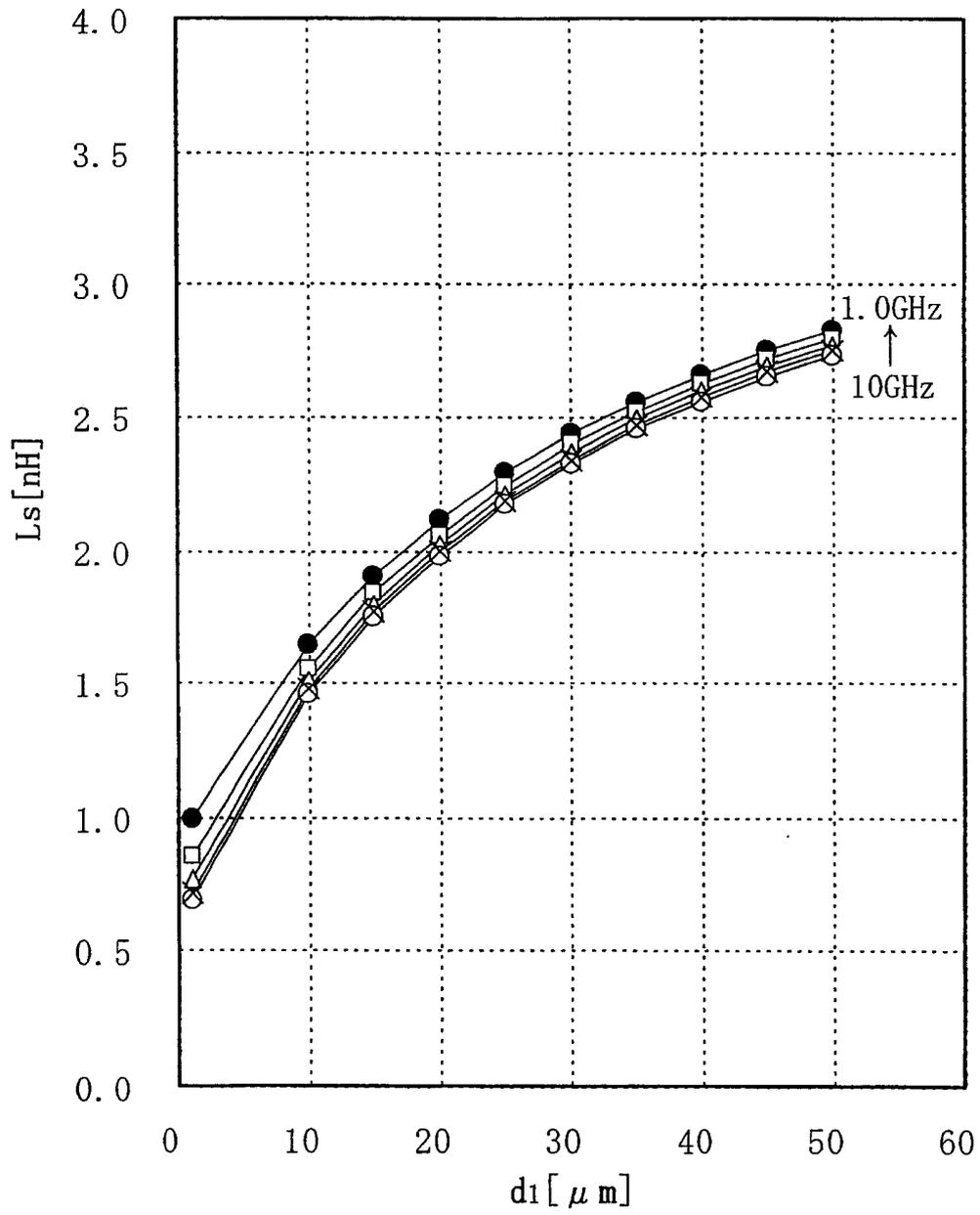


图 19

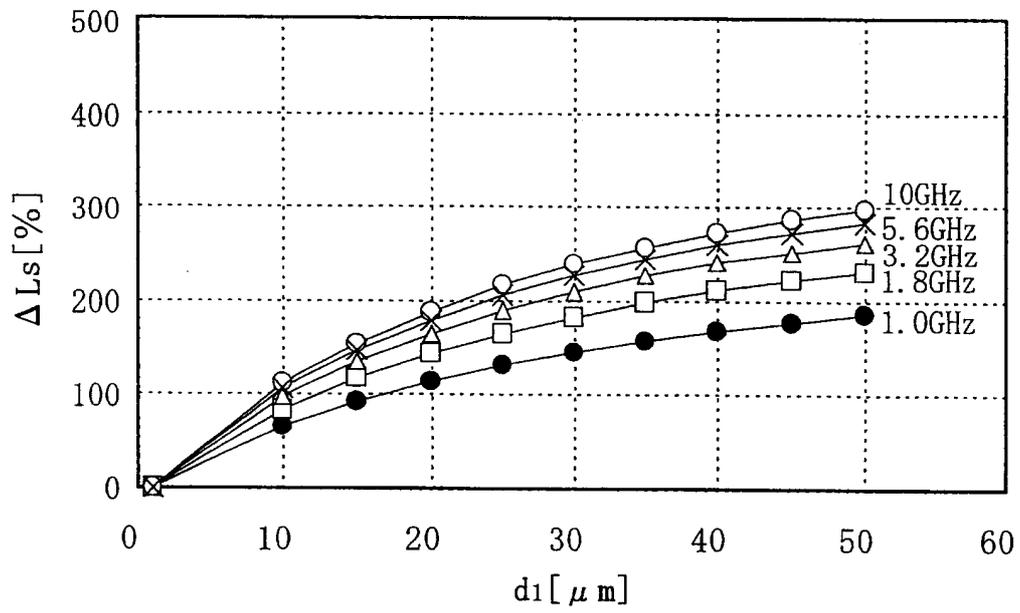


图 20

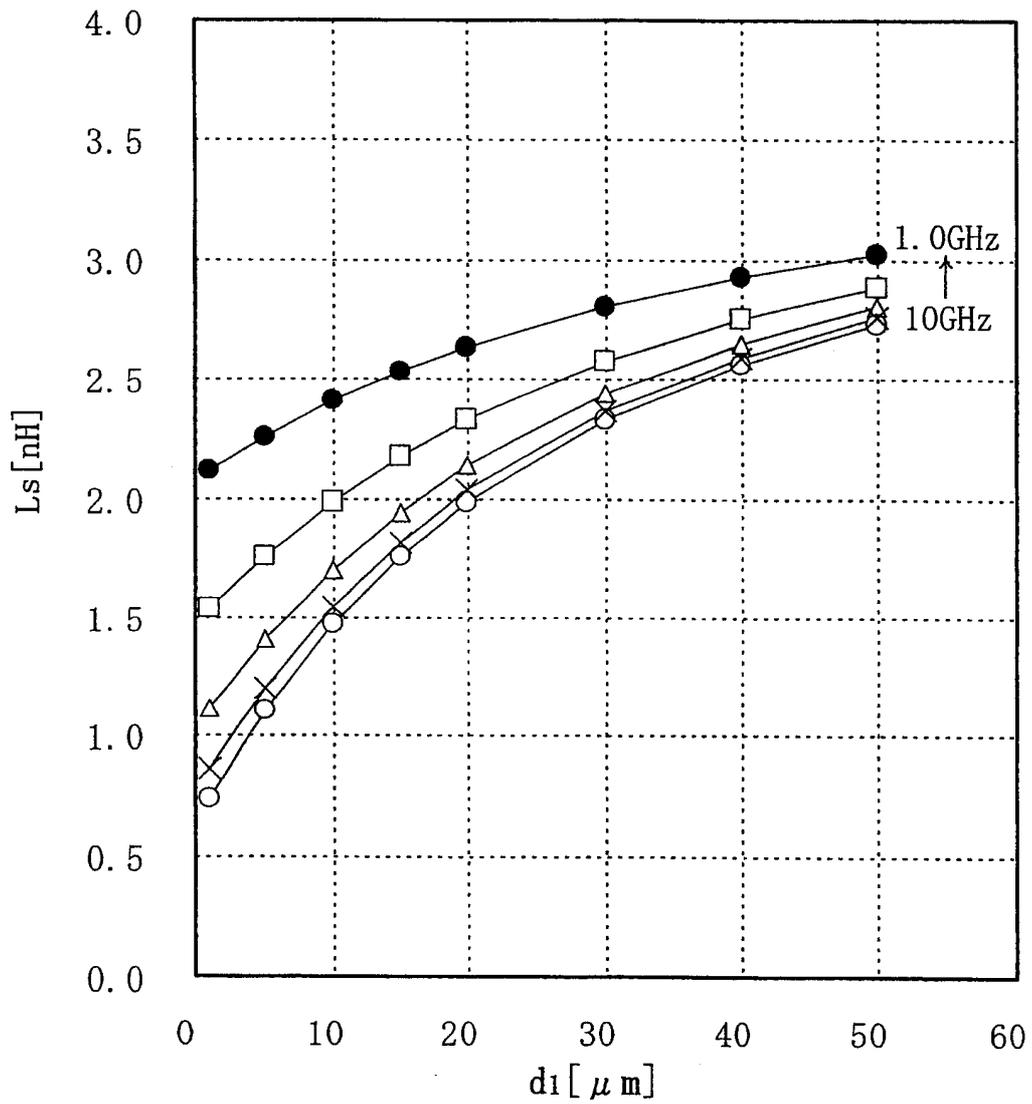


图 21

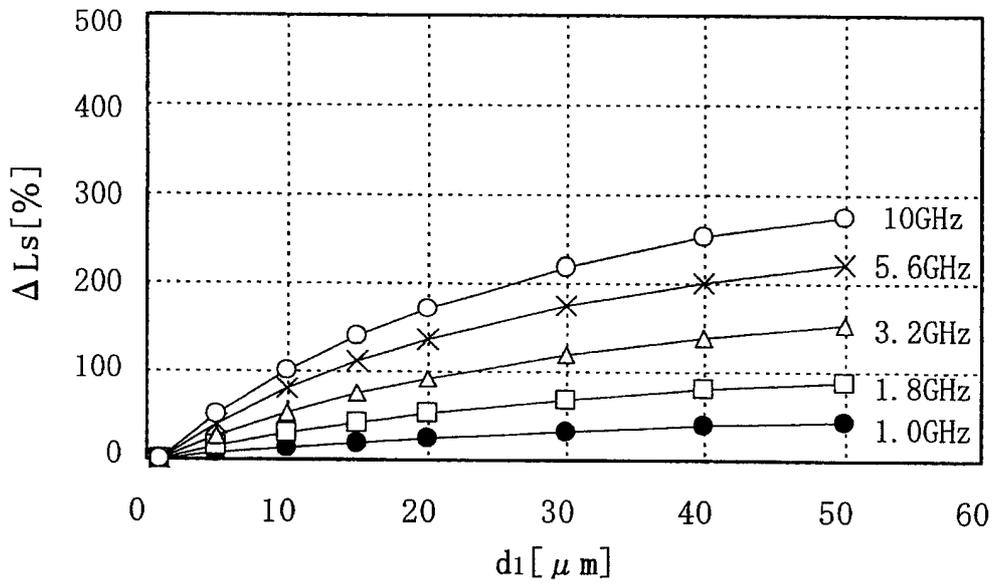


图 22

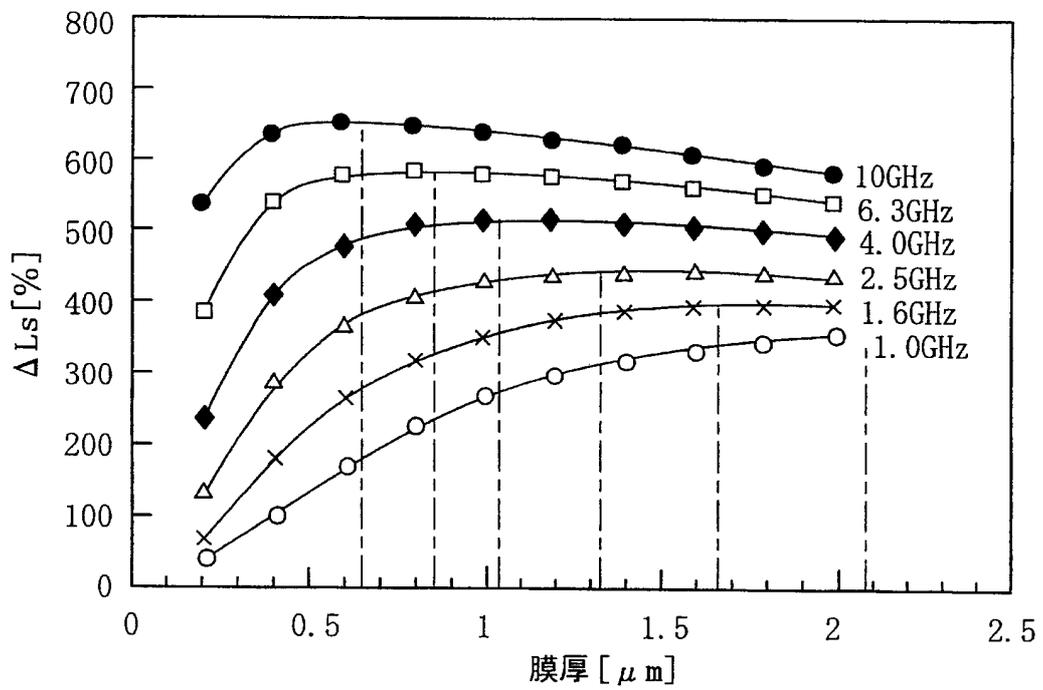


图 23

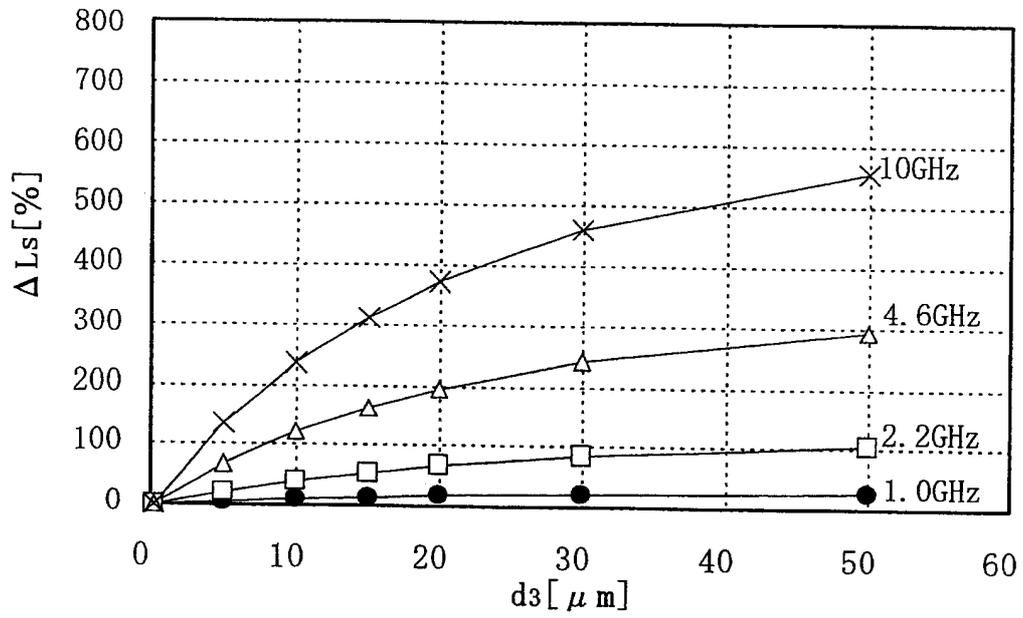


图 24

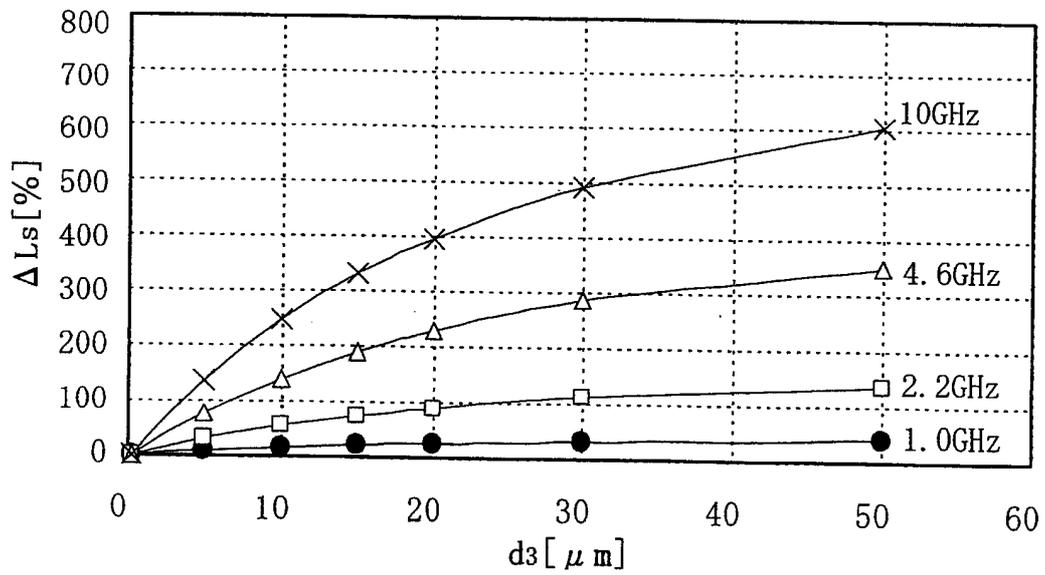


图 25

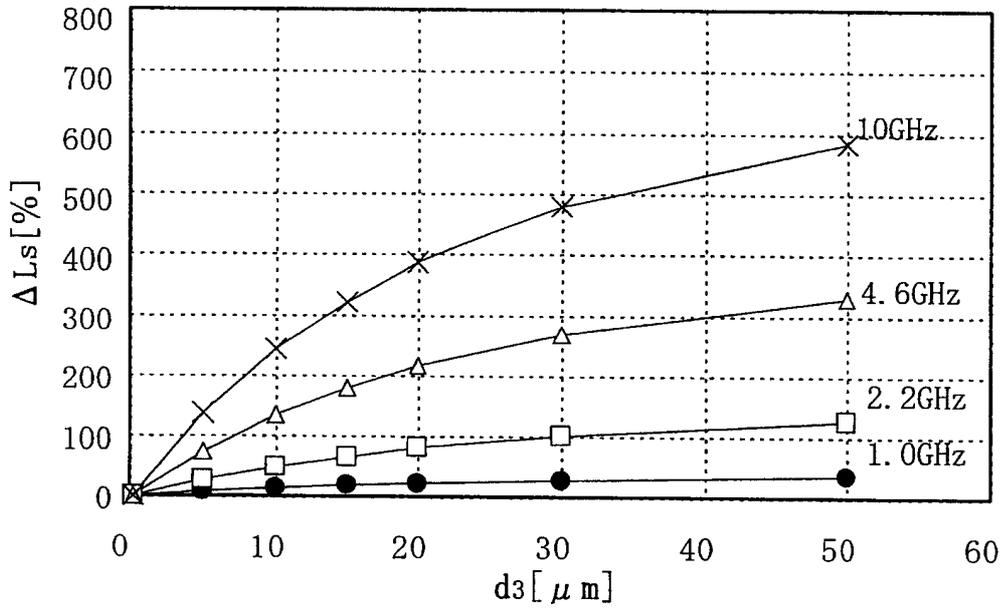


图 26

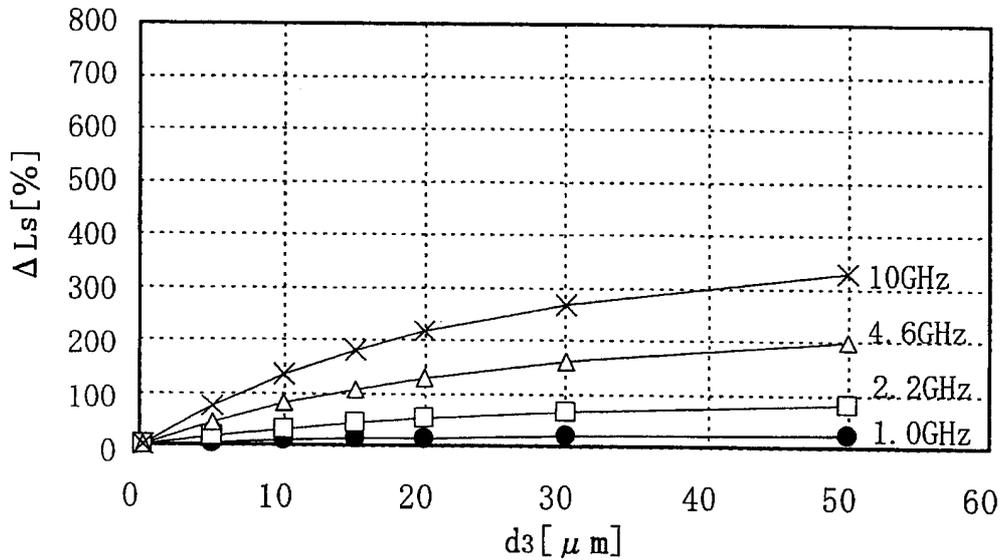


图 27

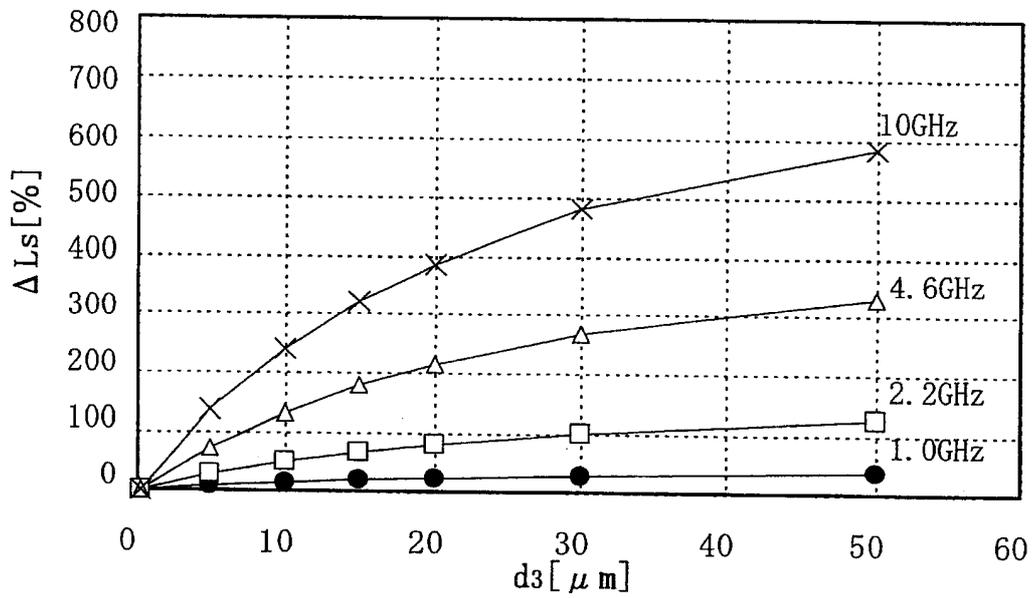


图 28

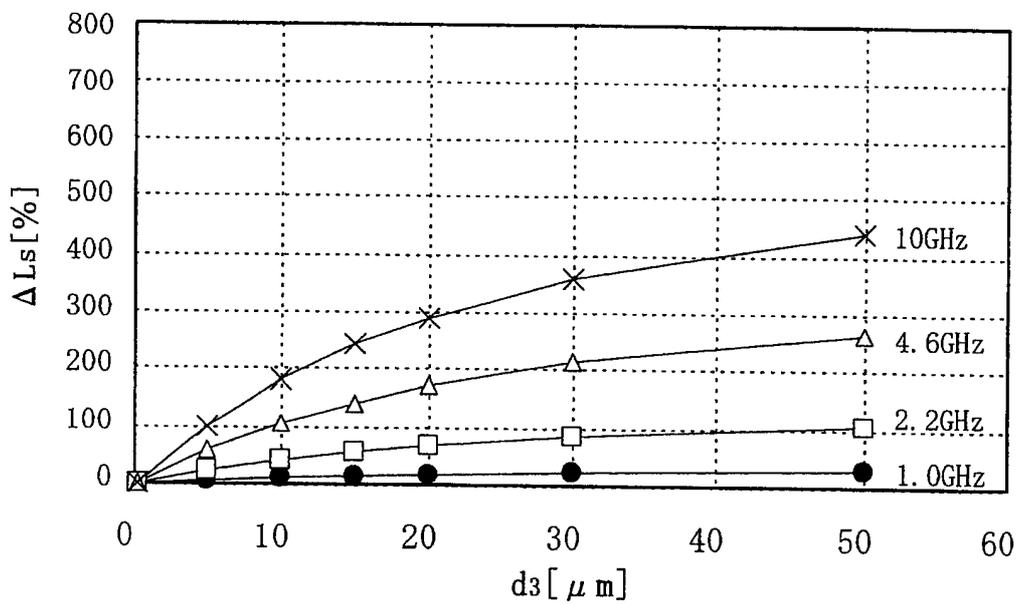


图 29

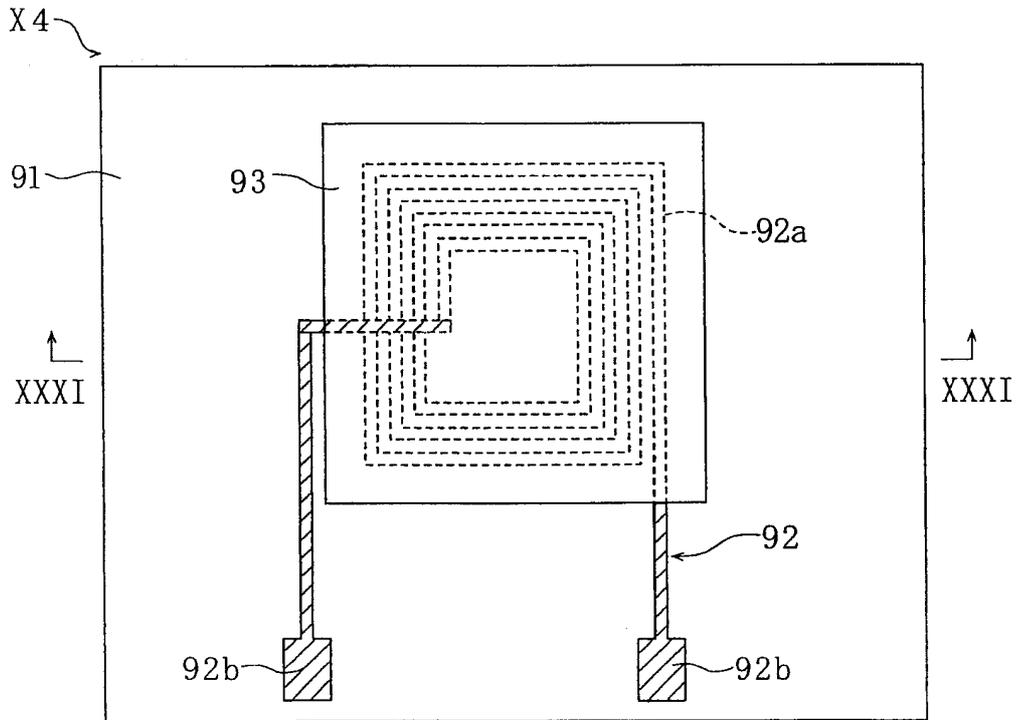


图 30

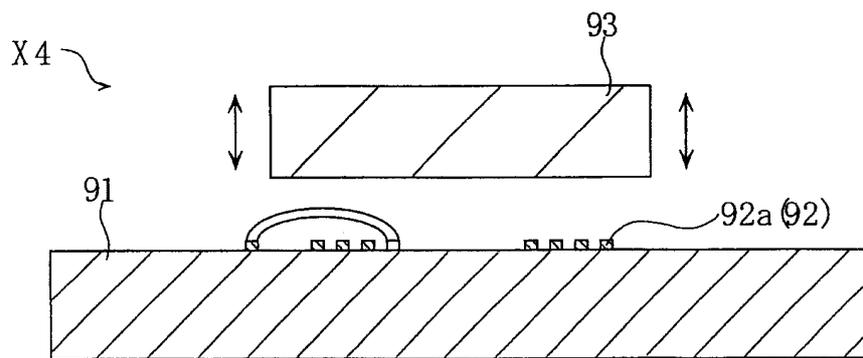


图 31