

一种宽频高 μ_r'' 的 Ni-Zn-Co 铁氧体膜制作

Manufacture of A Wide Frequency High μ_r'' Ni-Zn-Co Ferrite Film

薛蕙 编译

摘要 文章介绍一种可在 0.1GHz~1GHz 的极宽频率范围内具有高 μ_r'' (磁导率虚部) (>100) 的 Ni-Zn-Co 铁氧体薄膜。这种薄膜是采用水溶液旋转喷镀工艺，将 Ni-Zn-Co 铁氧体沉积成薄膜。如果优化配比 Ni、Zn、Co 和 Fe 的组分 (如组分为 $\text{Ni}_{0.22}, \text{Zn}_{0.52}, \text{Co}_{0.03}, \text{Fe}_{2.23}\text{O}_4$)，则其薄膜在频率高达 130MHz 时，其磁导率实部 $\mu_r' > 260$ ，在 100MHz~1GHz 的极宽频范围，其磁导率虚部 $\mu_r'' > 100$ 。这些磁性薄膜在低温 (90℃) 制成，不需要在沉积后退火，即可直接覆盖于印制电路板上的噪声源元件上，以实际用作电磁噪声抵制器。

关键词 磁导率虚部，铁氧体磁性薄膜，旋转喷镀工艺，高磁导率材料，电磁噪声抵制器

中图分类号：TM27 文献标识码：B 文章编号：1606-7517(2014)08-2-133

1 引言

蜂窝电话机和个人手持电脑的工作 / 时钟频率已经超过 2GHz，因此，它们所用的印制电路板 (PCB) 在 GHz 频率时的电磁噪声干扰 (EMI) 则是一个严重的问题。在 GHz 频率时，如果电路中的半导体元件和 PCB 上的线路成了天线，而电路被看作是分布参数系统，不是参数集中系统，则它们都将会辐射电磁噪声。如果把磁导率虚部 (μ'') 高且具有大电阻的磁性薄膜直接沉积覆盖于噪声源 (如半导体元件和 PCB 上的线路) 上，则对衰减电磁辐射噪声将会很有效。工程师们认为，具有高电阻率的软磁铁氧体薄膜显然是这种用途的优选材料。然而，如果采用传统的铁氧体薄膜制造工艺，如溅射法、脉冲激光沉积、分子束外延等技术，则都需要将基片加热到 600℃ 以上的高温才能结晶成为铁氧体。这些工艺技术显然不适合用来直接将铁氧体膜沉积到 PCB 上半导体元件面上。而且，与块状铁氧体材料比较，用以上传统制作工艺技术制得的铁氧体膜的饱和磁化强度 (M_s) 低，矫顽力较高。在高频下，这将导致磁导率下降。在日本，科技人员采用旋转喷镀铁氧体技术，在温度为 90℃ 时的温度下，制成的 Ni-Zn-Co 铁氧体膜，到 1GHz 的工作频率时也有高的磁导率。特别是在其中添加了少量的 Co，会显著提高复数磁导率 μ_r'' ，在 200MHz 时获得 $\mu_r'' = 120$ ；在 300MHz~3GHz 时 $\mu_r'' > 30$ 。经过实验研究，日本东京工业大学科学家已将这种

铁氧体磁膜用于 GHz 噪声抑制器，并通过配方中 Zn 和 Co 含量的优化，进一步改善了 Ni-Zn-Co 铁氧体磁膜的磁导率，取得了更好的噪声抑制效果。

2 磁膜配方及制备实验

实验是将需要镀膜的玻璃基片安装在一个旋转台上 (见图 1 所示)，将形成磁膜的反应液 $\text{FeCl}_3 + \text{NiCl}_2 + \text{ZnCl}_2 + \text{CoCl}_2$ 和氧化液 $\text{NaNO}_2 + \text{CH}_3\text{COONH}_4$ 以喷镀工艺沉积到玻璃基片上。试验中改变反应液中的 Zn 和 Co 的浓度，将 $\text{Ni}_{0.22}\text{Zn}_x\text{Co}_y\text{Fe}_{2.78-x-y}\text{O}_4$ 磁膜中 Zn(x) 和 Co(y) 的含量控制在 $0.24 < x < 0.66$ 和 $0.0 < y < 0.08$ 范围以内。薄膜磁性能采用振动样品磁强计 (VSM) 测量，同时使用与该磁膜同时开发的屏蔽线圈型磁导率计测量 20MHz~3GHz 频率范围内的复数磁导率 (μ_r'') 谱。

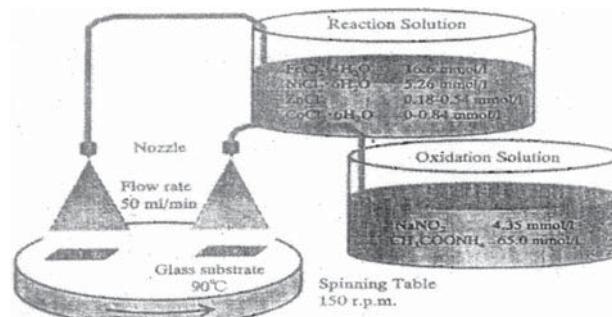


图 1 用水溶性液旋转喷镀 Ni-Zn-Co 铁氧体膜

3 实验结果与讨论

以上叙述中已知，调整磁膜中的含量将改变磁膜的有关性能参数。例如，在 $\text{Ni}_{0.22}\text{Zn}_x\text{Co}_y\text{Fe}_{2.78-x-y}\text{O}_4$ 磁膜中，当Zn和Co的含量分别在 $x=0.24\sim0.66$ 和 $y=0.00\sim0.08$ 之内改变时，Ni含量固定在0.22，x和y增加，Fe含量从2.49减至2.14。则使用扫描电镜观察磁膜的横截面显示，它们由垂直于磁膜面生长的柱状物组成。用x射线衍射分析发现，磁膜部分优先取向于与磁膜面平行的()面。这些观察结果与先前采用旋转喷镀的Ni-Zn铁氧体磁膜所观察到的情况相似。图2所示表明， $\text{Ni}_{0.22}\text{Zn}_x\text{Co}_y\text{Fe}_{2.78-x-y}\text{O}_4$ 磁膜的Ms与Co含量y几乎没有关系。 $x=0.5\sim0.66$ 磁膜的Ms值(274~332emu/cc)明显地低于 $x=0.24\sim0.29$ (425~483emu/cc)和 $x=0.49\sim0.52$ (395~433emu/cc)的磁膜。另一方面，如图3所示，Hc与Co的含量y之关系则较密切：在 $y=0.02\sim0.03$ 时具有最低值。这就说明，在Fe过量，即 $\text{Ni}^{2+}_{0.22}\text{Zn}^{2+}_x\text{Co}^{2+}_{y}\text{Fe}^{3+}_{2.0}\text{Fe}^{2+}_{0.78-x-y}\text{O}_4$ 磁膜中，Fe²⁺感生的磁各向异性被Co²⁺有正负号的各向异性抵消了，这与在块状铁氧体磁芯材料中所观察到的情况类似。 $y=0.03$ 时，实验用磁膜的Hc存

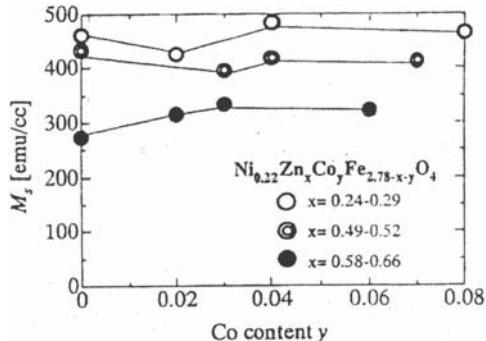


图2 Ni-Zn-Co 铁氧体膜的饱和磁化强度 Ms 与 Co 含量 y 之关系曲线

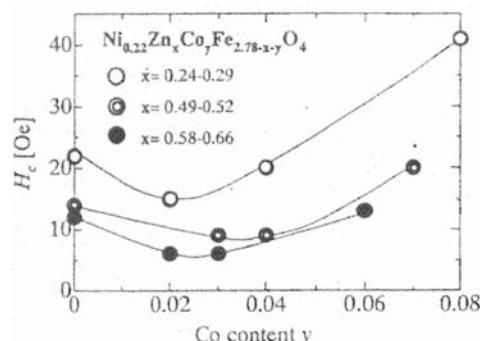


图3 Ni-Zn-Co 铁氧体膜的矫顽力 Hc 与 Co 含量 y 之关系曲线

在最低值。在这里，两种各向异性相抵偿了。从图3可以看出，各种块状材料相似，Hc值随着Zn的含量x增加而下降，因为Zn会减少磁各向异性Fe²⁺的数量。

图4所示为Co含量y=0.02~0.03(Hc变为最低)时的三种磁膜的复数磁导率谱。Zn含量x=0.52时[图4(b)所示]，磁导率实部 μ' 到130MHz时都高于260。这个量值已超过Ni-Zn块状铁氧体在130MHz时的Snoek极限，即是后者的10~15倍。而且，在100MHz~1GHz这样宽的频率范围内，磁导率虚部 μ'' 高达100，这个性能就非常有利于电磁噪声的抑制。与图4(b)相比，将x从0.59降到0.29(图4a)增至0.64(图4c)，则它们的 μ' 和 μ'' 值都会降低。因此，要获得Ni-Zn-Co铁氧体磁膜的高磁导率，必须有大的Ms和低的Hc值。

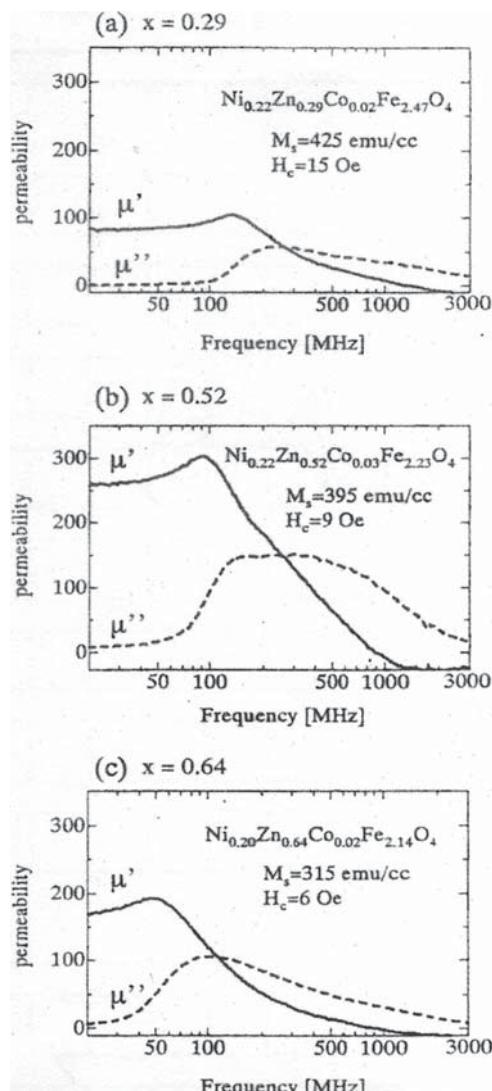


图4 Ni-Zn-Co 铁氧体膜(有不同Zn含量x)的复数磁导率谱

4 小结

调整优化铁氧体磁膜配方中 Zn 和 Co 的含量，以旋转喷镀工艺技术，制备出了在 130MHz 时 $\mu_r'' > 260$ 和在 100MHz~1GHz 时， $\mu_r'' > 100$ 的 Ni-Zn-Co 铁氧体磁膜。在配方中添加少量的 Co，可以降低 Hc 而不会影响 Ms 值，这不仅能够获得高 μ_r' ，也可以获得高 μ_r'' 。以一定的 Co 量置换 Zn，会降低 Hc，并提高 μ_r' ，但 Co 过量的话则会降低 μ_r' 。

在温度低至 90℃ 沉积的磁膜在极宽的高频范围有着甚

高的 μ_r'' 值，用旋转喷镀法制得的 Ni-Zn-Co 铁氧体磁膜可以实际用作电磁噪声抑制器，并且可以直接镀覆到 PCB 上的噪声源上。

参考资料

N. Matsushita, et al., J. Appl. Phys., 93(10-
&) : 7133~7135