

# 使用软磁薄膜抑制共平面传输的射频噪声

## Depressing Co-planar Transmission RF Noise Used Soft Magnetic Film

薛蕙 编译

**摘要**：文章介绍使用软磁材料薄膜抑制共平面传输的射频(0.1~20GHz)噪声技术与材料的试验验证。由集成化技术和器件可知，共平面传输系统由磁膜—聚酰亚胺膜—铜(Cu)传输线—籽晶层(Cu/Ti)—玻璃基片组成。在本案产品中，信号线宽50μm，厚度3μm(特性阻抗为50Ω)；用于抑制噪音的磁膜是CoPdAlO，CoZrO和CoNoZr，它们采用射频溅射技术制备。每种磁膜的饱和磁感应强度约为10G。它们的各向异性场分别是230、89和60(oe)，铁磁共振频率(FMR)分别是4.2、2.5和0.7(GHz)。由于磁膜存在铁磁共振损耗，故有磁膜的共平面传输线的功率损耗要远远大于无磁膜和存在非磁性膜的共平面线，这也就是软磁薄膜可以抑制共平面传输射频噪声的机制。

**关键词**：软磁薄膜，噪声抑制，射频，共平面传输，功率损耗

中图分类号：TM27 文献标识码：B 文章编号：1606-7517(2014)10-3-136

### 1 引言

在射频半导体电子设备和电子元件集成技术的发展进程中，有关电子元器件和传输线中的电磁干扰(EMI)问题十分突出，受到设计工程师们的强烈关注。在移相器、开关器件、可调衰减器等等射频器件中，磁性材料对它们的性能起着重要的作用，例如，利用铁磁薄膜材料产生的损耗，可以抑制射频集成器件中传输的电磁噪声。在这篇文章中，介绍几种在传输线上使用的软磁材料薄膜，例如CoPdAlO、CoZrO以及CoNoZr等磁膜，同时将它们的性能与非磁性金属(如Cu)和共面线本身的性能进行了比较。

### 2 实验程序与检测

本例共面传输的设计计算使用了Muller和Hi-Iberg方程，在7059柯林玻璃(其介电常数 $\epsilon_r$ 为5.84)基片上用50μm宽3μm厚的信号线构成，该共面传输线具有50Ω特性阻抗。图1示出了这种传输线的结构示图，它由磁膜、聚酰亚胺、铜(Cu)传输线、籽晶层(Cu/Ti)玻璃基片组成，采用微制造工艺技术制备；Cu/Ti籽晶层采用射频溅射技术沉积，其厚度分别为1000Å和100Å；Cu传输线则采用电镀工艺制成。非晶 $\text{Co}_{85}\text{Nb}_{12}\text{Zr}_3$ ， $\text{Co}_{67}\text{Zr}_8\text{O}_{25}$ 和 $\text{Co}_{53.4}\text{Pd}_{9.4}\text{A}_{18.1}\text{O}_{18.1}$ 磁膜、非磁性Cu膜，均采用射频磁控溅

射在玻璃基片上沉积而成，磁膜等与Cu传输线由聚酰亚胺绝缘膜隔开。为了使磁晶自旋定向并提高磁各向异性场( $H_K$ )，在用离子研磨制成尺寸为 $2 \times 15\text{mm}^2$ 的图形后，给磁膜施加~3kG的外磁场，在300℃左右退火一小时。

CoNbZr、CoZrO和CoPdAlO磁膜具有单轴磁各向异性，其磁性见表1所列。

表1 CoNbZr、CoZrO、CoPdAlO磁膜的磁性能比较

性能	磁膜	CoNbZr	CoZrO	CoPdAlO
膜厚(μm)	~1	~1	~2	
电阻率(μΩ·cm)	120	470	220	
4 Ms(kG)	~8.5	~10	~10	
$H_c(\text{oe})$ (易轴)	0.8	4.8	11.6	
(难轴)	0.8	1.5	4.0	
$H_K(\text{oe})$	6.8	89	230	
$\mu(1\text{GHz})\mu'$	85	125	47	
$\mu''$	350	31	4.8	
$f_r(\text{GHz})$	0.7	2.6	4.3	

这三种磁膜的饱和磁感应强度(4 Ms)在10kGHz左右频率时，面内磁各向异性场( $H_K$ )分别为6.8、89、230(oe)。FER频率由下式求得：

$$f_r = r/2 \cdot [H_K(H_K + 4 Ms)]^{1/2}$$

式中， $r$ —旋磁比。以上三种磁膜的 $f_r$ 分别在0.7、2.6、4.3(GHz)附近。图2所示为这些磁膜在频率从0.1GHz升到3GHz的相对磁导率。把以上磁膜覆盖于共面传输线的

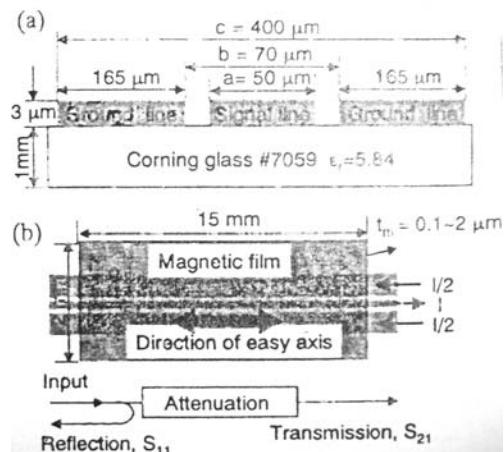


图1 共平面传输线的剖面(a)和加磁膜后的俯视图(b)

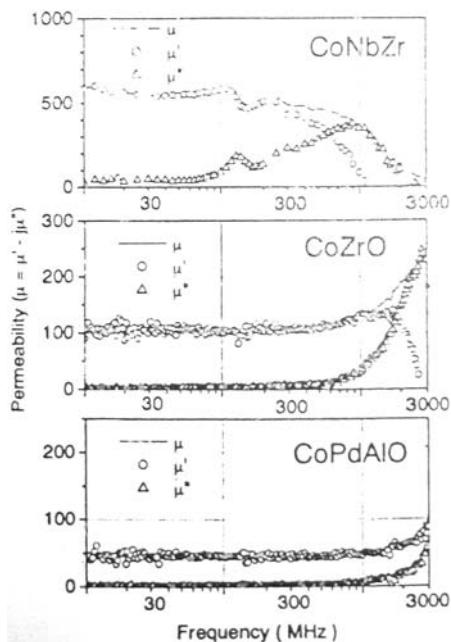


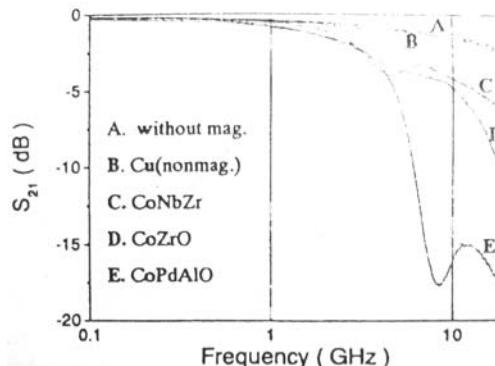
图2 CoNbZr、CoZrO 和 CoPdAlO 磁膜的磁导率—频率关系

上部，用以抑制噪音信号。

检测其性能是利用 HP8720D 型网络分析仪，将 2 支接地针 (GSG) 型晶片探头机械地接触到传输线的左、右顶端，在 0.1GHz~20GHz 的频率之间测量传输线的电性能。

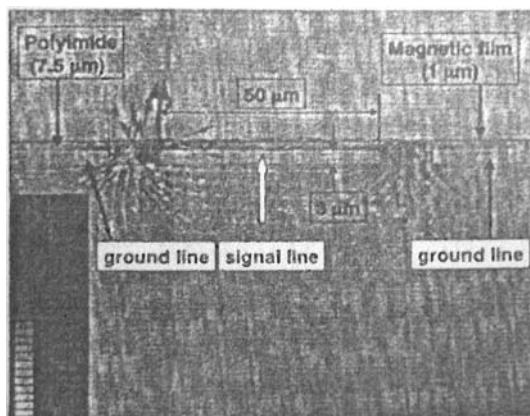
### 3 检测结果与讨论

在传输线信号衰减的过程中，介电损耗小于共平面传输线中的涡流损耗和 FMR 损耗。因此，讨论的重点在 FMR 损耗和涡流损耗。为了检测出 FMR 引起的信号衰减，磁膜的易磁化轴应该平行于共面上波的传输方向 ( $h_{rf}$ )。在图 3 中给出了五种共面传输线上传输的 S 参数 ( $S_{21}$ )：图

图3 几种共平面传输线的传输损耗值与频率的关系  
(注，隔离层厚度固定为7.5 μm)

中 A 为无磁膜共面传输线；B 为有非磁性金属 (Cu) 的传输线；C 是有磁膜 CoNbZr 的传输线；D 和 E 分别是具有磁膜 CoZrO 与磁膜 CoPdAlO 的传输线。从图中可以看出，有非磁性金属 (Cu) 的共面传输线上传输的信号衰减量很小，几乎和无磁膜的共面传输线一样。将加有非磁性金属和无磁膜情况下的共面线与覆有磁膜的共面线比较。后者的信号衰减显著增大。在特定的频率范围内，其衰减趋势有所变化，这与磁膜的 FMR 产生的损耗有关。信号衰减的下降点由 FMR 频率确定，它们都要受磁膜的自然 FMR 频率和因为是有效尺度变化而产生的退磁效应控制。

图 4 是采用模拟软件包 (HFSS Version8.5) 和有限元分析法进行模拟的有磁膜的共面线中的磁场分布与方向 ( $h_{rf}$ )。图中显示了信号线宽为 50 μm 的共面线产生射频 (rf) 场的特性，在磁膜的总宽度 (2mm) 中，该磁场只利用了磁膜很少的面积 (约为 100 μm<sup>2</sup>)。这就意味着退磁是随着磁场分布面积变窄了增强的，因此 FMR 频率升高。图 5 所示为使用了 CoPdAlO 磁膜的共面传输线的传输参数 ( $S_{21}$ ) 值随磁膜与共面线之间隔离层 (聚酰亚胺膜) 的厚度而变化。

图4 具有磁膜的共平面线剖视图中磁场的分布和方向 ( $h_{rf}$ )

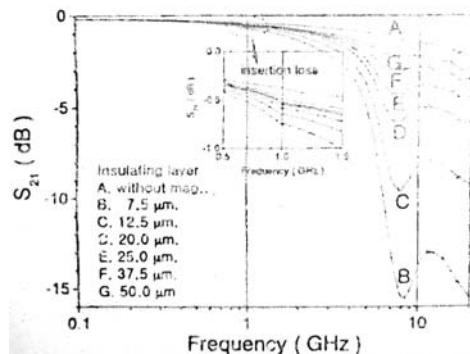


图 5 覆有 CoPdAlO 磁膜的共平面线的传输损耗随隔离层厚度和频率的变化曲线

在图中还可以看到，随着隔离层厚度的增加，衰减量减小，这是因为离传输线表面的距离增大，磁场强度降低的结果。

图 6 之曲线揭示的是传输参数  $S_{21}$  和功率损耗随 CoNbZr 磁膜厚度变化的关系，图中所示的数值是利用反射参数  $S_{11}$  和传输参数  $S_{21}$  按如下计算式计算得出的：

$$P_{\text{loss}}/P_{\text{input}} = 1 - (|S_{21}|^2 + |S_{11}|^2)$$

式中， $S_{21}$  是因为磁膜厚度增加所造成的全部涡流损耗而引起的衰减。在图 6(b) 中，可以看到由 FMR 产生的下降点，而且，这个下降点随着磁膜厚度的增加而移向高频段。在射频场 ( $h_{rf}$ ) 采用磁膜的时候，如图 4 所示，磁膜的有效利用面积在信号线宽度附近实际上会变窄。因此，随着磁膜厚度增加，退磁因子将随 FMR 频率升高。

#### 4 小结

经实验检测与分析证明，使用软磁材料薄膜可以有效

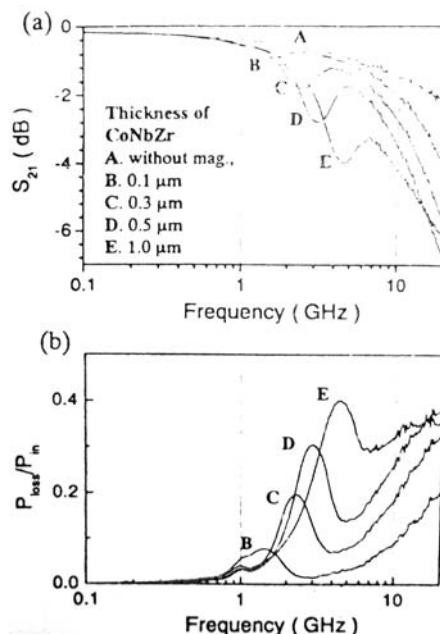


图 6 CoNbZr 共平面线的传输参数  $S_{21}$ (a) 和功率损耗 (b) 随磁膜厚度与频率的变化 (隔离层厚为 7.5 μm)

抑制共面传输线上的电磁噪声。由磁膜电阻率产生的插入损耗 (在 1GHz 时最大达到大约 0.5dB) 远低于 FMR 损耗所引起的主要衰减信号 (在 10GHz 的最大值大约 14dB)，因此，控制与退磁因子相关的磁膜尺度、涡流损耗和防止 FMR 损耗的发生，可以有效地调整和抑制噪声的信号频率和衰减幅值。

(参考资料略)

编译自《Appl. Phys. 2003, 39(10~3):8002~8004》