

(内部刊物)

半导体器件译丛

1

济南市半导体元件实验所

一九七一年

目 录

(一)微波带状线衬底(I).....	(1)
1.能用的衬底材料.....	(1)
2.损耗测量.....	(3)
3.测试方法.....	(5)
4.测试结果.....	(5)
5.结论.....	(7)
(二)微波带状线衬底(II).....	(9)
1.衬底选择.....	(9)
2.表面光洁度和粘附.....	(9)
3.表面光洁度和电路印制.....	(10)
4.金属化选择.....	(11)
5.工艺现状.....	(12)
(三)微波带状线衬底(III).....	(13)
1.阻抗.....	(13)
2.波长.....	(13)
3.样品问题.....	(14)
(四)微波带状线衬底(IV).....	(17)
1.无载Q.....	(17)
2.金属化的厚度.....	(19)
3.传输系统的比较.....	(19)
(五)钛-硅肖特基势垒二极管.....	(22)
(1)引言.....	(22)
(2)二极管制造.....	(23)
(3)测量.....	(24)
(4)讨论.....	(32)
(六)使用双扩散保护环在肖特基势垒二极管中获得接近理想的I—v特性.....	(34)
(1)引言.....	(34)
(2)实验方法和结果.....	(35)
(3)恢复时间测量.....	(41)
(七)微波晶体管特性.....	(44)
(1)引言.....	(44)

(2)微波小讯号等效电路.....	(45)
(3)散射参数表述.....	(48)
(4)微波晶体管设计和制造考虑.....	(55)
(5)实验结果.....	(57)
(6)结论.....	(64)

微波带状綫衬底 (I)

把印刷电路工艺用于微波不完全是那么容易的。到目前为至，只有屏蔽带状传输线已经达到使用阶段，尽管能使用的理论有更宽广的基础。

微波频率需用的带状线，要求高质量的介质材料。微波带状传输线使用高介电常数材料衬底导致微波小型化。

图(1)为微波带状线的截面图。主要的组件是金属化的中心导体，高介质衬底和金属化的接地面。由于高介电常数材料对波长的影响，它是降低微波组件体积的关键。衬底的介质特性包括所示两个导体间的场。



图 1 微波带状线表示

表1 微波带状綫介质的耗散因子和介电常数

材料	$\tan \delta$ 在10GHz时	ϵ_r 在10GHz时
96%氧化铝	0.0006	9.2
99.5%氧化铝	0.0001	9.7
特氟隆	0.00015	2.1

1、能用的衬底材料

选择实际衬底材料的一个标准是低介质损耗和高介电常数。介质损耗与损耗正切 ($\tan \delta$) 或材料的损耗因子有关。大多数介质材料的制造者提供他们的材料在微波频率的损耗正切数据。

微波带状线(6,7)的介质损耗为:

$$\alpha_d = \frac{q\pi}{\lambda_0} \frac{\epsilon_r}{\sqrt{\epsilon'_r}} \tan \delta$$

其中:

α_d = 介质损耗(奈培/单位长度)

q = 填充因子

ϵ_r = 衬底的相对介电常数

ϵ'_r = 有效相对介电常数

$\tan \delta$ = 衬底的损耗因子

λ_0 = 所考虑频率处的自由空间波长

由这个方程，衬底损耗因子的直接关系是明显的。表(1)给出了微波介质损耗因子一些典型值。

可以看到，纯度为99.5%氧化铝特氟隆几乎有同样的介质损耗，其值低于纯度为96%的典型的氧化铝4—6倍。由于特氟隆的介电常数低，可能将放弃它作为微波集成的衬底材料。恰当的考虑氧化铝材料，96%材料的介质损耗为99.5%材料的6倍。这似乎是显著的，但是，按照总电路损耗，它比较地是可忽略不计。纯度为96%的氧化铝在10GHz下计算的介质损耗约为0.04dB/英寸。其他损耗的值将是它的几个数量级那么大，这样，介质损耗就能忽略不计。

由于导体损耗的衰减为

$$\alpha_c = \frac{62.8}{Z_0 W} \sqrt{f \rho} \quad (2)$$

其中，

α_c = 导体损耗(奈培/单位长度)

Z_0 = 微波带状线的特性阻抗

W = 导体的宽度

f = 频率 (GHz)

ρ = 导体的电阻率

检查这个方程表明，导体损耗直接与金属化膜电阻率有关。因此，膜必须是高电导材料如铜或金。

有另一个损耗因子，粗略的检查方程(2)是不明显。假设传输线为50Ω未屏蔽的微波带状线的特性阻抗由下式给出：

$$Z_0 = \frac{377h}{\sqrt{\epsilon_r W} [1 + 1.735 \epsilon_r - 0.0724(W/h) - 0.886]} \quad (3)$$

其中，

h = 衬底厚度。

如果特性阻抗保持不变，增加衬底厚度，则由方程(3)，必须增加 W 。如果减小衬底厚度，必须减小 W 。

参见方程(2)，如果 W 增加， α_c 就减小。也就是，如果衬底做得较厚， Z_0 保持不变，则将获得较低的导体损耗。如果 Z_0 为常数时 W 减小，则损耗将增大。这样，如果需要低损耗线，就应增加衬底厚度。

由于趋肤效应，还应研究另一个导体损耗，它将直接与制造微波集成电路的金属带状线和接地面的光洁度的经济学有关。金、铜或银在5GHz下的趋肤深度的典型值是百分之40到50英寸(0.00004—0.00005)。

表面粗糙不易进行分析。考虑到趋肤效应的电流在导体的表面流动。电流将很接近导体表面的峰和谷处流动。这些峰和谷越大，电流流过导体的长度就越大，这样，损耗就越大。因金属导体的表面粗糙度直接与衬底的光洁度有关，所以，要对表面的光洁度进行检查。

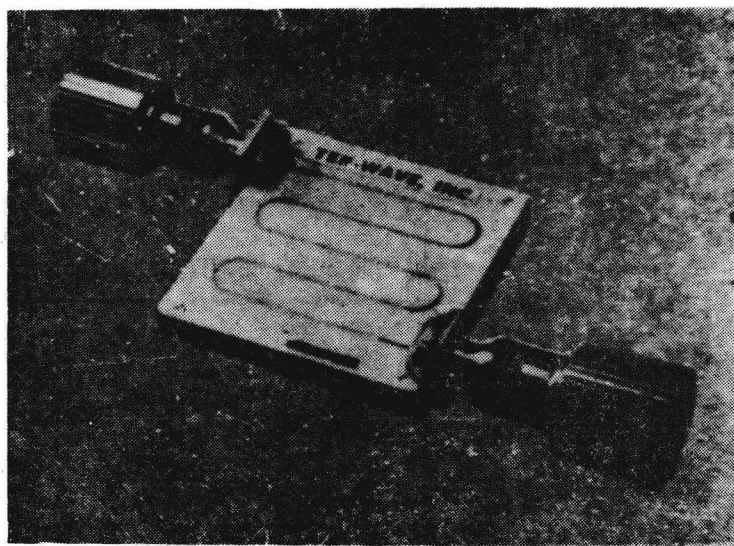
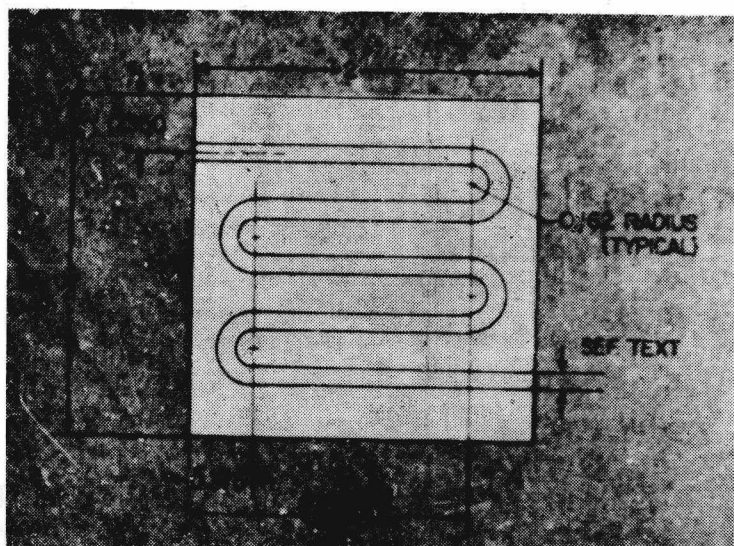
2. 損 耗 測 量

衬底和导体材料的损耗因子作如下测量：(1)衬底材料的损耗因子；(2)导体材料(金、铜等)；(3)衬底厚度和(4)衬底的光洁度(这样，也就是导体的光洁度)。

这样的知识是需要的，以帮助工程师设计微波带状传输电路。

因每英寸损耗期望是十分之一分贝的数量级，将考虑至少需要提供5英寸线，能精确的测量电路。为了制造方便和避免互连问题，电路应该淀积在一个衬底上。提供2×2英寸氧化铝接地衬底就可用了，设计弯曲的线电路是为了在这样大小的衬底上提高尽可能的长度，如图2a所示。基于这个电路做了两个模型。模型(1)有0.025英寸线宽，淀积在0.025英寸厚衬底上，模型2有0.050英寸线宽，衬底厚度为0.050英寸。这两种电路模型在它们各自的衬底上提供50Ω阻抗线。

对于这两种模型，淀积总线长是9.040英寸，提供足够的空间宽度以防止边缘或邻近效应影响测试结果。两种线路均作屏蔽，制造了各种测试电路。表(2)是制造的各种电路表。



图(2)测量衬底损耗的弯曲线样品板。(a)是实际的尺寸；(b)是装有TMI7mm发射器的典型电路板。

由于研制的目的, 所有测试电路的内外过渡使用了TWI7mm宽频带发射器。这些发射器提供非金属箔位电路板, 允许不用焊接与电路接触, 但是, 保持1.05电压驻波比。这个特征是所希望的, 用在每个测试线路中使用同样的发射器消除了发射器损耗为可能的变量。图(26)为装有7mm发射台的典型的测试电路的照片。

测试电路(7)是能确定连接器损耗的参考电路。通过电路(7)和(3)测量损耗允许连接器损耗是独立的, 用电路(3)与电路7有同样的制造参数。这容易由如下一组方程看出。

$$L_c + L_{13} = L_3 \quad (4)$$

$$L_c + L_{17} = L_7$$

$$L_{13} = \frac{I_7}{I_3} (L_{17})$$

其中:

L_c = 总发射器损耗

L_{13} = 传输线₃损耗

L_{17} = 传输线₇的损耗

L_3 = 电路₃的总损耗

L_7 = 电路₇的总损耗

I_7 = 电路₇的传输线长度

I_3 = 电路₃的传输线长度

方程(4)的解确定了所有测试频率处的发射器匹配对的损耗。假定整个测试它为常数, 考虑到整个测试使用了一组同样的发射器, 这个假定是相当有理由的。这样, 对于任一电路, 单位长度的损耗就能确定了。

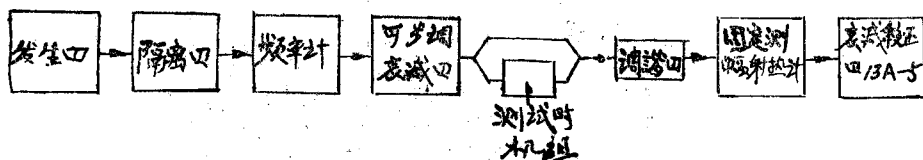


图3. 检查微波带状线衬底损耗的测试装置。

表2 测试结果和模型淀积物

测试线路编号	衬底	衬底厚度 (英寸)	金属化	光法度 (μ 英寸)	模型编号
1	96%氧化铝	0.025	铬/铜	24	1 ※※
2	99.5%氧化铝	0.025	铬/铜	24	1
3	99.5%氧化铝	0.025	铬/铜	10	1
4	99.5%氧化铝	0.025	铬/铜	2	1
5	99.5%氧化铝	0.025	铬/金	2	1
6	99.5%氧化铝	0.050	铬/铜	10	2
7	99.5%氧化铝	0.025	铬/金	10	2英寸直线

※※ 对96%氧化铝, 模型数1提供51 Ω 线

3. 测试方法

测试利用标准制造技术,利用weinschelBA—5衰减校正器,包括音频的取代法。电路如图(3)所示,测辐射热计在测试频率下由调谐器匹配到1.05或更大。此外,输入匹配到弯曲线是1.05或更大。

进行测试。首先,在电路中没有测试机组时,将校正器放在参考处。当插入测试机组时,调节校正器的衰减器,使指针回到参考处。则损耗就是两个条件下衰减器装置的差。

对于图3中所示的单通道系统,衰减校正器的精密度是每10dB为0.1dB。因期希的损耗要远小于10dB,期望的精密度是0.02到0.04dB。为了使测量更精确,用一套3dB校正衰减器测量校正器。这些衰减器是整套设备的一部分,它的校正是由国家标准局来的。每个测试频率下,3dB衰减器被测量几次,数据与提供校正的比较。测试时没有一次测量与校正偏离大于0.5dB。显然,测试电路上所做的测量有期望的精密度。

测试频率是3.6和9GHz。选择这些频率是因为它们是S、OC和X波段的中心。这样除了材料和金属化研究外,也能获得损耗对频率的变化。

4. 测试结果

最初的测试是单独的发射器损耗,如前所述,由测量测试电路3和7完成。一对发射器的损耗在3GHz下是0.15dB,在6GHz下是0.15dB,在9GHz下是0.20dB。

只要已知发射器损耗,就能知道传输线的损耗。表(3)是测量的结果。第一列表示所研究的特殊效应。第二列是用于特殊测试时的参考表2的测试电路。表中的其余部份自己作了说明。

如果96%和99.5%氧化铝的损耗因子差对电路的损耗影响较大,就用测试电路1和2进行测试。表3说明介质损耗是不显著的。对于这两种电路,总损耗的测量值实际上是相同的,是在测量精度范围内。结论是,介质损耗与其他线路损耗比较可以忽略不计。

那么,就产生了一个明显的问题,为什么使用99.5%氧化铝和推荐它。对这个问题的回答在以后的文章中将作详细的讨论。这里要做的说明是,由于96%氧化铝的晶粒结构,它的抛光程度和重复能力受到限制,因此,在线路的光致抗蚀和腐蚀方面出现较大的问题。此外,96%氧化铝电特性(介电常数,损耗因子等)每批之间变化很宽,而99.5%氧化铝能很好的控制。

如果铜损耗与金损耗差别较大,就用线路4和5进行测量。正如望期的一样,铜金属化显现较低损耗。结果的比较表明,差别是较小的,0.025英寸厚的衬底上小于10%。

这里也将说明,损耗也不是经常破坏标准的。在确定所使用金属化类型前,与金属化工艺和长期稳定性有关的其他因素必须得到研究和确定。

表(3)清楚的说明, 衬底较厚, 损耗较低。电路3和6是有同级光洁度和同样金属化的99.5%氧化铝衬底。差别不是衬底的厚度, 电路6是0.050英寸厚, 电路3是0.025英寸厚。为了保持50 Ω 线, 两种情况下的线宽是不同的。

较厚的衬底损耗改善大约为40%。我们十分有趣地注意到, 当频率上升时, 差别就明显地加大。这样, 也就确定了损耗降低和影响它的数值的主要区域。

使用较厚的衬底时必须仔细观察, 使得线宽不接近于 $\frac{1}{4}$ 波长而引起较大的问题。

在电路2,3和4中, 99.5%氧化铝具有同样的线路和合格的较好的表面光洁度, 电路3光洁度为10 μ 英寸, 电路2为24 μ 英寸, 电路4为2 μ 英寸。表(3)可以看到对损耗的影响。表面光洁度越好, 损耗越低。光洁度为2 μ 英寸的与为24 μ 英寸的比较, 损耗大约改善35%。光洁度为2 μ 英寸与为10 μ 英寸的比较, 约有25%改善。这样, 发现表面粗糙度对线路损耗有较大的影响, 特别是当抛光程度增加时。

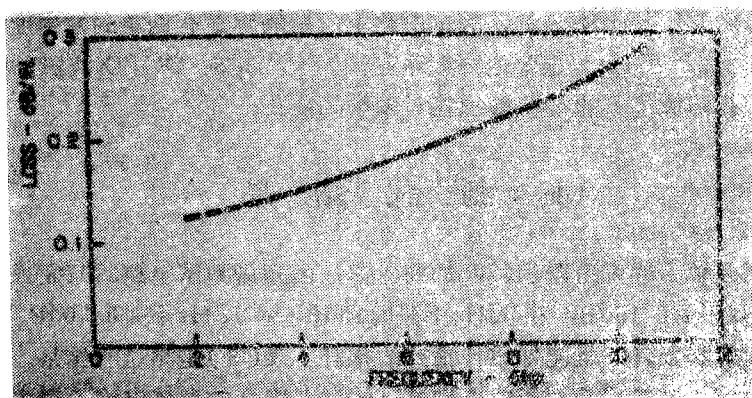


图4、典型衬底材料的损耗曲线(99.5%氧化铝, 0.025英寸厚, 10 μ 英寸光洁度, 铬/铜金属化, 0.025英寸线宽)。

表3: 损耗数据

测试时 效应	采用测试 电路	总 损 耗			每 英 寸 损 耗		
		3 Gc	6 Gc	9 Gc	3 Gc	6 Gc	9 Gc
耗散因子	电路1 (96%)	1.74	2.11	3.32	0.176	0.217	0.345
	电路2 (99.5%)	1.65	2.15	3.20	0.110	0.140	0.179
金属化	电路4 (铬/铜)	1.14	1.41	1.82	0.110	0.140	0.179
	电路5 (铬/铜)	1.23	1.72	2.00	0.120	0.174	0.199

衬底厚度	电路3 (0.025英寸)	1.41	1.82	2.40	0.139	0.185	0.244
	电路6 (0.050英寸)	0.97	1.11	1.50	0.091	0.106	0.144
表面 光洁度	电路2 (24 μ 英寸)	1.65	2.15	3.20	0.166	0.221	0.332
	电路3 (10 μ 英寸)	1.41	1.82	2.40	0.139	0.185	0.244
	电路4 (2 μ 英寸)	1.14	1.41	1.82	0.110	0.140	0.179

5. 結 論

总而言之, 基于单独效应研究(如金属化或衬底厚度)的结果表明:

- (1) 本质上介质损耗可忽略不计;
- (2) 铬—铜金属化具有较低损耗, 但它与铬—金的差别很小;
- (3) 衬底的厚度对损耗有主要的影响;
- (4) 表面光洁度对电路集成有较大影响。

为了强调没有研究组合的效应, “单独的效应”用斜体字表示。如果在 0.050 英寸厚衬底上用铜金属化与 2 μ 英寸表面光洁度相组合, 则改善将不是这个研究中所指出的百分数改善的和。组合这些效应有一个明显的点, 在该点以后, 实际上进一步的改善是不可能达到的。

应该指出, 所有测试线路和测试方法是基于良好薄膜淀积制造工艺。也就是, 制造电路时没有使用其他特殊的工艺过程, 除了检查测量系统的精密度外, 没有测试。已经摸索到一组真正典型的数据。图 4 是今天最通用的线路损耗对频率特性, 衬底是厚为 0.025 英寸的 99.5% 氧化铝, 光洁度为 10 μ 英寸。

Tek—Wale 公司使用了特殊的制造工艺, 在比表 (3) 中所示每英寸损耗特性较好的衬底上制造线路。十分需要考虑的是, 与特殊的结果相对应本文反映了平均的结果, 所以, 给工程师提供了选择材料和金属化(容易有期望的重复性)的指南。

参 考 文 献

1. W.E. Fromm "Characteristics and Some Applications of Strip Line Component." IRE Transactions, Vol. MTT3. (Mar. 1955)
2. R.M. Barrett, "MicroWave Printed Circuits—A Historical Survey." IRE Transactions, Vol. MTT3. (Mar. 1955)
3. S.B. Cohn, "problems in Strip Transmission Lines." IRE Transactions Vol. MTT3. (Mar. 1955)
4. H. Sobol, "Extending IC Technology to Microwave Equipment." Electronic

s,"Vol.4.No.6.(Mar.20.1967)

5.F.Assadourian and E.Rimai."Simplified Theory Of Microstrip Transmission Systems."Proc.IRE.Vol.40.(Dec.1952)

6.H.A.Wheeler."Transmission Line Properties Of Parallel Strips Separated by a Dielectric Sheet."IEEE Transactions.Vol MTT B.(Mar.1965)

7.A.Presser."RF Properties Of Microstrip Line,"Microwave.(Mar.1968)

8.Ibid,Equation1.

译自 Microwave December 1968"The real World Of micromin Substrates——Part I"

微波带状綫衬底(Ⅱ)

微波集或电路设计者应该熟悉并分析和估价最好电路特性的表面材料和金属化, 这样能获得特殊应用的最佳线路性能。

I 中讨论了损耗因素并对最低损耗的最好因子作了几个结论。已经指出, 损耗不需要破坏标准。在决定良好的设计前, 其他的因素; 如印制线路和衬底介质特性的重复性应作研究。

1. 衬底选择

目前纯度为96%和99.5%氧化铝, 用作衬底是最普遍的。(I)中已经确定, 这两种材料对电路损耗的影响差别极小。但是, 当研究一批批96%氧化铝的电特性时, 这些特性, 如介电常数, 损耗因子, 表面光洁度和晶粒结构并不象99.5%氧化铝那样能紧密控制。因为这些因素影响印制线的阻抗, 对于重复性要求高的线路不推荐96%氧化铝。99.5%氧化铝具有重性很好的介电常数和损耗因子。99.5%氧化铝材料允许有更好的原始表面光洁度和多次重复抛光。这使电路有低损耗和较高Q值。

表1. 最小的綫寬对表面光洁度

(假设金属化厚度为0.0000)

表面光洁度 (μ 英寸, 有效值)	可达到的最小綫寬和间隔的 (英寸)
24	0.006 / 0.007
10	0.0025 / 0.003
2	0.0010 / 0.0015

2. 表面光洁度和粘附

不管衬底材料选择, 获得线路性能和粘着间最好的折衷如下:

一般说来, 表面越粗糙, 粘附越紧密。这是因为粗糙的表面有较大的有效表面面积。不管是形成力学的接合还是化学的接合, 在这个有效表面上获得接合。图1说明了这个原理。注意到10 μ 英寸光洁度有较大的表面, 在其上的接合就强于2 μ 英寸光洁度的表面。因此, 我们推断, 最可能粗糙的表面获得最紧密的粘附接合。但是, 如(I)中讨论的那样, 很粗糙的表面增加了电路损耗。因此, 在电路设计中, 粘附强度必须由损耗来求衡量。

3. 表面光洁度和电路印制

采用的光致抗蚀工艺也影响衬底材料表面光洁度的选择。图 2 描绘的是在24—、10—和2 μ 英寸层上的光致抗蚀。与所显示的一样，衬底表面越光滑，光致抗蚀产生的结果就越好。

在印制工艺过程中，对衬底进行金属化和光致抗蚀。金属化服从陶瓷断面分布，光致抗蚀服从金属化断面分布。对于24 μ 英寸表面，光致抗蚀有引起线路中出小孔的趋势，小孔在腐蚀衬底或镀复金属面均可出现。对于10 μ 英寸光洁度表面，光致抗蚀不产生小孔，但趋向于镀复金属是一薄层。对于大多数情况，这个镀层是足够厚的。2 μ 英寸光洁度表面允许最大的厚度和一致的光致抗蚀层。这样，能获得较大的产量。

为有更能重复的结果，衬底表面必须光滑(10 μ 英寸光洁度或更好)。表 1 表示了目前的工艺在不同表面条件下容易重复生产的最小线宽或间隙。表示这些尺寸是与金属化厚度无关。

腐蚀衬底工艺(将衬底金属化到最后的厚度后腐蚀)，对于越光滑的衬底，能获得越精细的线宽。这是直接受到前面讨论的光致抗蚀破坏和金属化厚度的影响的。底下腐蚀是限制线宽的因素。图(3)表示了底下腐蚀的效应。金属化的厚度等于底下腐蚀。例如，金属化厚度为0.0001英寸，线的每一边底下腐蚀将是0.001英寸。除了表面光洁度外，金属化厚度确定了能达到的最小线宽。表 2 结合表面光洁度和腐蚀衬底因素，总结了能达到的线宽和期望的底下腐蚀。这样，利用腐蚀衬底工艺，能达到最小线宽是表面光洁度和金属化厚度的函数。这些参数是互相依赖的。

使用镀复金属工艺唯一考虑的因素是表面光洁度(表 1 中所示)。图 4 显示了镀复金属工艺是如何进行的。将衬底金属化上一层薄膜，放上光致抗蚀剂并曝光，除去线路部分的光致抗蚀剂。然后，镀复上线路。这样，金属化厚度和底下腐蚀不是确定线宽的因素。

在光滑的表面上适当的应用厚光致抗蚀剂，能容易地达到镀复金属至0.001英寸厚和0.001英寸线宽上下一致的截面。

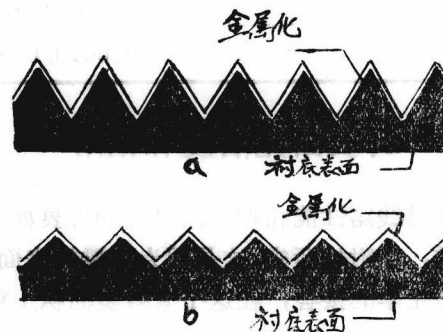


图 1、不同表面粗糙度衬底上金属镀层：a、10 μ 英寸表面；b、2 μ 英寸表面。注意，较粗糙的表面存在较大的有效接合面积。

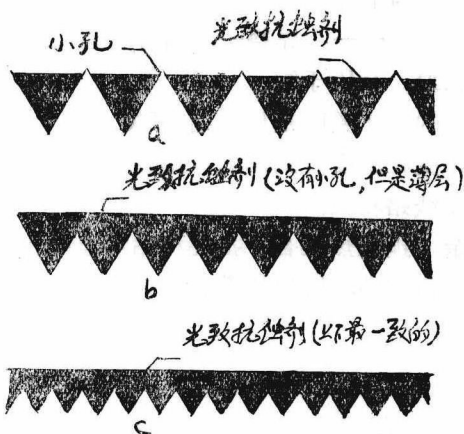


图2、表面光洁度对光致抗蚀剂层的影响：a、24 μ 英寸光洁度出现小孔；b、10 μ 英寸光洁度；c、2 μ 英寸光洁度。注意，表面越光滑，光致抗蚀工艺过程更可靠。

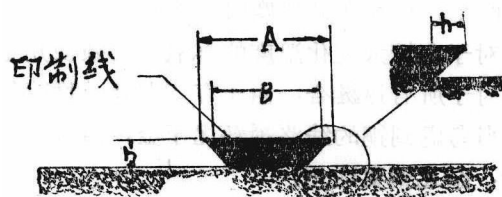


图3、腐蚀期间的底下腐蚀（腐蚀衬底工艺）。这个效应限制了最小线宽。如图所示，线的两边底下腐蚀等于线宽。

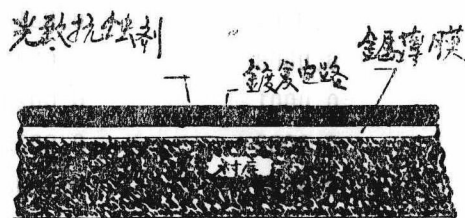


图4 镀复工艺，衬底是金属化了的；使用光致抗蚀剂并经过曝光，然后除去电路一部份；电路是镀复上去的。底下腐蚀和电路厚度都不是确定线宽的因素

4. 金属化选择

这组论文的第1部分说明，铜金属化和金金属化损耗的差别是，铜损耗比金小10%。稳定性或金属惊人氧化的自由度也表明是一个重要的考虑。因在这些线路的封装中，采用一些形式的接合，必须研究接合对线路的影响。

铜的特性是在空气中迅速氧化。此外，在正常的处理中会引起油或其他沾污，这些就能加速氧化或引起金属膜腐蚀。这样，铜丧失了它的吸引力。另一方面，金在这个方面本质上是稳定的。

进一步考虑的是，发射器加上其他组件或器件必须与线路互连。它们将用焊接或键合与线路连接。采用键合时，也要考虑铜和金的差别。

铜和金与普通的60/40锡—铅焊料能柔软的焊接。与金焊接超过安全温度没有毁坏。铜也能很好地焊接，但氧化毁坏点除外。当重复用焊料——非焊料——焊料时，金能粘附得很好。但铜氧化丧失了粘附性。因此，就焊接来说，金优于铜。

当使用环氧接合时，对于金属或非金属，推荐的变化温度是从25到200℃。铜能经受住65℃，但高于此温度时就有降级现象。因此，变化温度直到65℃，铜和金均能应用。对于有较大变化温度的环氧，必须使用金维持线路特性。

对于所有热键合，由于存在高温，推荐使用金。铜在热键合下损耗和粘附会变化。

当考虑到铜的线路损耗优于金，但金有长期的稳定性和较好的键合能力，我们必须推断，金比铜更适用。

表 2 各种表面光洁度下使用腐蚀衬底工艺
的最小线宽对金属化厚度

表面光洁度 (μ 英寸, 平均值)	金属化厚度 (英寸)	线宽A (英寸)	线宽B (英寸)
2	0.0001	0.0015	0.0014
2	0.0002	0.0018	0.0016
2	0.0003	0.0021	0.0018
10	0.0001	0.0029	0.0028
10	0.0002	0.0032	0.0030
10	0.0003	0.0035	0.0032
24	0.0001	0.0062	0.0001
24	0.0002	0.0065	0.0063
24	0.0003	0.0068	0.0065

5. 工 艺 现 状

这里提出的所有数据是对于大批工艺过程的微波集或线路。利用特殊的工艺和更昂贵的工艺过程，能获得比这里说明的更好的结果，但是，这是以较低的产量为代价的。为了确定最适用于特殊应用的最佳或折衷设计，线路设计者必须对着线路性能和经济性衡量所有因素。

译自“Microwave January 1967. The real World of Micromic Substrates Part 2”

微波带状线衬底(Ⅲ)

这组文章的前两篇是论述实现超小型化线路选择采用的材料和金属化。下一步要确定实际的线路。这里对最通用的氧化铝提出了波长和阻抗曲线图。

1. 阻 抗

使用H. Awheeler和A. Besser提供的数据已经计算了微波带状线的特性阻抗。从样品线路精确的检查了曲线图,有百分之二或更好的精确度。

图1给出了纯度为99.5%氧化铝(Al_2O_3 , 厚为0.050英寸或0.025英寸)和96%氧化铝的特性阻抗对线宽曲线图。

图1是简化了的,阻抗直接在微波带状线术语中给出,也就是在查表前不需要使用 ϵ 因子。此外,线宽考虑了修正。

这样,为了在厚为0.025英寸的99.5% Al_2O_3 上80 Ω 阻抗线需要的线宽。使用图1曲线在80 Ω 处的读出线宽0.0075英寸。这是印制在衬底上近似的线宽。

2. 波 长

因微波带状线是非平衡传输线(中心导体的一边是高介质材料,另一边是空气。),传输线介电常数处在衬底材料和空气的介电常数之间。这样,必须求得有效介电常数用于微波带状线。对于一定厚度的衬底,这个介电常数随线宽而变化,因为较宽的线宽比较狭的线宽在衬底材料内含有更多的射频能量。为了设计线路,已知有效介电常数的范围是主要的。

图2给出了99.5%和96%氧化铝有效介电常数对微波带状线阻抗(因而也是线宽)的曲线图。这里也采用了阻抗曲线中使用的简化。

图3是微波带状线的波长曲线图。

使用图2和3是直接的。但是,为了确定50 Ω 线以外的传输线波长,我们必须解如下比:

$$\lambda_{ms50} = \sqrt{\frac{\epsilon'_{r50}}{\epsilon'_{rz}}} \quad (1)$$

其中,

λ_{ms50} = 图(3)中任一频率下的波长,

ϵ'_{r50} = 图(2)中50 Ω 线的有效介电常数,

ϵ'_{rz} = 图(2)中任一Z值处有效介电常数,

λ_{mS_z} = 一定频率和阻抗下的传输线波长。

为了简化这个问题，已经求得图 4。这是方程(1)右边对 50Ω 的归一化曲线图。为了确定 50Ω 以外阻抗的波长，所要做如下：

如上所说，由图 3 读出 λ_{mS50} ；

由图(4)读出 R ；

计算

$$\lambda_{mS_z} = R \lambda_{mS50}$$

3. 样 品 问 题

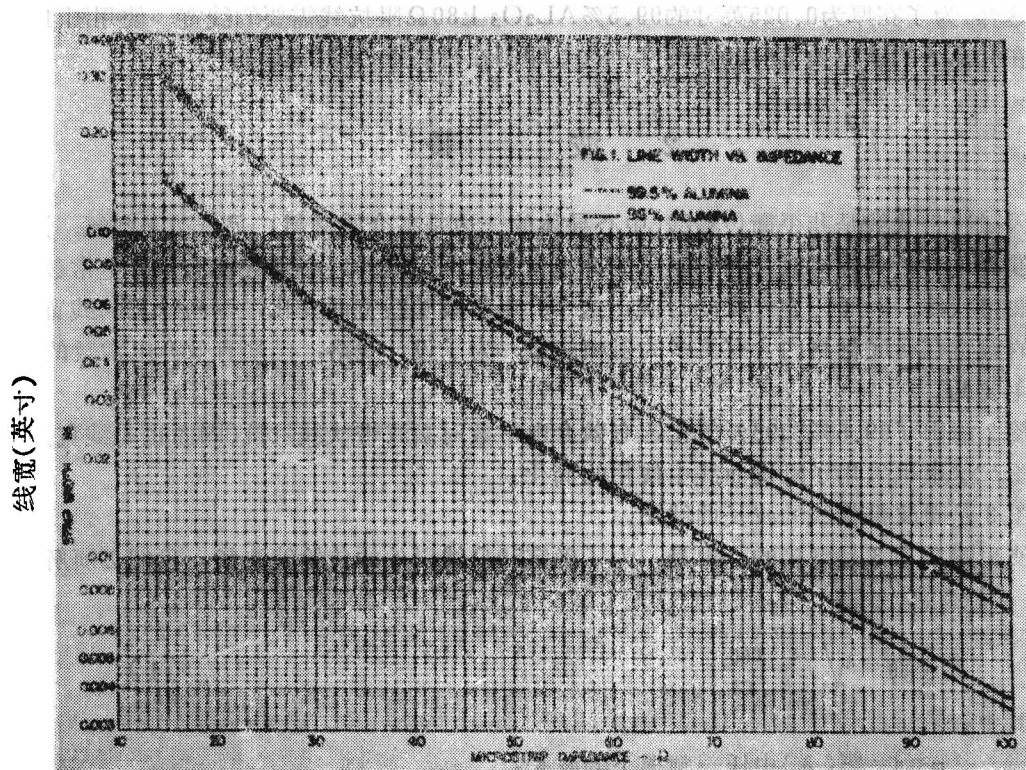
作为一个例题，确定厚为 0.025 英寸的 99.5% 氧化铝上 82Ω 线在 6GHz 时的线宽和波长。方法如下：

由图 1. 对于 82Ω 线，线宽 $W = 0.006$ 英寸；

由图 3. $\lambda_{mS50} = 0.774$ 英寸

由图 4. $R = 1.035$

这样， $\lambda_{mS85} = 1.035 \times 0.774 = 0.801$ 英寸。



微波带状线阻抗(Ω)

图1. 线宽对阻抗曲线图