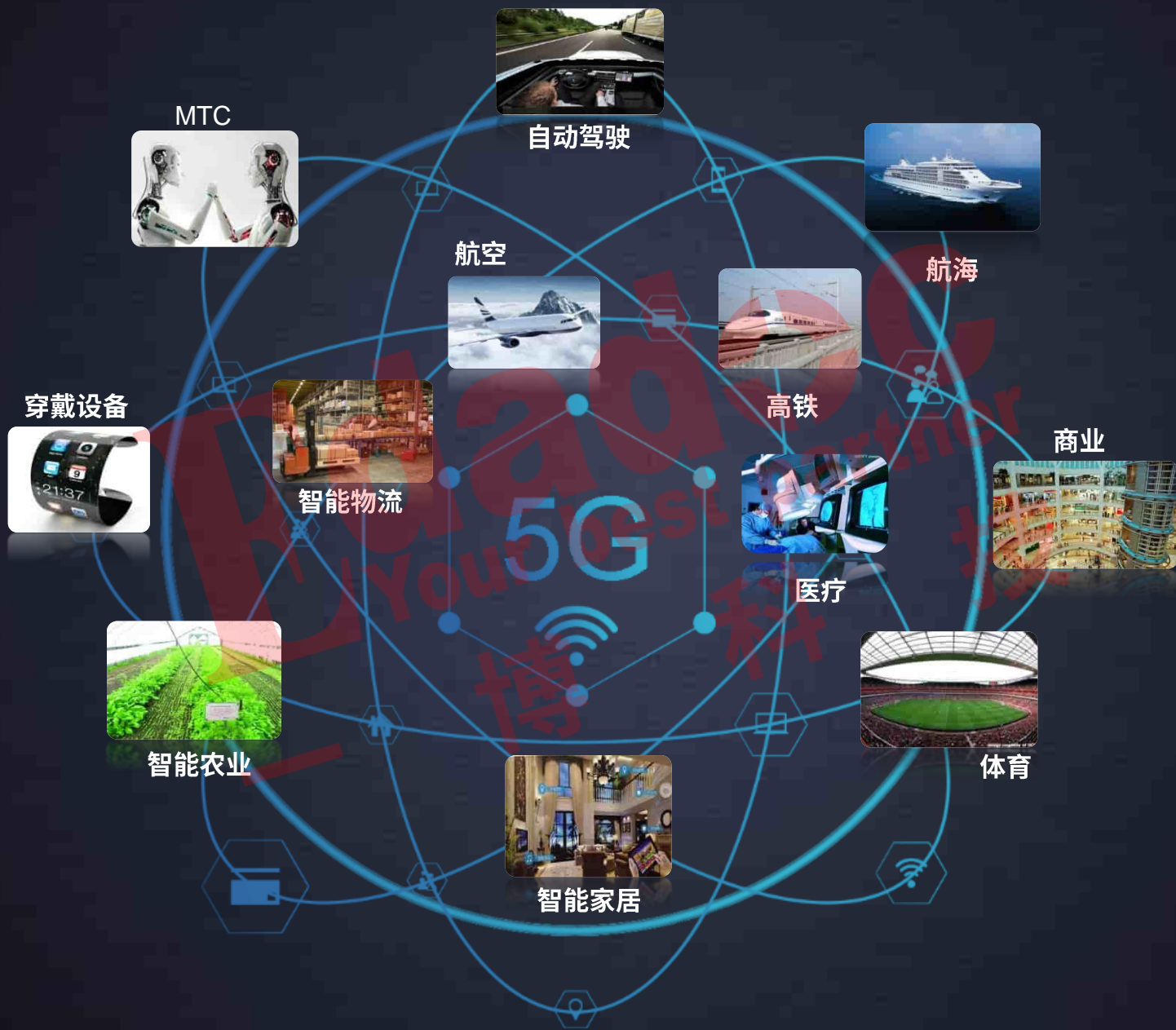


# 5G时代，如何平衡 PCB从设计到生产之间的那些事

一博经典案例2020



# 4G 改变生活，5G 改变社会



# 阻抗报告很美好

- 看阻抗报告就跟看新闻联播一样
- 但是一实测就是焦点访谈
- 一深挖就成了走进科学

### 阻抗测试 IMPEDANCE TESTING

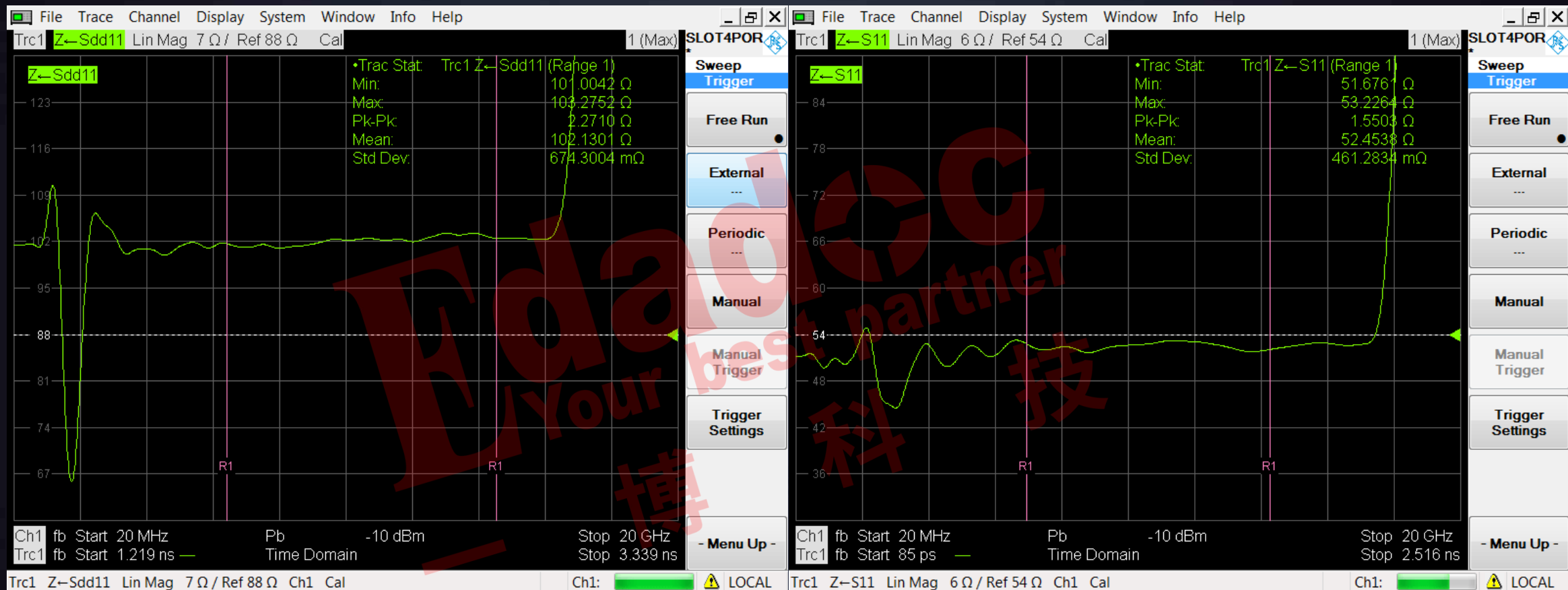
	层别 Layer	要求(欧姆) Requirement(ohm)	实测(欧姆) Result(ohm)	判定 Judgement	备注 Remark
单线阻抗 Single Impedance	L18	50 ± 5	49.20	ACC	
	L1	50 ± 5	50.80	ACC	
	L18	50 ± 5	50.20	ACC	
	L3	50 ± 5	54.90	ACC	
	L5	50 ± 5	53.20	ACC	
	L7	50 ± 5	54.60	ACC	
	L10	50 ± 5	54.50	ACC	
	L12	50 ± 5	54.70	ACC	
	L14	50 ± 5	54.60	ACC	
	L16	50 ± 5	53.50	ACC	
	L18	50 ± 5	52.50	ACC	
	L1	50 ± 5	51.20	ACC	
	L1	50 ± 5	49.60	ACC	
差分阻抗 Differential Impedance	L1	100 ± 10	92.10	ACC	
	L3	100 ± 10	102.10	ACC	
	L5	100 ± 10	105.40	ACC	
	L7	100 ± 10	105.80	ACC	
	L10	100 ± 10	103.60	ACC	
	L12	100 ± 10	107.10	ACC	
	L14	100 ± 10	102.10	ACC	
	L16	100 ± 10	103.50	ACC	

# 板子的阻抗怎么测试

一博科技

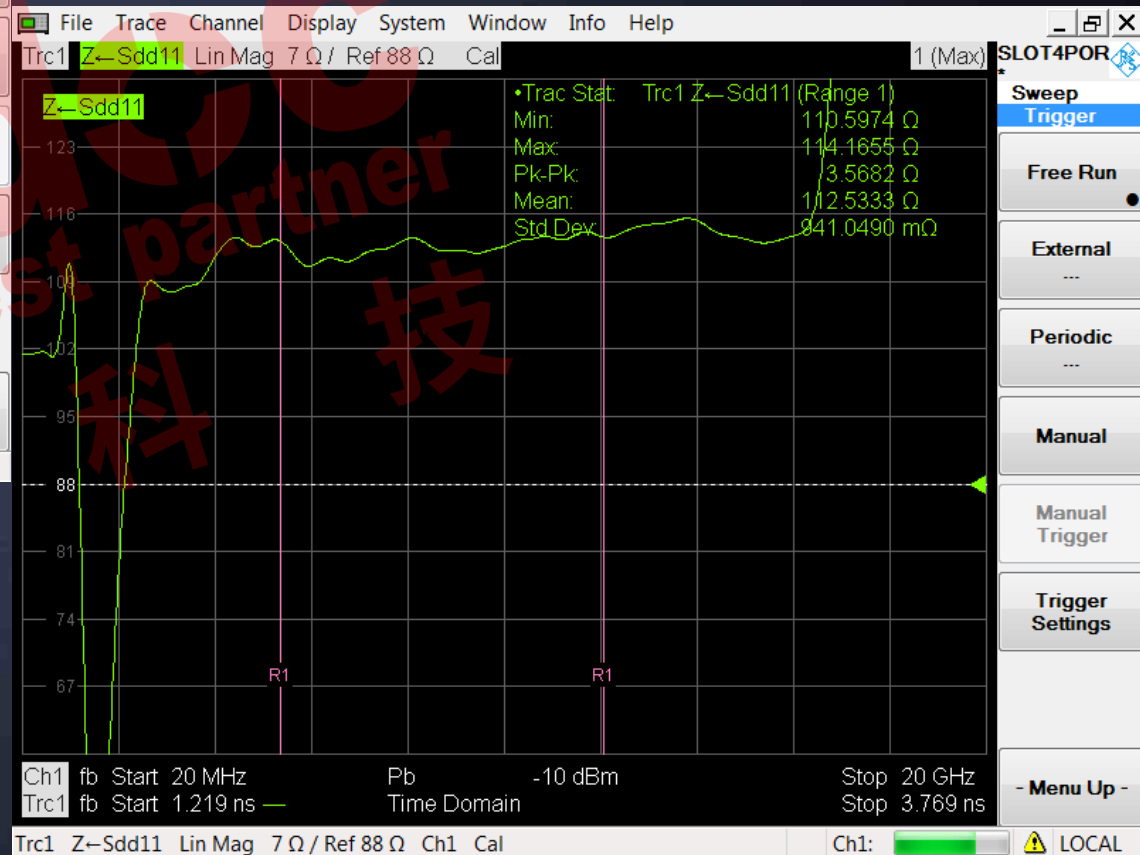
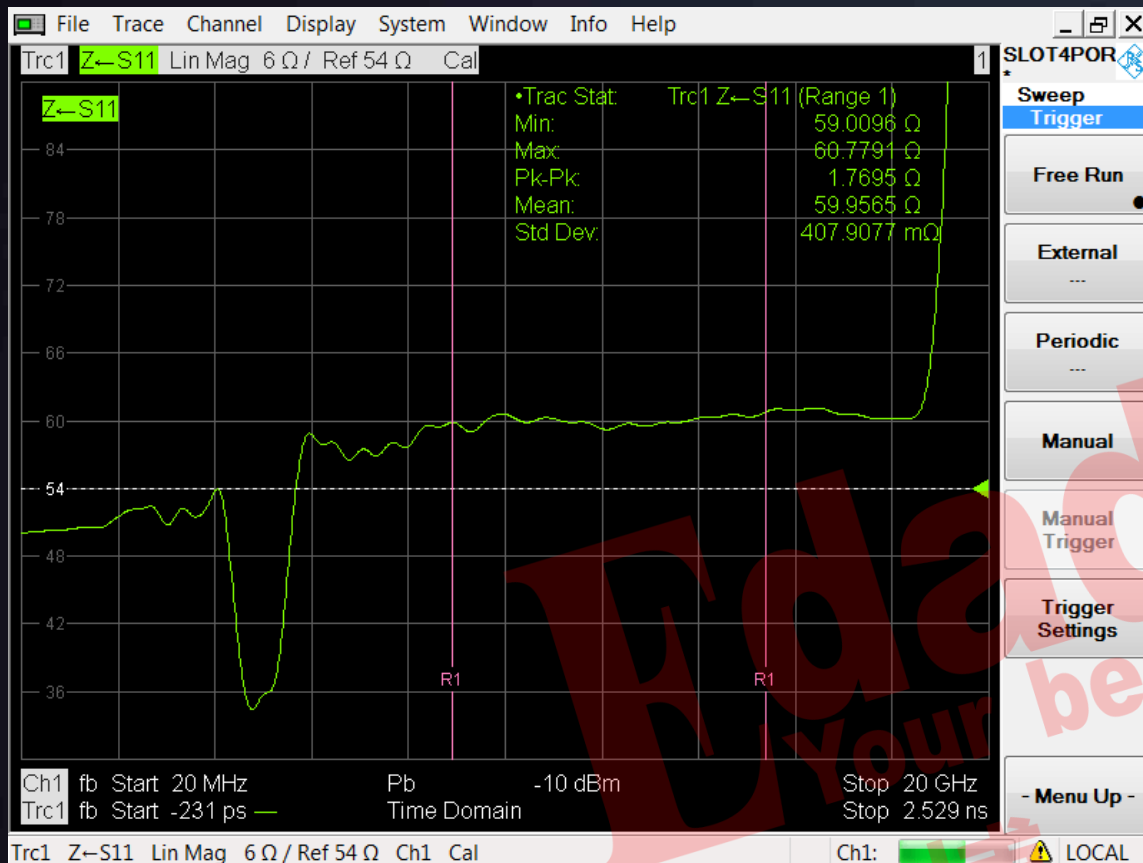


# 阻抗条测试的结果



# 工厂的阻抗总是做不好

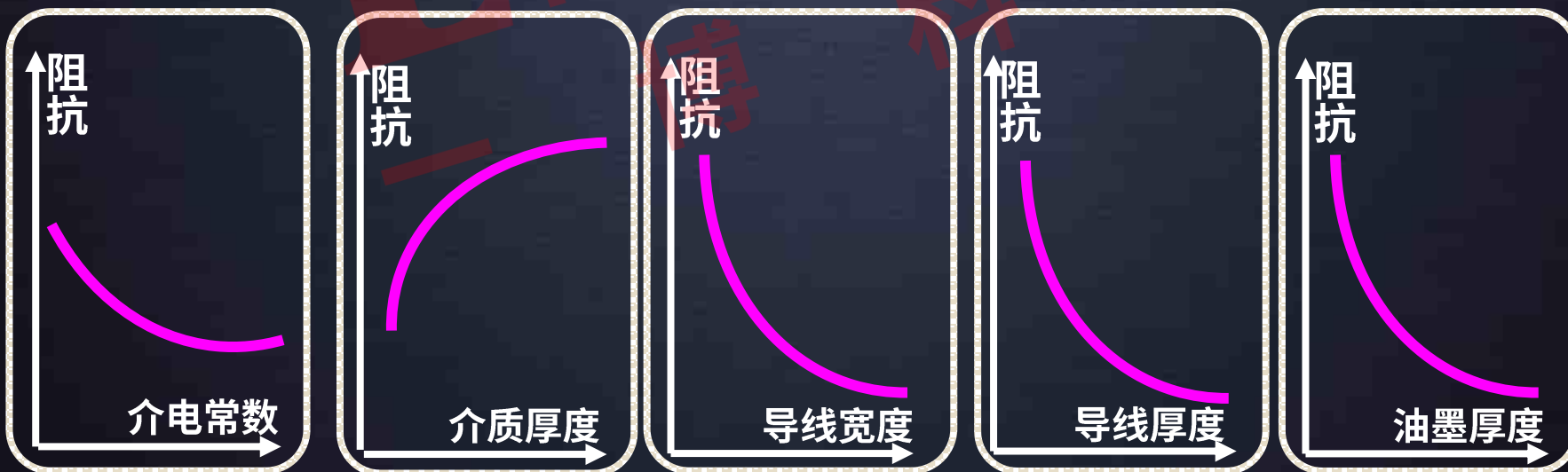
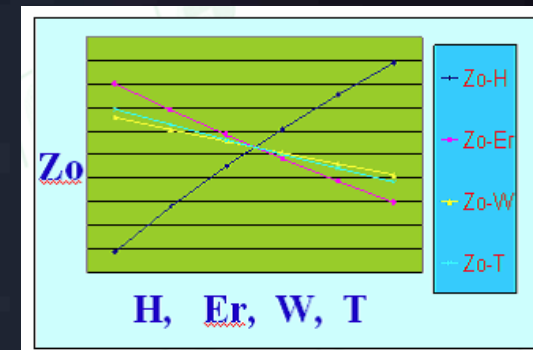
一博科技



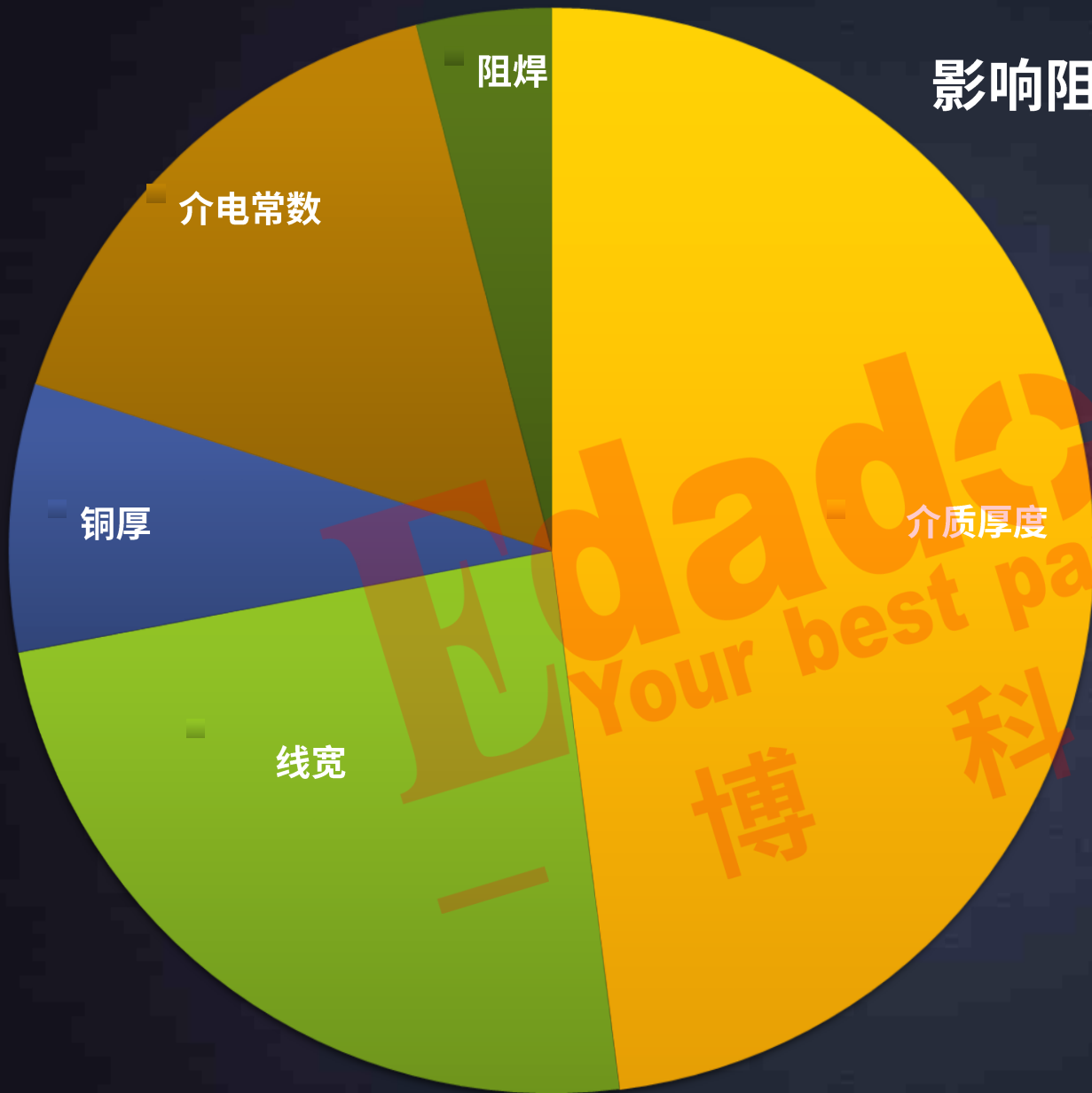
影响特性阻抗的主要因素有：

介电常数、介质厚度、导线宽度、导线厚度、油墨厚度等。

根据阻抗的结构图及各相关因素的公式可计算出各因素的贡献度：



# 影响的比例

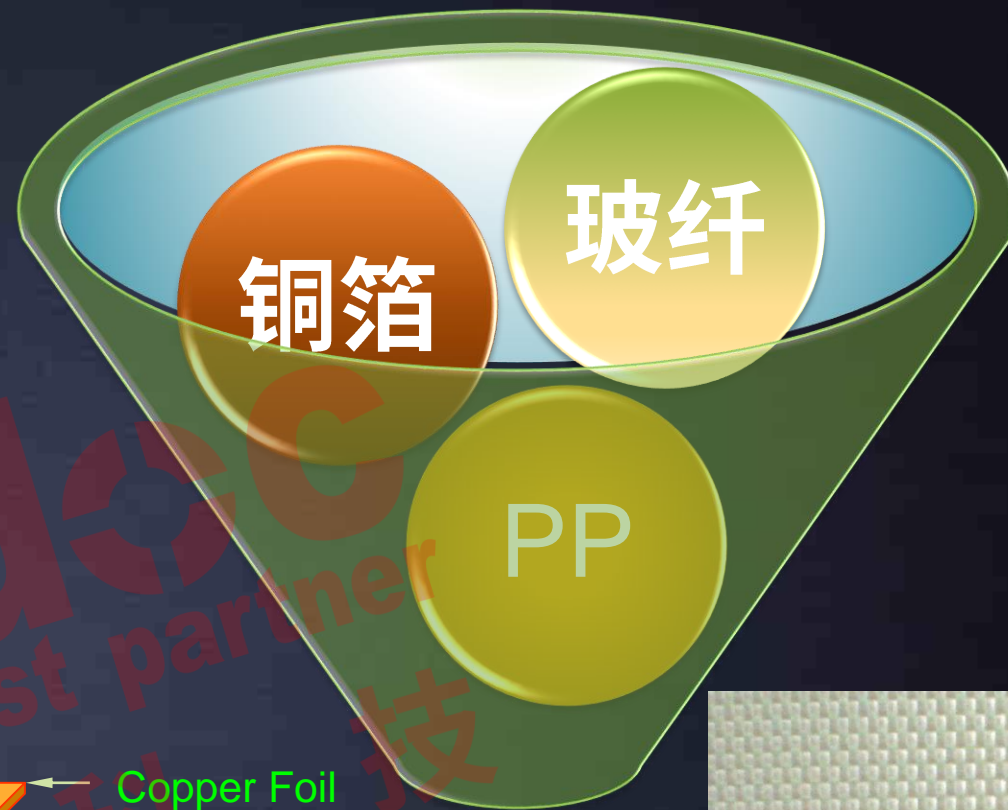
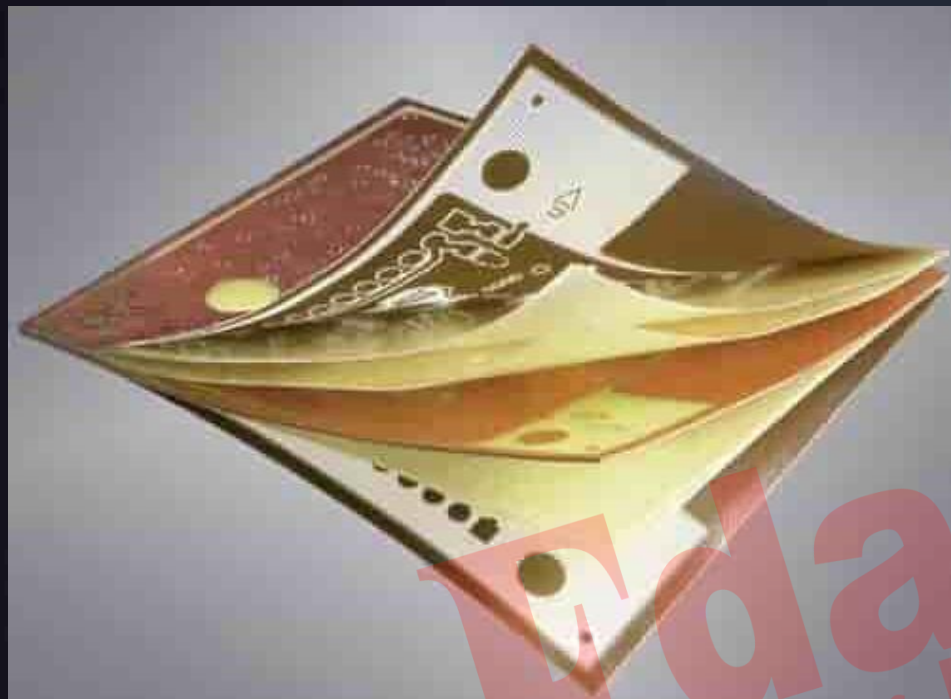


## 影响阻抗的比例

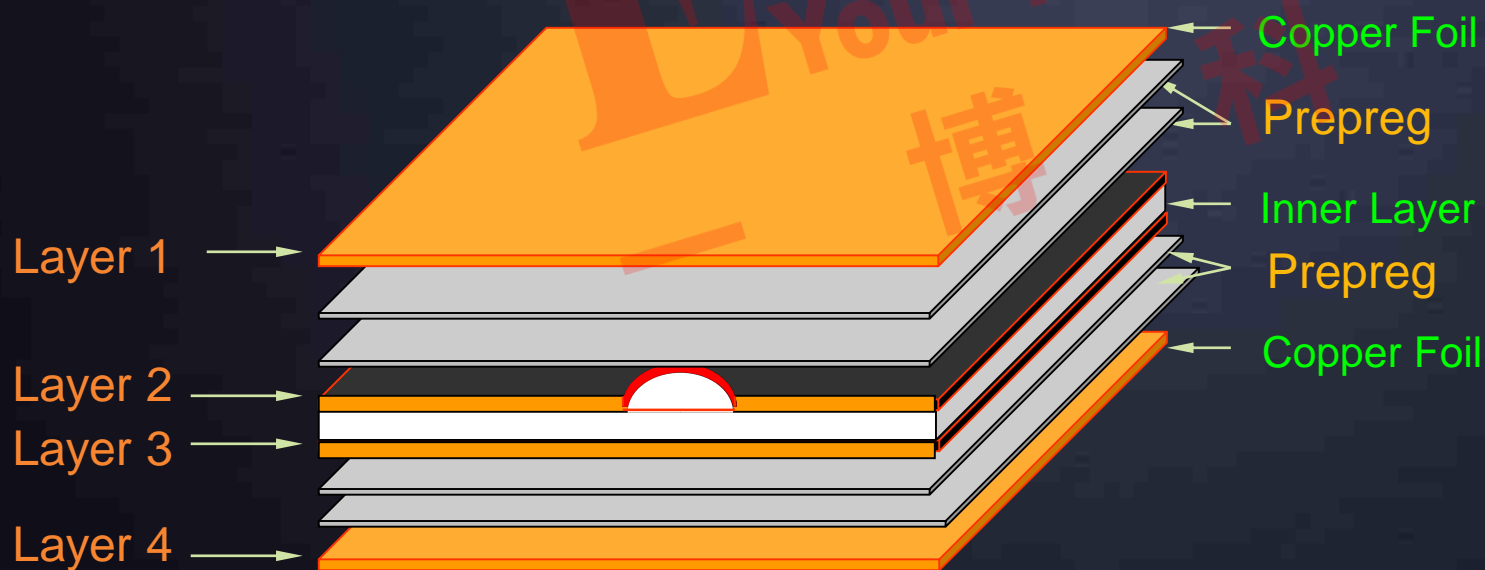
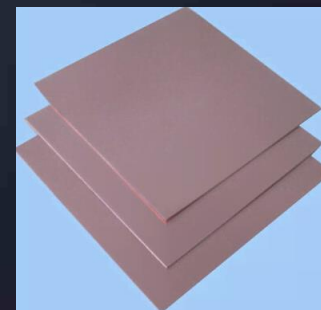
影响最大的是介质厚度（绝缘层厚度），其次是导线宽度，介电常数，最小是导线厚度。在选定基材后， $\epsilon_r$  变化很小， $H$  变化亦小， $T$  较易控制，而线宽 $W$ 控制在 10%是困难的，且线宽问题又有导线上出现针孔、缺口、凹陷等问题。从某种意义上说，控制 $Z$ 最有效最重要的方法是调整线宽及介质厚度。



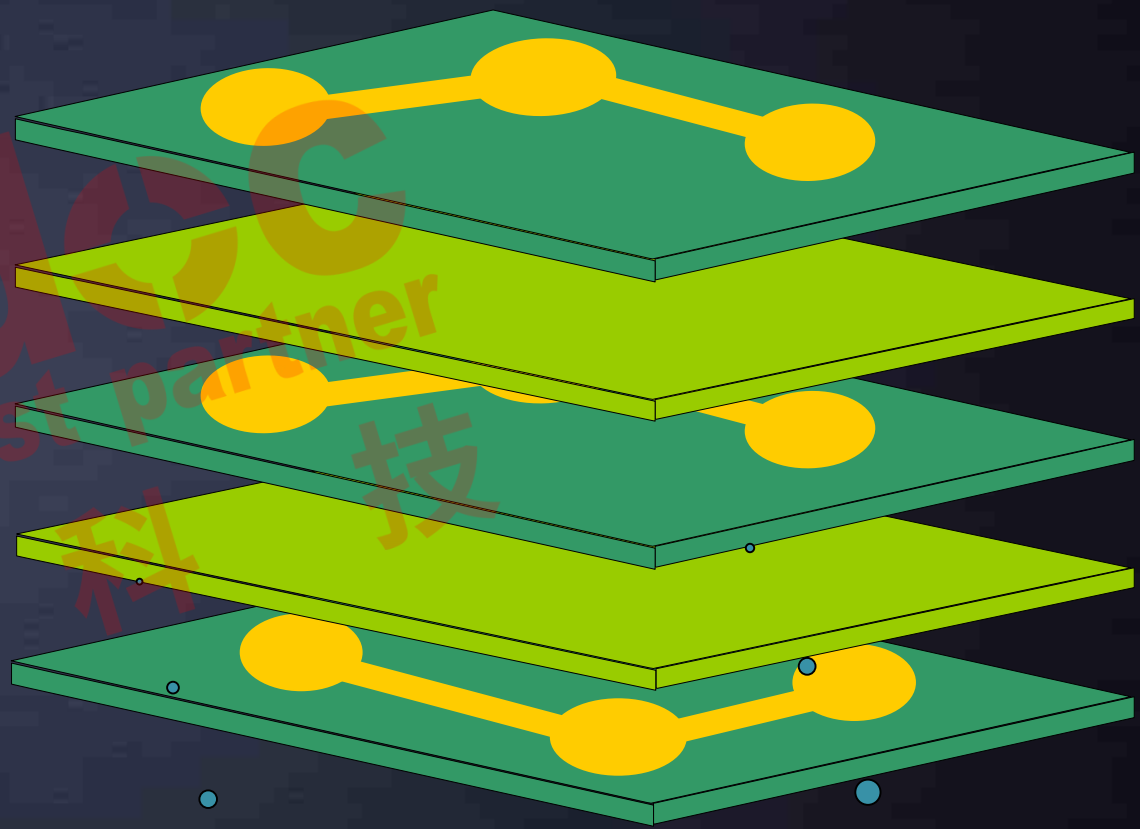
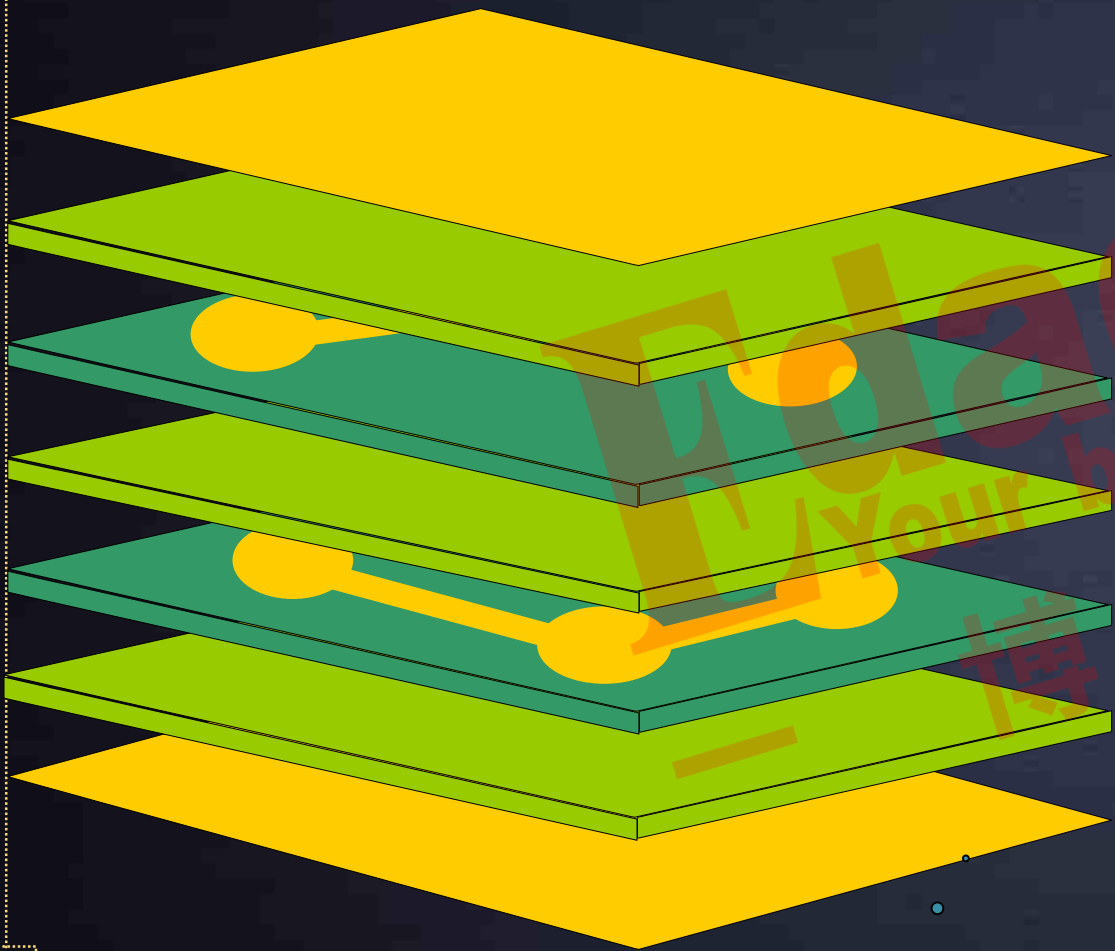
# 材料组成



CCL



# 叠层



一博科技

铜箔

PP

芯板

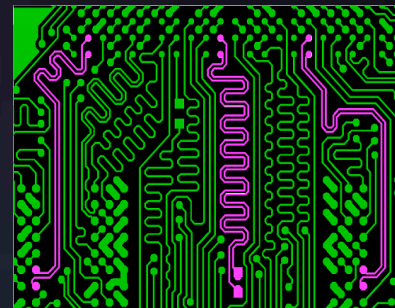
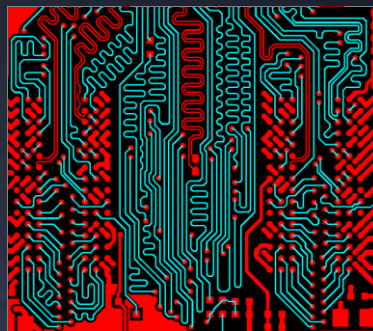
# 阻抗的分类

## 阻抗的分类

差分阻抗

外层差分  
阻抗

内层差分  
阻抗



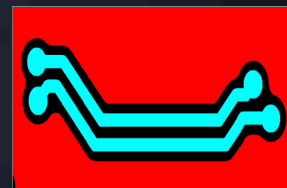
单端阻抗

外层单端  
阻抗

内层单端  
阻抗

单端阻抗

差分阻抗



共面阻抗

外层共面  
阻抗

内层共面  
阻抗

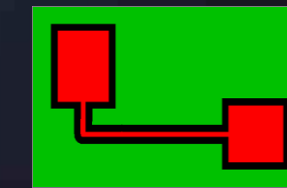
外层差分  
共面

外层单端  
共面

内层差分  
共面

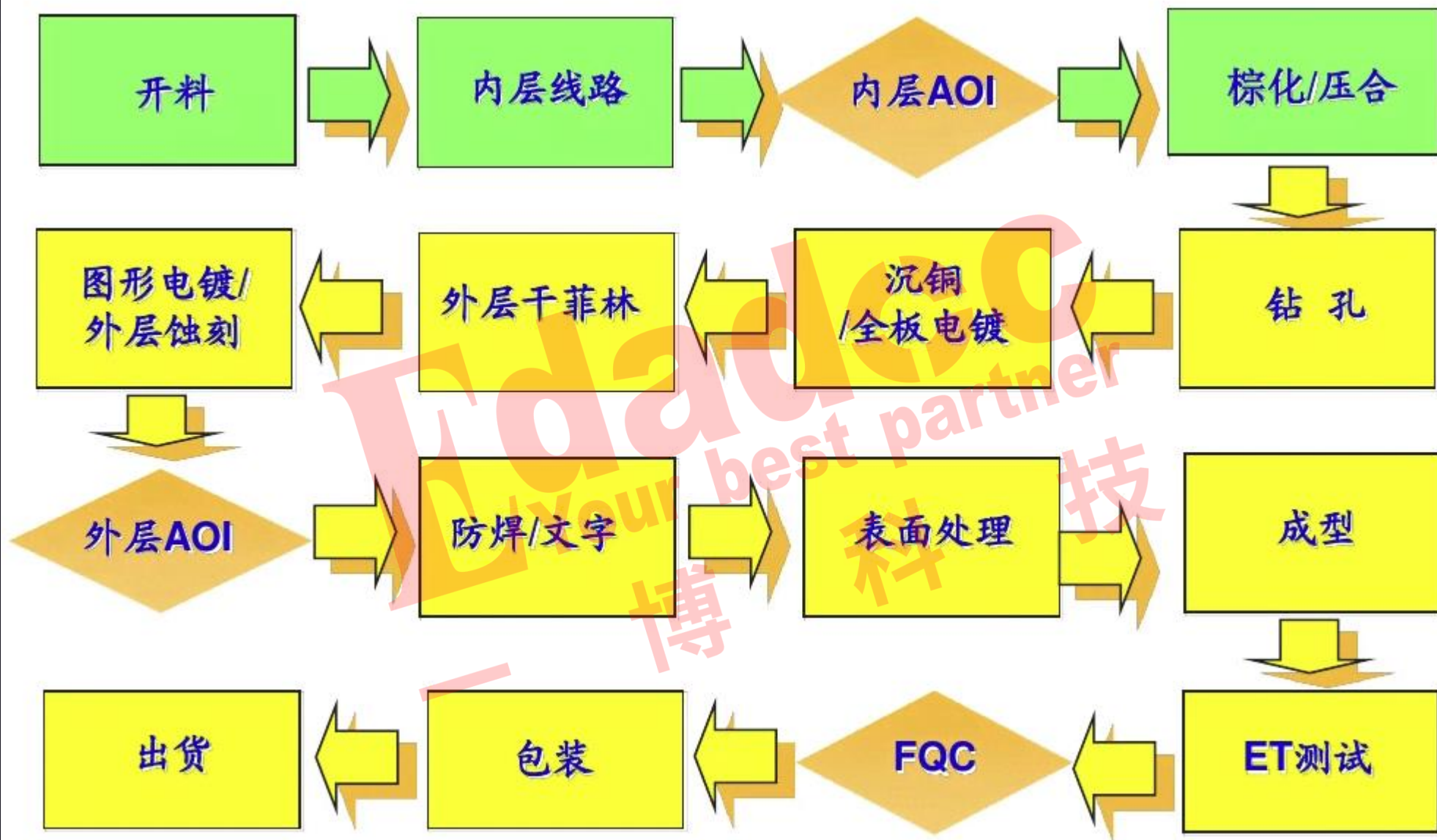
内层单端  
共面

差分共面阻抗

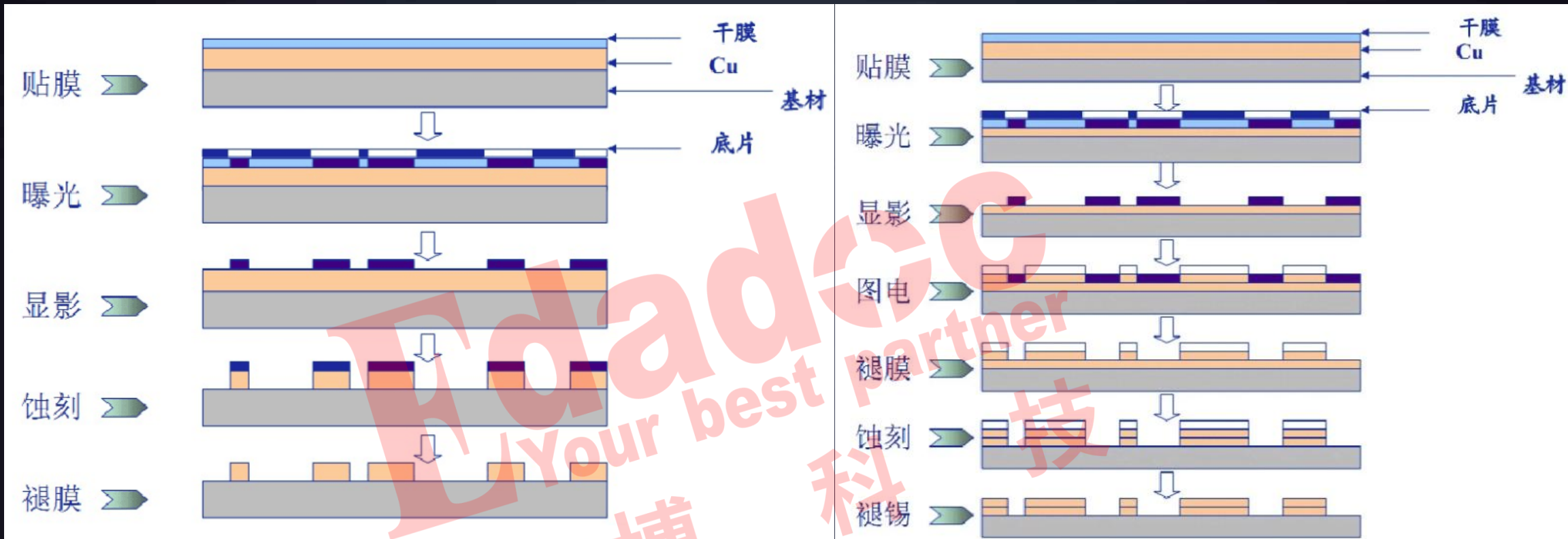


单端共面阻抗

# PCBH工艺流程



# 内外层线路的制作流程



内层

外层

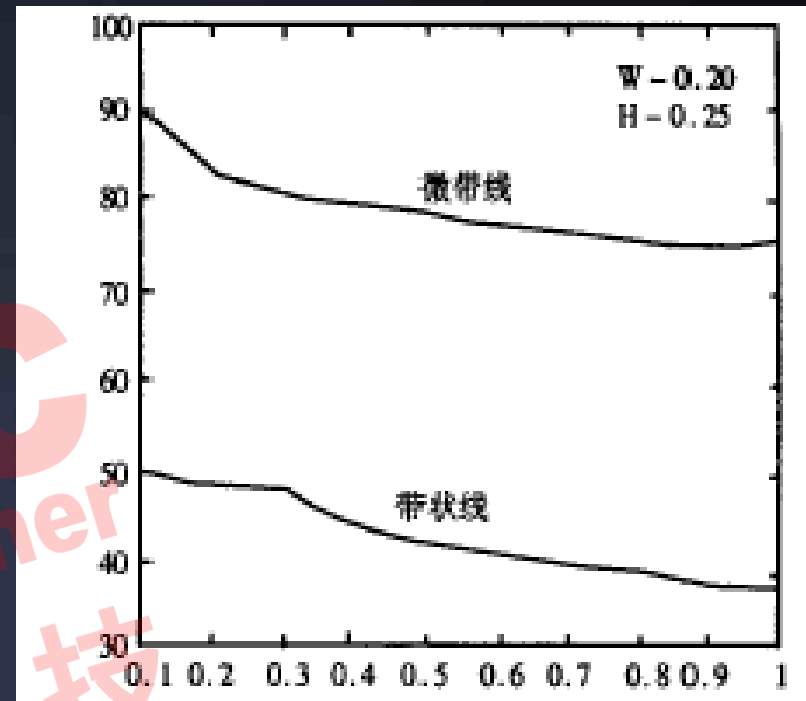
多了一次电镀，影响有多大

# 外层铜厚是1+1=2吗

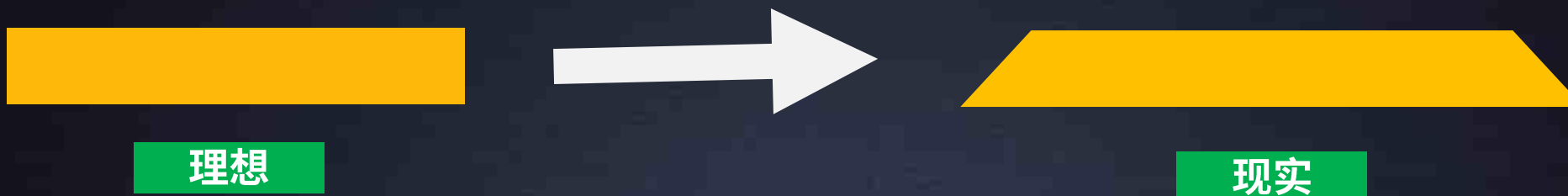
导线厚度越大，其特性阻抗就越小，但影响相对较小。

表3-12 电镀后外层导体厚度

重量 <sup>1,4</sup>	铜最小绝对值 (比IPC-4562 中的标称 值减少10%) ( $\mu\text{m}$ )[ $\mu\text{in}$ ]	对于1级和 2级产品, 加上最小镀层 <sup>2</sup> (20 $\mu\text{m}$ )[787 $\mu\text{in}$ ]	对于3级产品, 加上最小镀层 <sup>2</sup> (25 $\mu\text{m}$ )[984 $\mu\text{in}$ ]	加工允许减 少的最大值 <sup>3</sup> ( $\mu\text{m}$ )[ $\mu\text{in}$ ]	加工后的最小表面导体铜厚度 ( $\mu\text{m}$ )[ $\mu\text{in}$ ]	
					1级和2级	3级
1/8oz.	4.60[181]	24.60[967]	29.60[1,165]	1.50[59]	23.1[909]	28.1[1,106]
1/4oz.	7.70[303]	27.70[1,091]	32.70[1,287]	1.50[59]	26.2[1,031]	31.2[1,228]
3/8oz.	10.80[425]	30.80[1,213]	35.80[1,409]	1.50[59]	29.3[1,154]	34.3[1,350]
1/2oz.	15.40[606]	35.40[1,394]	40.40[1,591]	2.00[79]	33.4[1,315]	38.4[1,512]
1oz.	30.90[1,217]	50.90[2,004]	55.90[2,201]	3.00[118]	47.9[1,886]	52.9[2,083]
2oz.	61.70[2,429]	81.70[3,217]	86.70[3,413]	3.00[118]	78.7[3,098]	83.7[3,295]
3oz.	92.60[3,646]	112.60[4,433]	117.60[4,630]	4.00[157]	108.6[4,276]	113.6[4,472]
4oz.	123.50[4,862]	143.50[5,650]	148.50[5,846]	4.00[157]	139.5[5,492]	144.5[5,689]



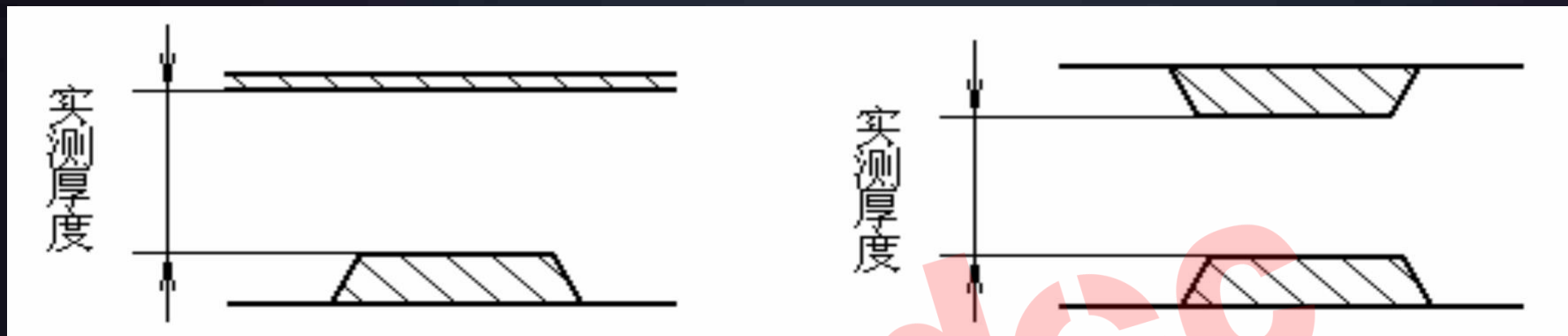
# 外层线宽有0.5mil的变化



项 目	外层特性阻抗		外层差分阻抗			
	W≤5	5<W≤10	W≤6	6<W≤10	S≤4.8	4.8<S≤6
线宽\mil						
阻抗\ohm	4.1~3	2.7~1.8	6.7~4.3	3.7~2.2	4.1~3.1	2.5~2.1

铜厚在35um时，导线的宽度变化差异在15-20um，线宽≤6mil,介质厚度小于5mil时，此类阻抗需严加控制。

# PP实际厚度



类型一：芯板与铜箔之间（单面填胶）    类型二：内层芯板之间（双面填胶）

类型一：实测厚度=理论厚度-铜厚\*（1-残铜率）（表层的残铜率取100%，光板 残铜率为0）

类型二：实测厚度=理论厚度-铜厚1\*（1-残铜率1）-铜厚2\*（1-残铜率2）

项 目	外层特性阻抗		外层差分阻抗	
介质厚度\mil	H≤5	5<H≤229	H≤5	5<H≤7.1
阻抗\ohm	4.3~3.2	2.9~2.1	8.2~4.2	3.5~2.3

介质厚度变化0.5mil



# 压合、填胶计算

## • 举例说明:

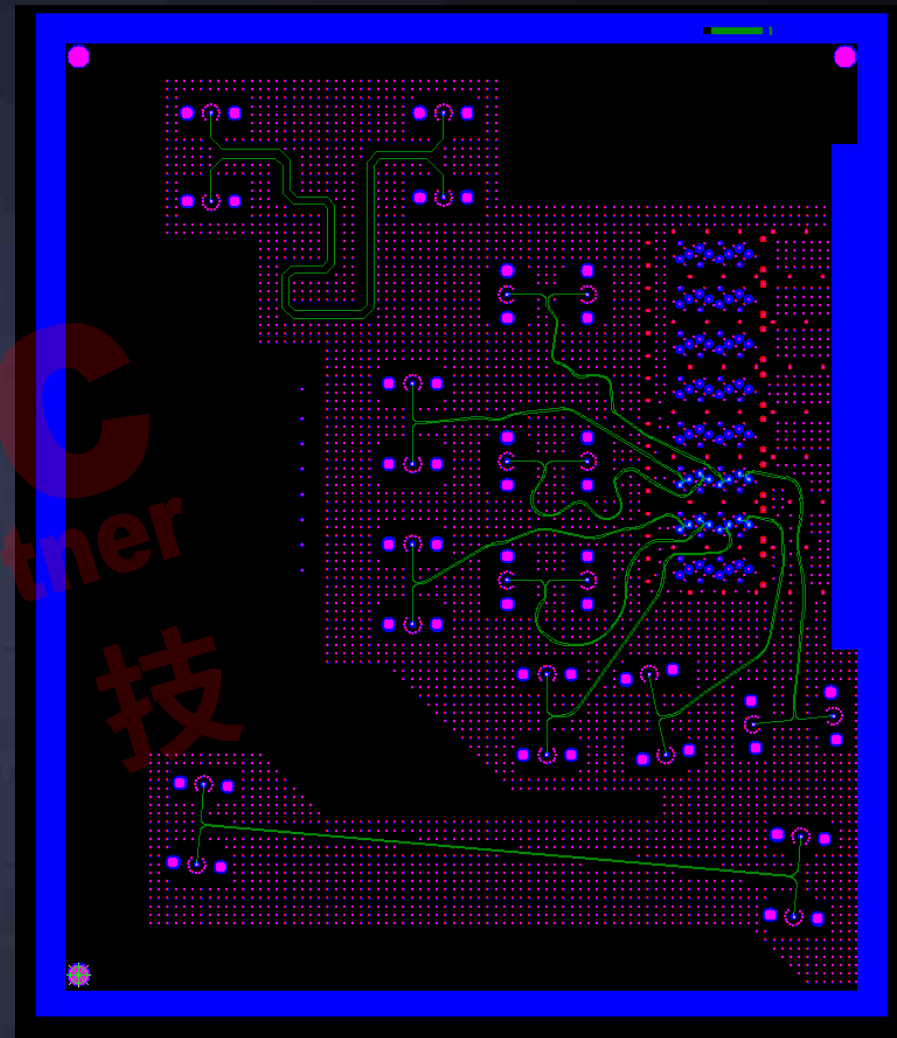
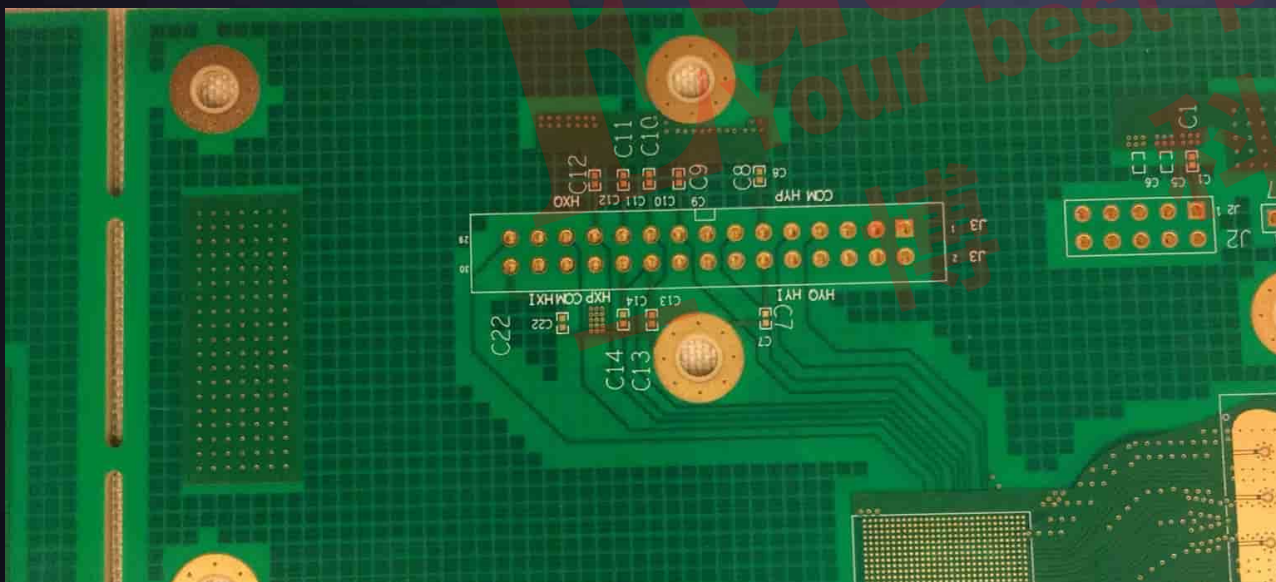
假如 GTL层有阻抗线,参考层为L2,则(L2层残铜率为:50%,  
2116HR理论厚:0.14mm,L2层铜厚为 0.035mm)

实际PP厚度=PP理论厚度-L2层铜厚\*(1-L2层残铜率)

PP实际厚为=0.14-{0.035\*(1-50%)}---理论

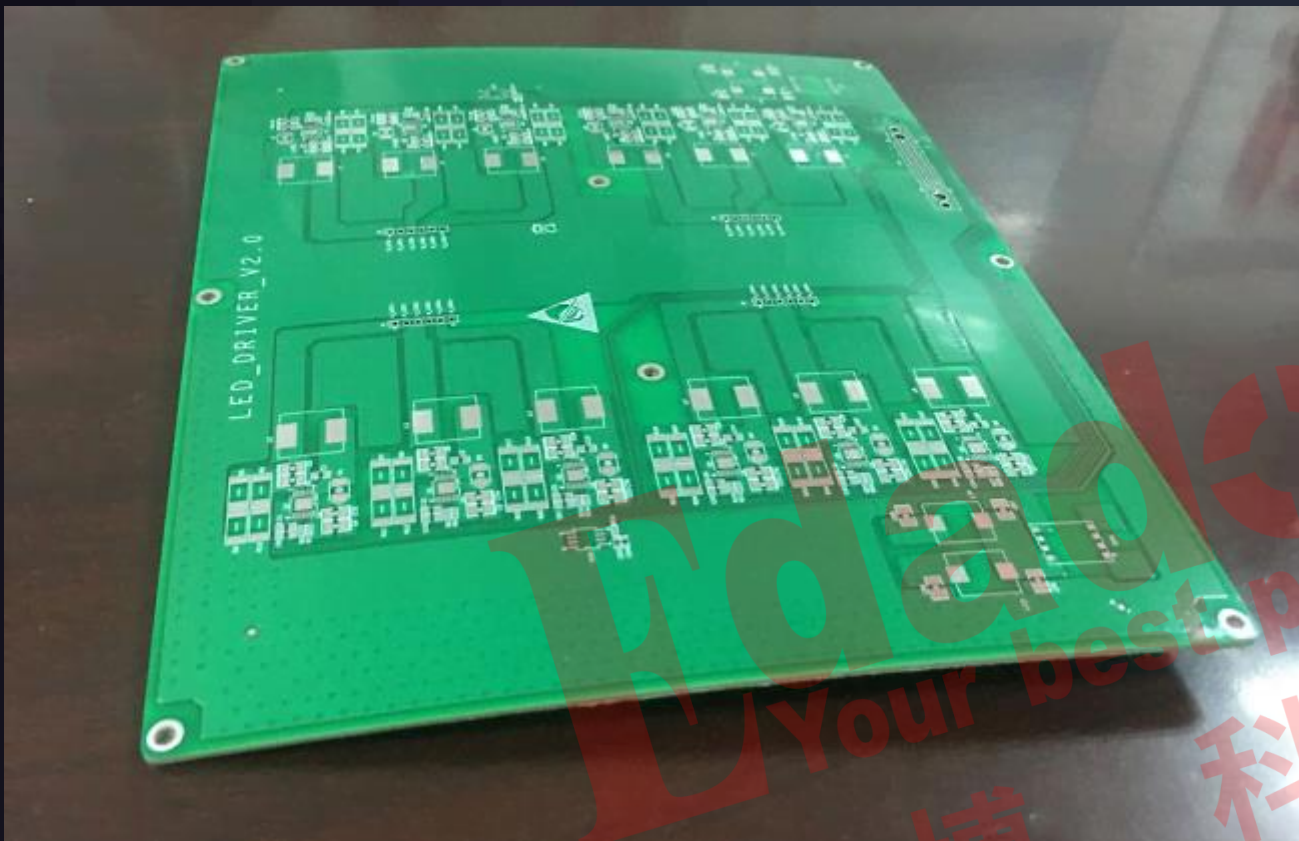
## • 公式:

实际PP厚度=PP理论厚度-内层铜厚\*(1-内层铜厚对应层残铜率)



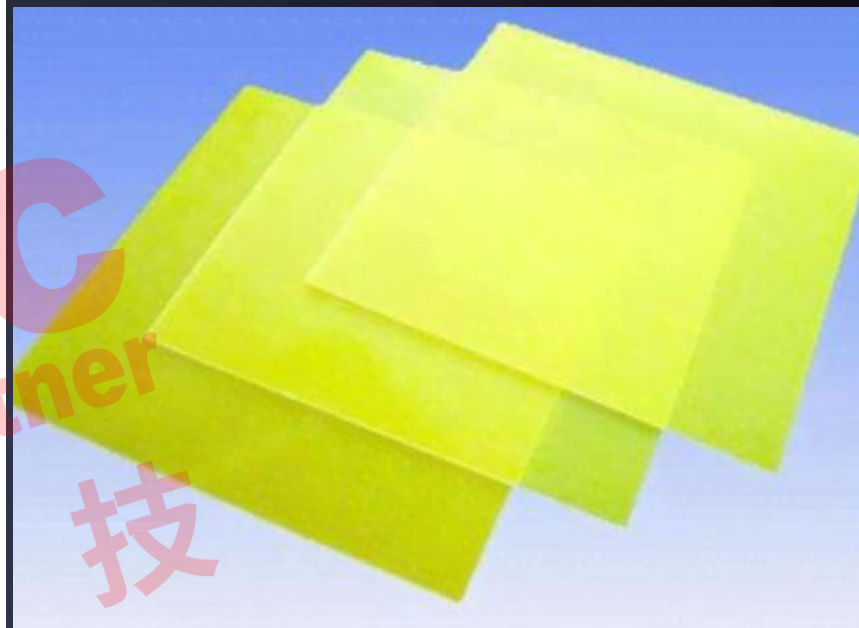
板内铺铜块，有什么作用，这种做法有什么影响

# 压合缺胶有什么后果?



# 各层之间的PP公差

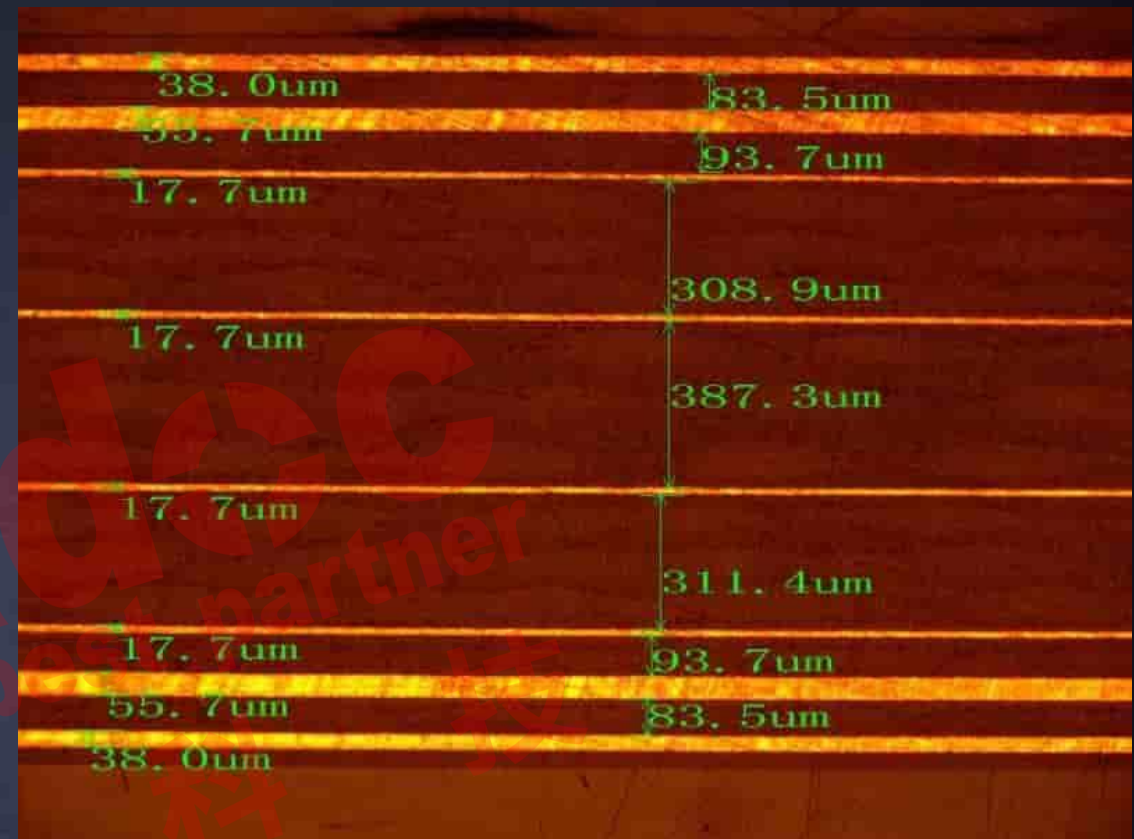
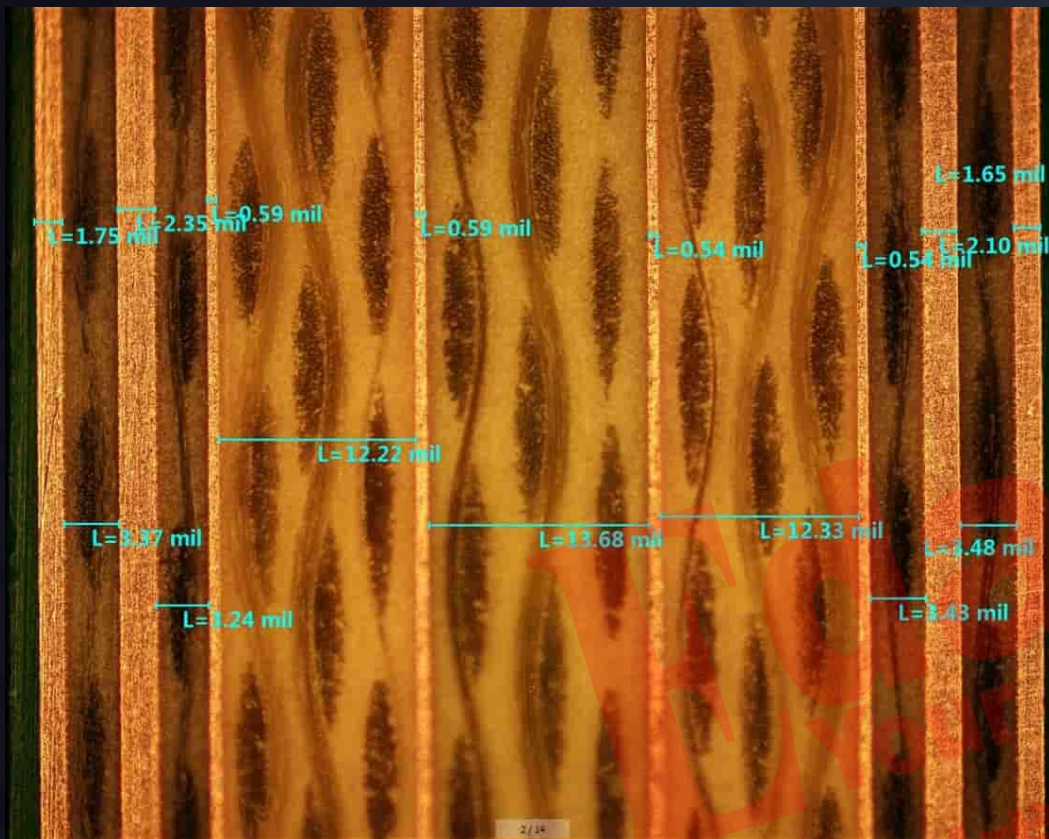
切片位置	客户要求 (mil)	实测值							判定结果
		1	2	3	4	5	6	7	
L1	≥1.15	1.59	1.75	1.57	1.46	1.57	1.62	1.46	ACC
L1-2	3.24+/-0.709	3.24	3.37	3.27	3.24	3.51	3.48	3.37	ACC
L2	≥1.15	2.19	2.35	2.35	2.1	2.05	2.27	2.19	ACC
L2-3	3.4+/-0.709	3.29	3.24	3.56	3.18	3.67	3.37	3.43	ACC
L3	0.69	0.54	0.59	0.54	0.54	0.54	0.84	0.59	ACC
L3-4	12.01+/-1.969	12.33	12.22	12.33	12.41	12.28	12.41	12.36	ACC
L4	0.69	0.65	0.59	0.65	0.59	0.59	0.65	0.57	ACC
L4-5	15.13+/-1.969	15.25	13.68	15.46	15.11	15.35	13.55	14.68	ACC
L5	0.69	0.54	0.54	0.57	0.57	0.62	0.59	0.54	ACC
L5-6	12.01+/-1.969	12.41	12.33	12.36	12.36	12.33	12.41	12.33	ACC
L6	0.69	0.57	0.54	0.67	0.54	0.57	0.65	0.62	ACC
L6-7	3.41+/-0.709	3.75	3.43	3.67	3.67	3.72	3.37	3.48	ACC
L7	≥1.15	2.1	2.1	2.16	2.16	2.1	2.1	2.05	ACC
L7-8	3.25+/-0.709	3.24	3.48	3.18	3.27	3.48	3.43	3.32	ACC
L8	≥1.15	1.75	1.65	1.81	1.51	1.38	1.57	1.73	ACC
压合板厚	1.518+/-0.13mm	1.62	1.58	1.63	1.6	1.63	1.58	1.6	ACC



传说中的PP是什么

型号	1080	2116L	2116A	2116H	1500	7628L	7628A	7628H	7628M
厚度 mil	3	4	4.5	5	6	7	7.5	9.3	8

# 切片对比图



左边为A提供的，右边为我司的切片图

項目	膠含量%	凝膠時間(秒)	揮發份含量%	玻璃布基重(g)	100%殘銅壓合厚度(ml)
1080RC 62%	62.0±2.0	110±20	<0.75	48±5	2.8±0.5
1080RC 65%	65.0±2.0	110±20	<0.75	48±5	3.1±0.5
1080RC 68%	68.0±2.0	110±20	<0.75	48±5	3.4±0.5

# 总结

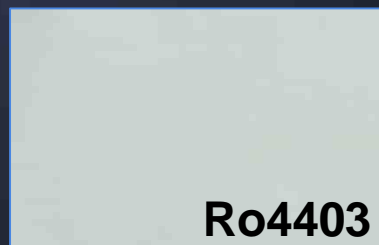
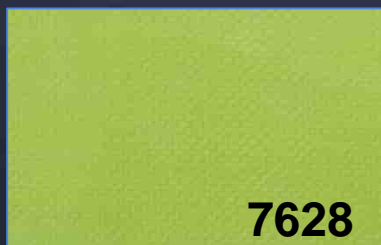
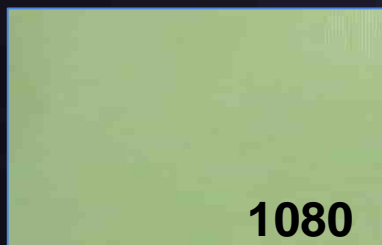
- PP的厚度是有误差的，RC有 $\pm 2\%$ 的公差
- 我们曾经用1080测试过，和line up中的厚度偏差最大为20um。
- 正常的偏差在12um左右，建议按 $\pm 12\mu\text{m}$ 的公差去考虑设计裕量

结合实际生产和切片的测试结果如下：

1080:  $\pm 0.3\text{mil}$

2116:  $\pm 0.5\text{mil}$

7628:  $\pm 0.7\text{mil}$



# 不同叠层方式的PP厚度

下表为常用高TG FR4半固化片在不同条件下的厚度取值(mil),(其中电地层布线率按70-80%，信号层按35-45%)仅供参考，实际应按线路分布率来计算

介质厚度 PP型号	PP标称厚度	0.5oz				
		Copper/Gnd	Gnd/Gnd	Copper/Signal	GND/signal	Signal/Signal
对应流胶填充厚度—>		0.16	0.32	0.48	0.64	0.96
106	2.34	2.18	2.02	1.86	1.7	1.38
1080	2.88	2.72	2.56	2.4	2.23	1.92
3313	4.1	3.94	3.78	3.62	3.45	3.14
2116	4.82	4.66	4.5	4.34	4.18	3.86
7628	8.04	7.88	7.72	7.56	7.39	7.08
介质厚度 PP型号	PP标称厚度	1oz				
		Copper/Gnd	Gnd/Gnd	Copper/Signal	GND/signal	Signal/Signal
对应流胶填充厚度—>		0.31	0.62	0.93	1.24	1.86
106	2.34	2.03	1.72	1.41	1.1	0.48
1080	2.88	2.57	2.26	1.95	1.64	1.02
3313	4.1	3.79	3.48	3.17	2.86	2.24
2116	4.82	4.51	4.2	3.89	3.58	2.96
7628	8.04	7.73	7.42	7.11	6.8	6.18

以M6G为例:

1035\*2, RC65%, 其厚度为3.937mil, Dk=3.46@1GHz

### Specification / Laminate R-5775(G)

1GHz ; IPC TM650-2.5.5.9

2GHz-10GHz ; IPC TM650-2.5.5.5

Core Type	Actual Thickness		Cloth Style	ply	Typical Resin Content (%)	Typical Dk						Typical Df					
	mil	mm				1GHz	2GHz	4GHz	6GHz	8GHz	10GHz	1GHz	2GHz	4GHz	6GHz	8GHz	10GHz
2	2.0	0.050	1035	1	65	3.46	3.39	3.38	3.38	3.38	3.37	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
2.6	2.6	0.065	1080	1	57	3.65	3.58	3.57	3.56	3.56	3.55	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
2.6	2.6	0.065	1078	1	57	3.65	3.58	3.57	3.56	3.56	3.55	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
3	3.0	0.075	1078	1	63	3.49	3.42	3.41	3.40	3.40	3.39	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
4	3.9	0.100	3313	1	54	3.71	3.64	3.63	3.63	3.62	3.61	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
4	3.9	0.100	1035	2	65	3.46	3.39	3.38	3.38	3.38	3.37	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
5	5.0	0.127	1078	2	57	3.65	3.58	3.57	3.56	3.56	3.55	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004



## 以M6G为例

1035, RC70%, 单张厚度为60um(2.3622mil),  $Dk=3.35@1\text{GHz}$ 。用两张PP叠, 厚度就是4.7244mil。

No.: 1612063

### Specification / Prepreg R-5670(G)

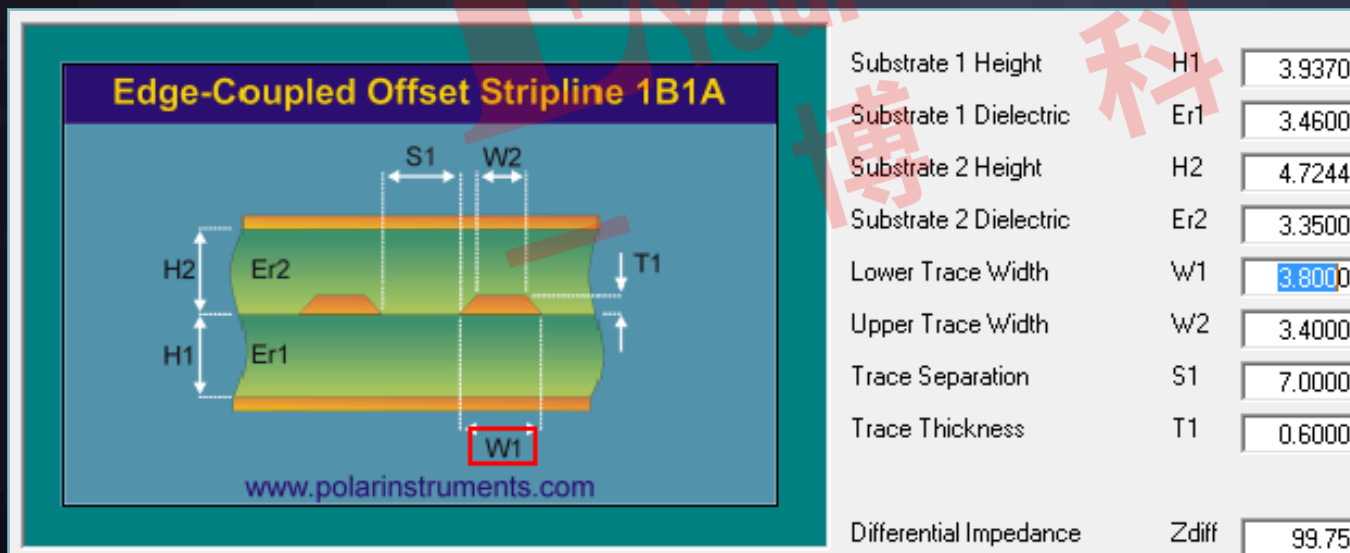
1GHz ; IPC TM650-2.5.5.9      2GHz-10GHz ; IPC TM650-2.5.5.5

Cloth Style	Resin Content (%)	Typical Thickness (um)	Typical Dk						Typical Df					
			1GHz	2GHz	4GHz	6GHz	8GHz	10GHz	1GHz	2GHz	4GHz	6GHz	8GHz	10GHz
1035	70	60	3.35	3.25	3.25	3.24	3.24	3.23	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
	73	68	3.29	3.22	3.22	3.21	3.21	3.20	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
	75	74	3.28	3.21	3.20	3.20	3.20	3.19	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004

在后续各种计算条件下，都采用以下4个条件：

- 铜厚=0.5oz，厚度取0.6mil；
- $W1-W2=0.4\text{mil}$ ；
- 阻抗要求=100ohm；
- 用前面两页的core（ $H1=3.937\text{mil}$ ）、pp（ $H2=4.7244\text{mil}$ ）做叠层。

方法1. 直接用材料厂的数据，即lineup里的值，则结果如下：

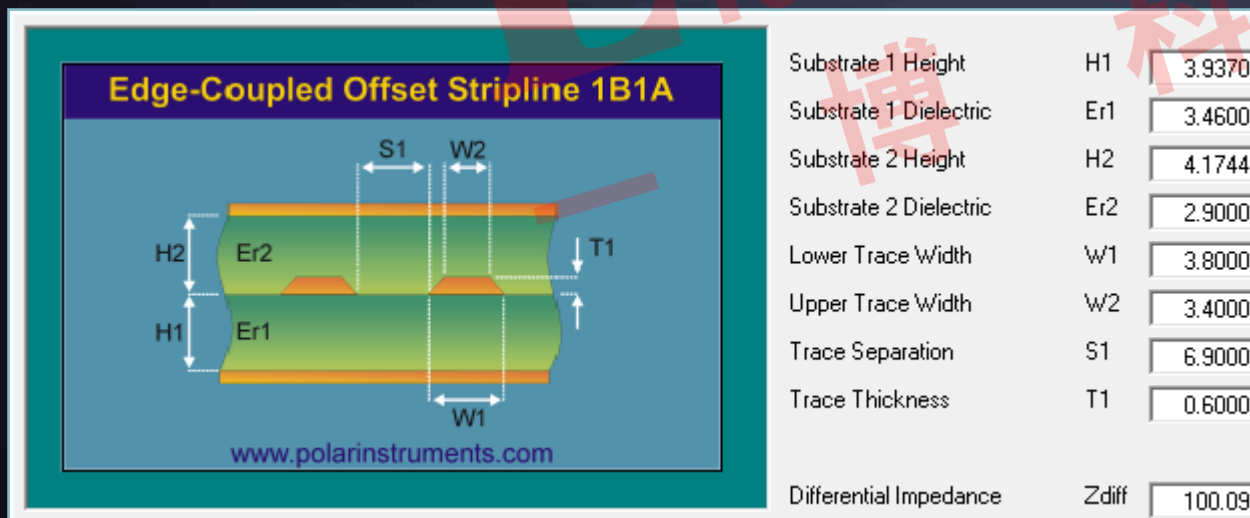


线宽/线距=3.8/7mil

- Core因为已经固化，压合过程基本不流胶，厚度、Dk都采用lineup值；
- PP半固化，流动性强，压合过程中，单张PP厚度会减少0.25~0.3mil左右，两张PP厚度会减少0.5~0.6mil；（一般用0.55mil）
- PP在lin基于lineup，只考虑PP压合流胶eup中的Dk是3.35，压合后，Dk值会减小0.4~0.5左右。（一般用0.45）

方法2.基于lineup，只考虑PP压合流胶，即采用PP流胶后的厚度、DK，则结果如下：

方法2与方法1相比：基本没有变化，线宽一样，只是线距减小了0.1mil



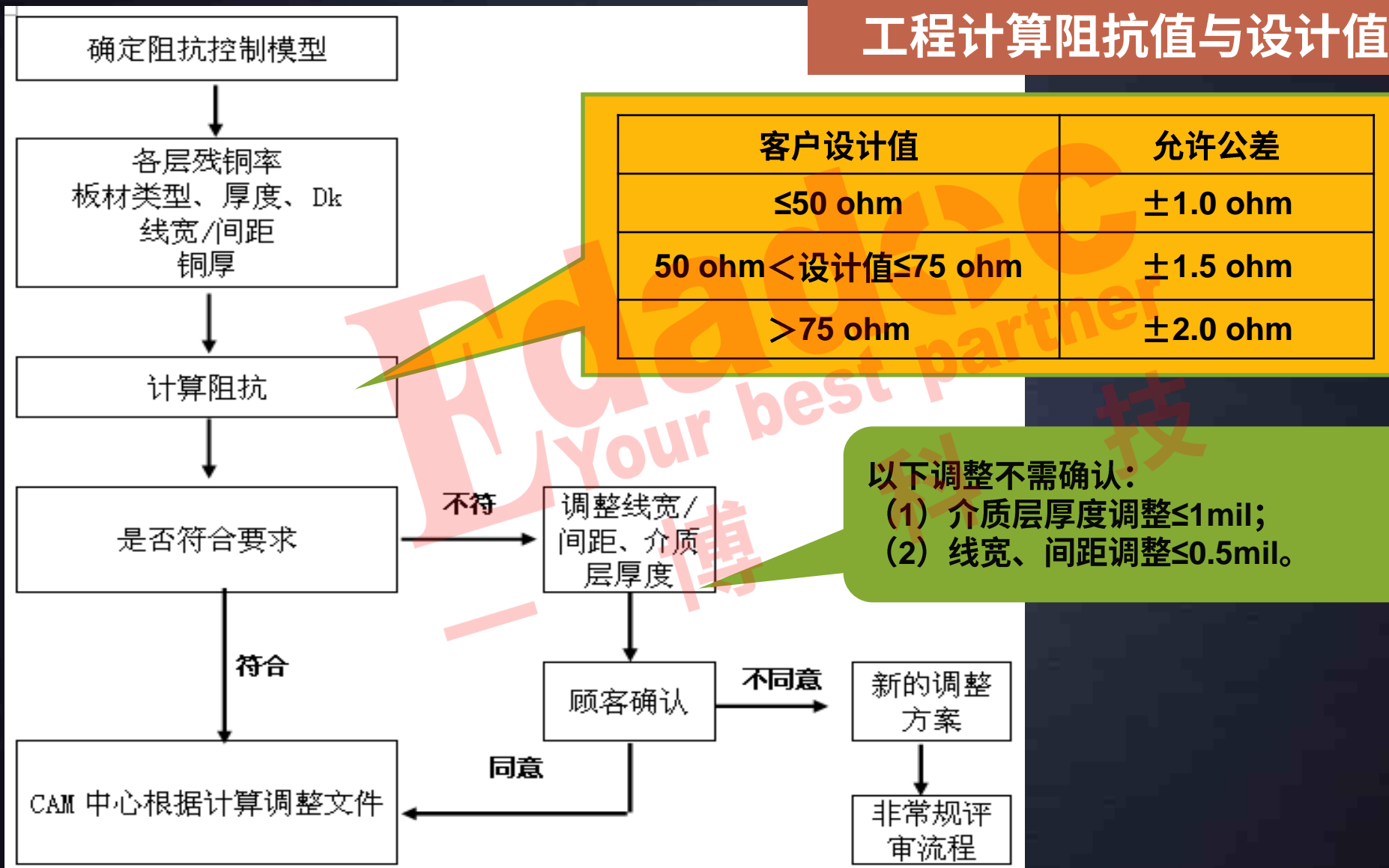
线宽/线距=3.8/6.9mil

# 怎么提升阻抗控制的精度

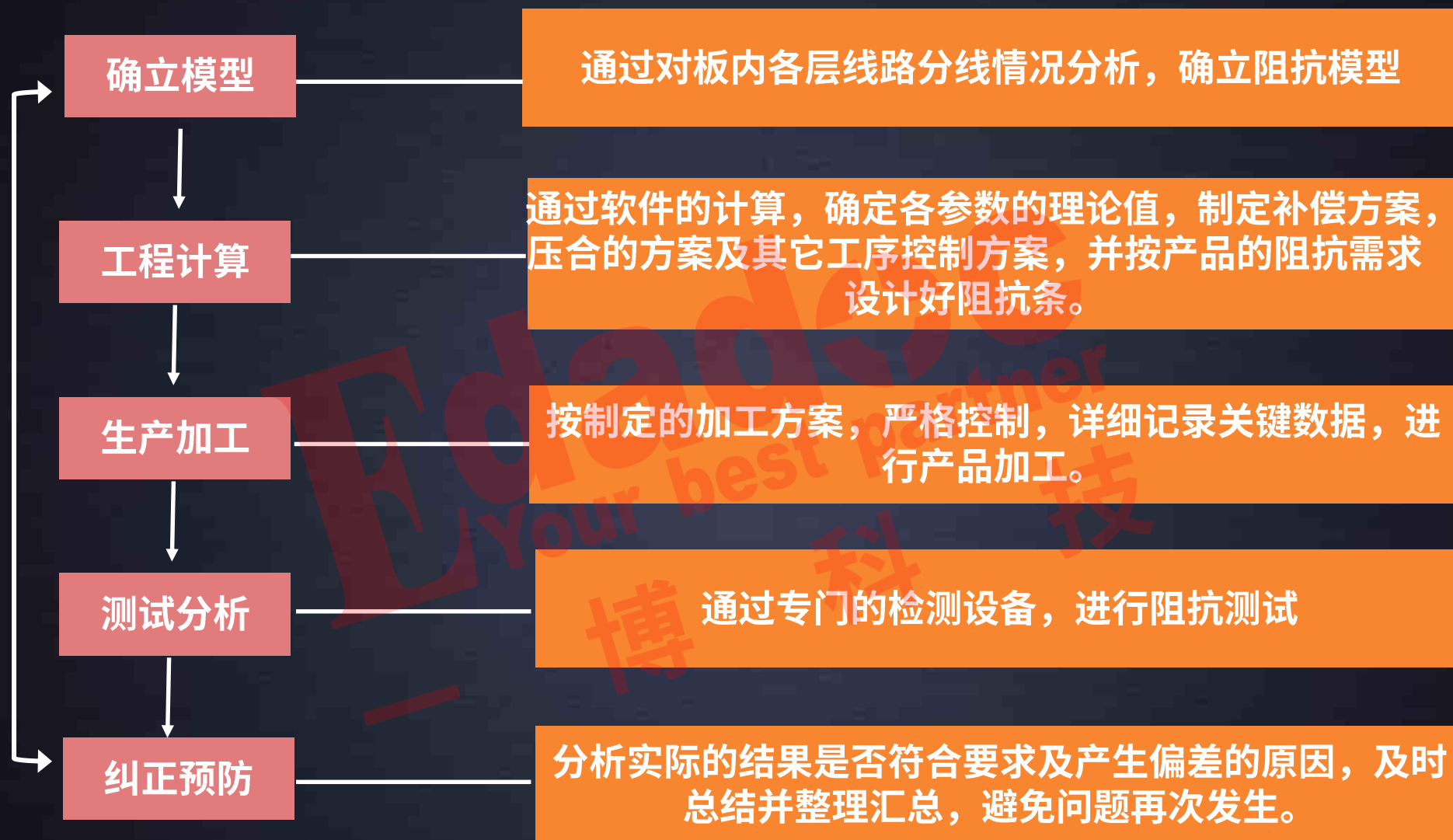
一博科技



## 工程计算阻抗值与设计值偏差要求



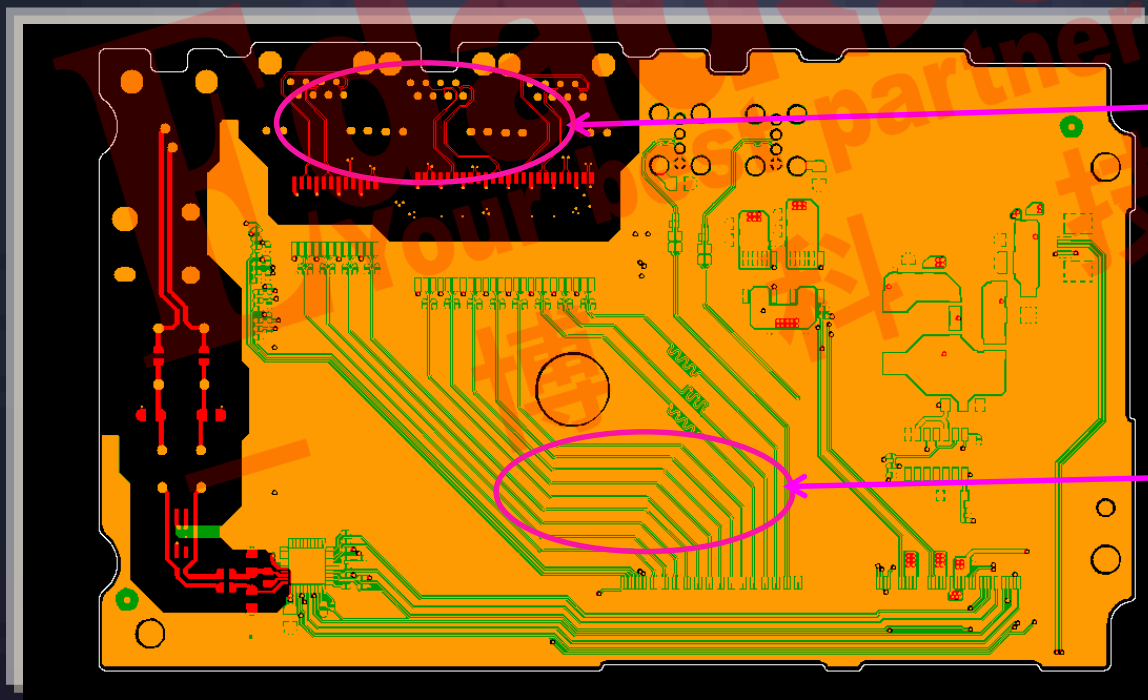
# 总结



# 阻抗线没有参考层

## 什么是阻抗参考层？

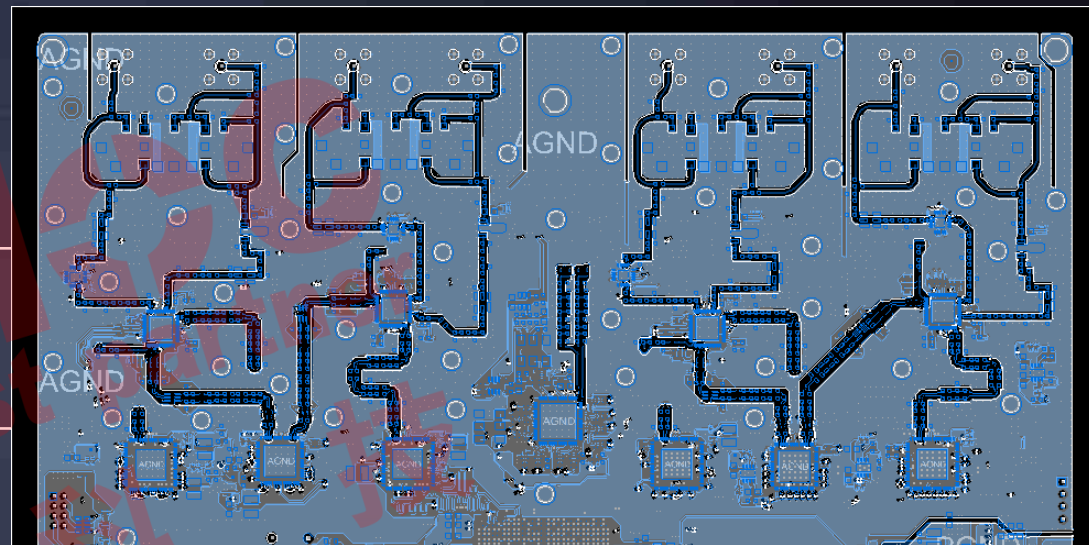
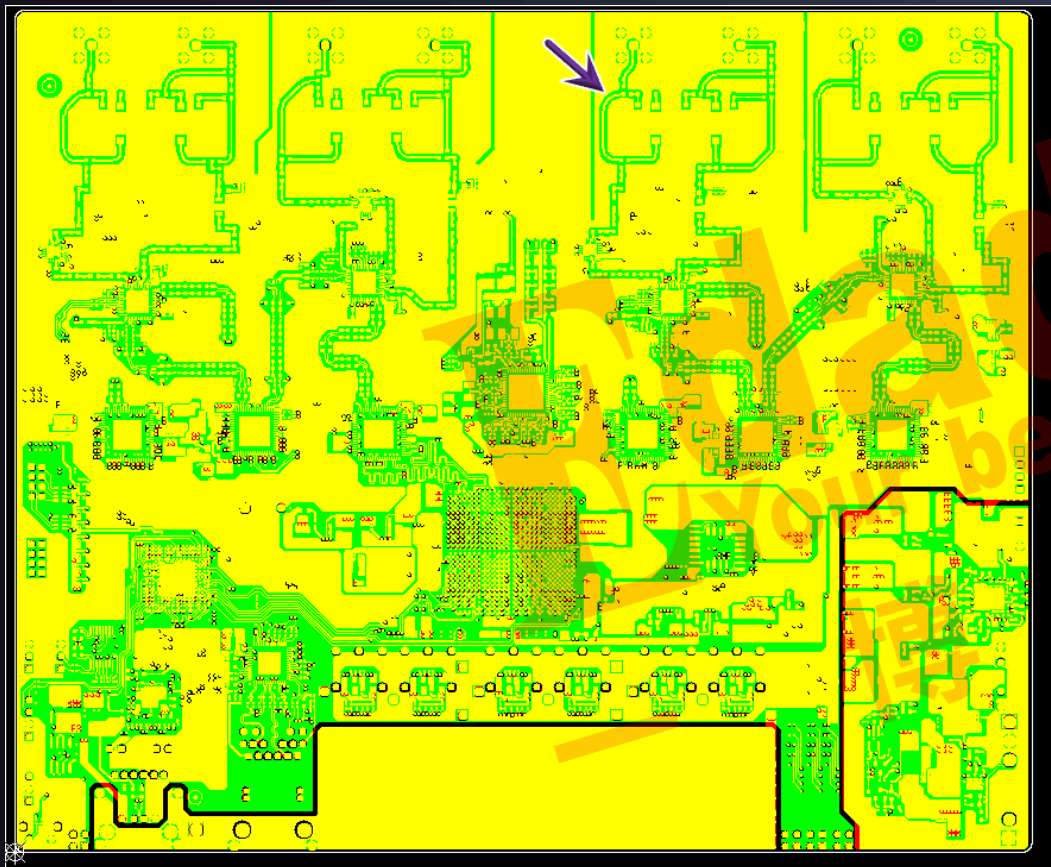
阻抗参考层是为了给信号提供回流路径，并起电磁屏蔽作用，故一般参考层都是电源层(vcc)或接地层(gnd),也就是说阻抗线所对应的参考层必须是铜皮覆盖



此类阻抗线无法管控阻抗

此类阻抗线可以管控阻抗

隔层参考，  
相邻层没有挖开



隔层参考的阻抗线，参考层没有套开

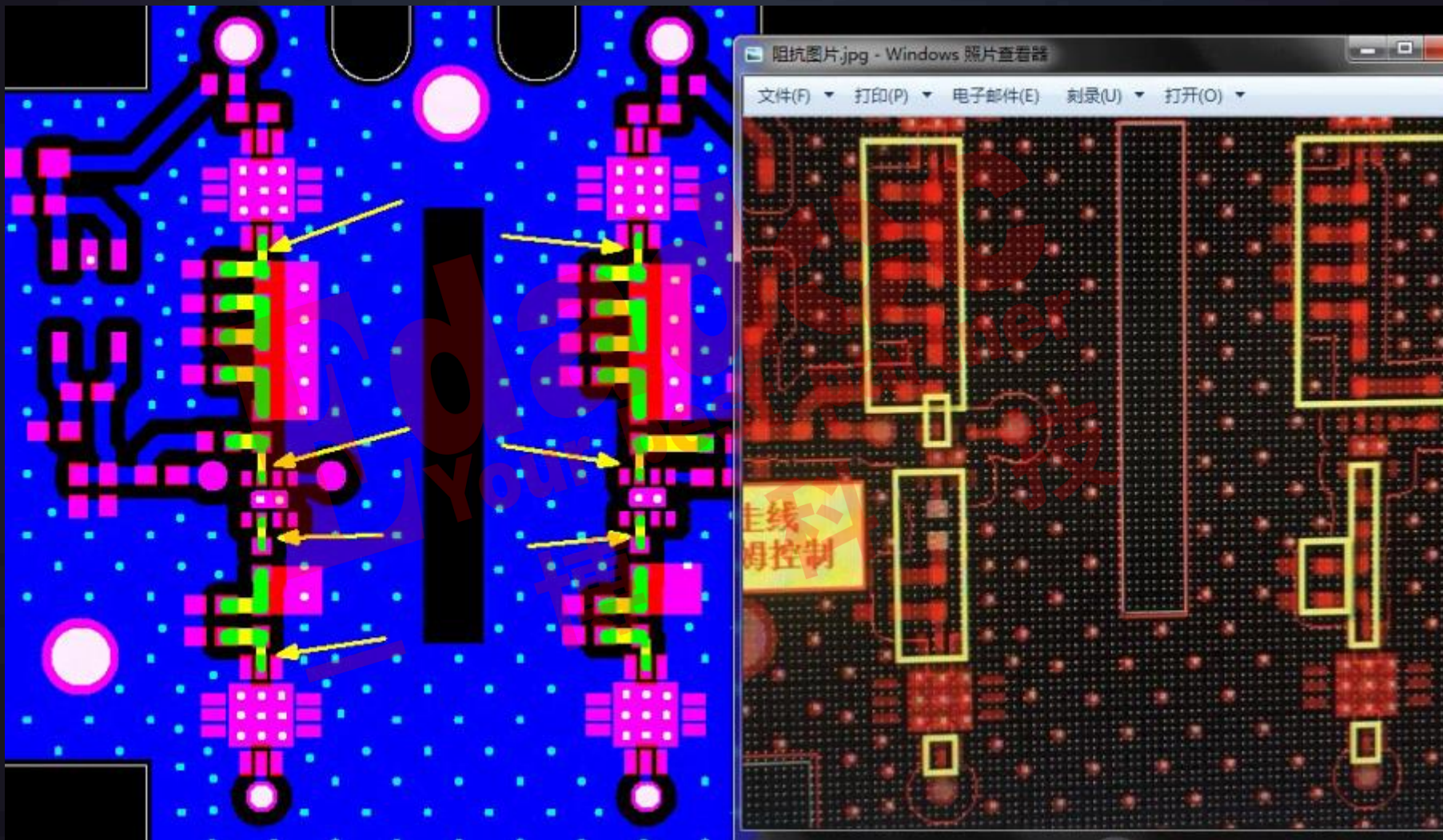




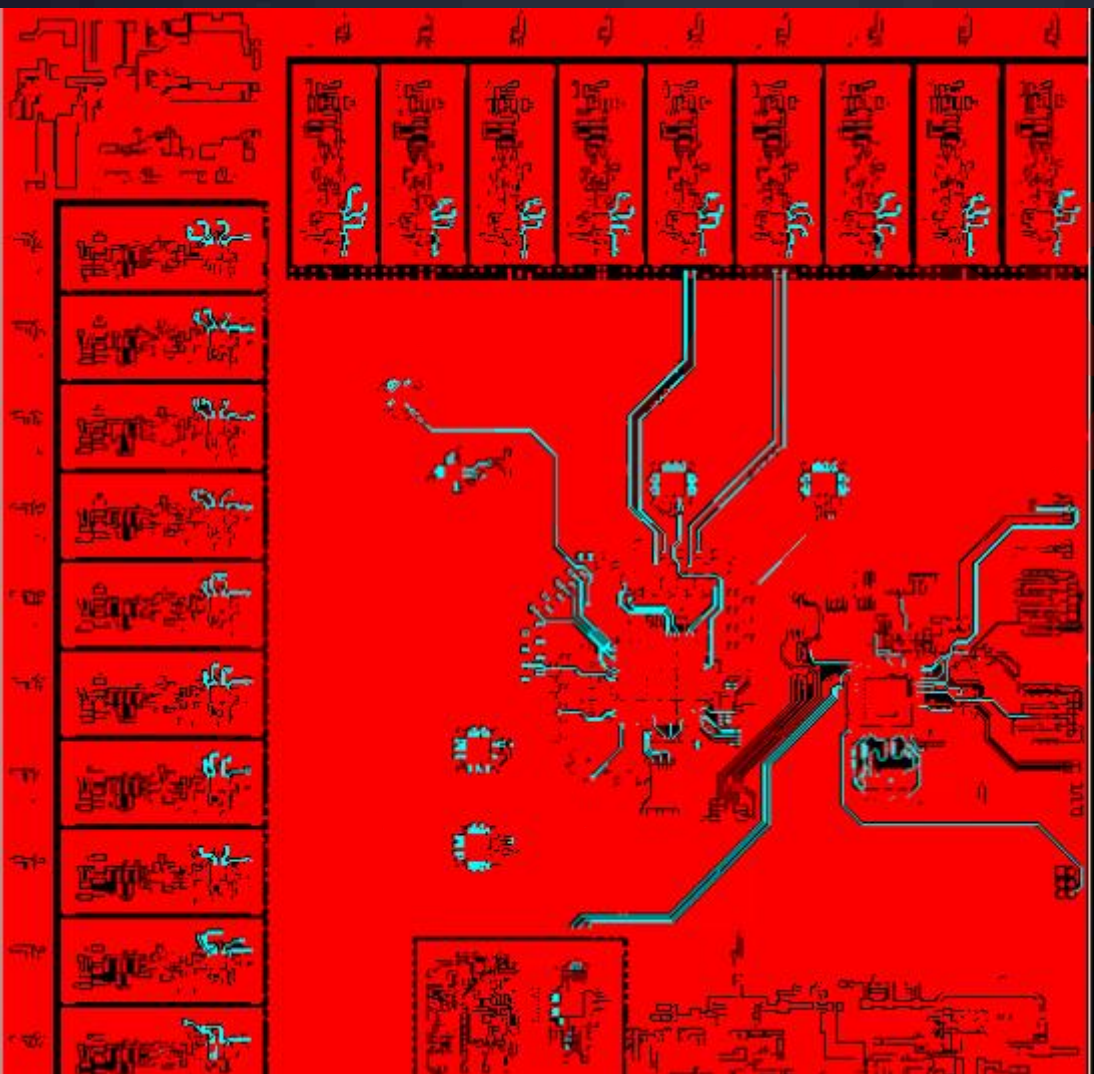
线宽线距一样，控两种阻抗

Diff Impedance	Layer	Trace W/S(mil)
100 ohm	1,10	4.0/7.0
100 ohm	6	4.1/7.0
90 ohm	8	3.5/8.0
90 ohm	1,10	4.3/5.0
100 ohm	8	3.5/8.0

不同的线宽，  
控制一样的阻抗



# 共面阻抗——与周围的铜皮不一致



# 这种阻抗怎么控

1. USB差分线需要控制差分阻抗90ohm, 为了达成阻抗控制目标, 允许PCB厂家调整线宽间距。调整过程中注意避免走线与敷铜短路。差分对网络名如下:

- a. (USBHUB1\_D\_N, USBHUB1\_D\_P);
- b. (USBHUB2\_D\_N, USBHUB2\_D\_P);
- c. (CAM\_USB1\_N, CAM\_USB1\_P);
- d. (CAM\_USB2\_N, CAM\_USB2\_P);
- e. (USB2\_D\_P, USB2\_D\_N);
- f. (USB2\_D\_M\_P, USB2\_D\_M\_N);
- g. (USB0\_D\_P, USB0\_D\_N);
- h. (USB0\_IO\_CONN\_D\_P, USB0\_IO\_CONN\_D\_N);
- i. (USB0\_N, USB0\_P)

发板厂阻抗特性要求.xlsx

叠层顺序与阻抗要求: 以下叠层顺序是从顶层(TOP层)来看。

层序	文件名	控制阻抗的线宽/间距	阻抗要求(ohm)
Top Layer:	TOP Layer	线宽5mil, 间距11mil的差分对	50 ± 5
Layer 2:	GND		
Layer 3:	ART1	线宽5mil, 间距11mil的差分对	50 ± 5
Layer 4:	Power		
Layer 5:	GND	线宽5mil, 间距11mil的差分对	50 ± 5
Layer 6:	ART2	线宽5mil, 间距11mil的差分对	50 ± 5
Layer 7:	GND	线宽5mil, 间距11mil的差分对	50 ± 5
Bottom Layer:	BottomLayer	线宽5mil, 间距11mil的差分对	50 ± 5

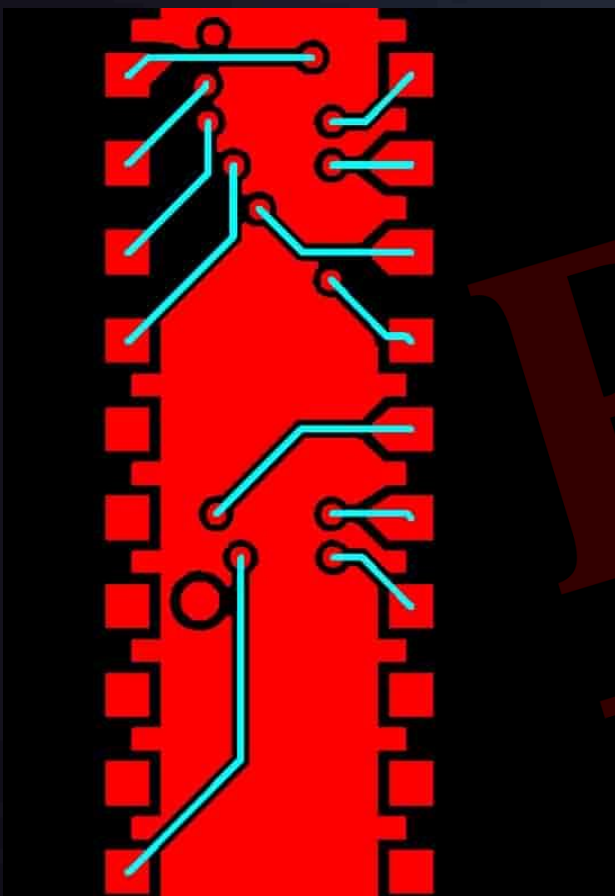
其它特别要求备注区域:

USB0\_DM\_P, USB0\_DM\_N差分对 阻抗要求为 90 ± 5

名	要求阻抗控制
差分对)	90-Ohm
差分对)	90-Ohm
)	
)	
)	
)	100-Ohm
)	
)	
差分对)	
差分对)	
CK_P, CK_N(差分对)	100-Ohm

# 安规的定义

12	如图，外层铜厚不一致，请确认	建议外层完成铜厚按1oz制作。	3.1.14	新文件已经修改，可以满足测试要求。
----	----------------	-----------------	--------	-------------------



外层铜厚可以调整，但要满足通流能力达到3A；  
回复：经我司工艺评审，无法满足3A电流，外层1oz,需要线宽达到3mm以上才能通过3A电流

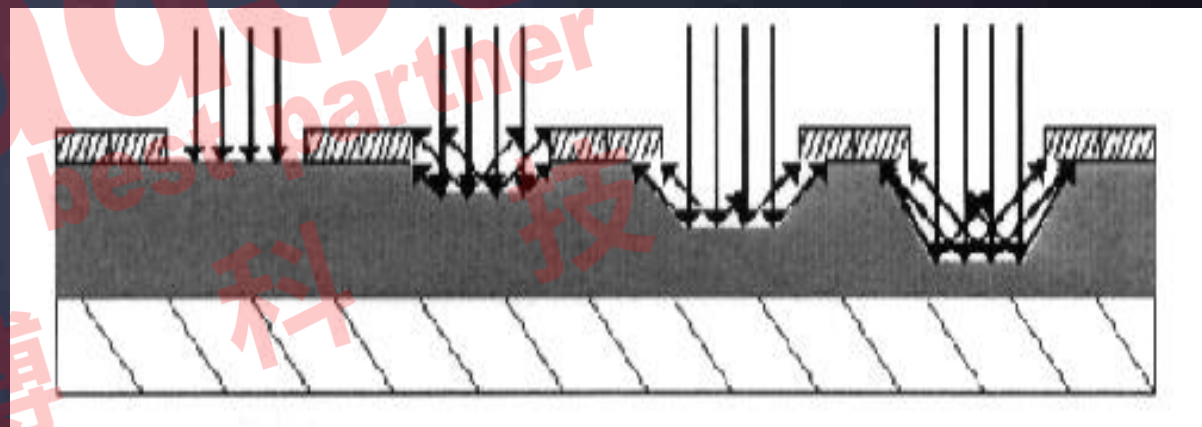
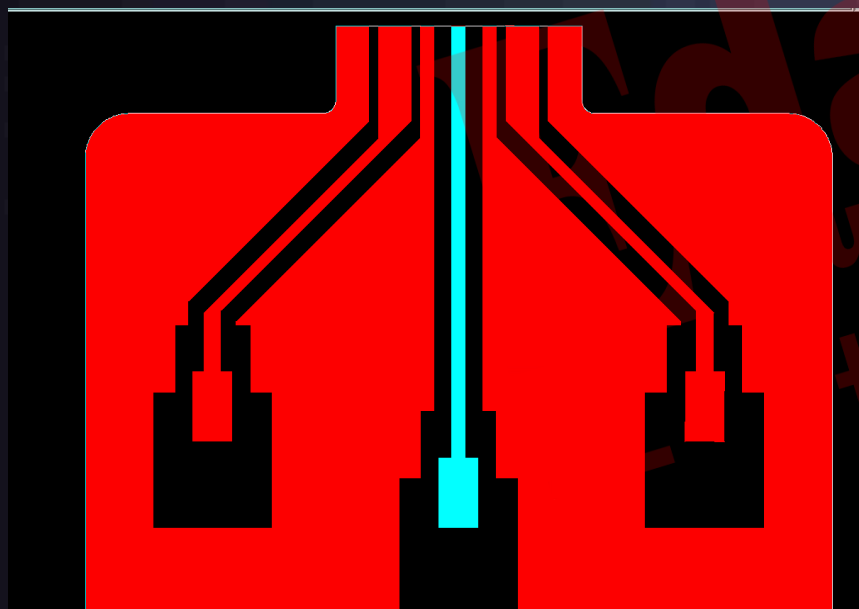
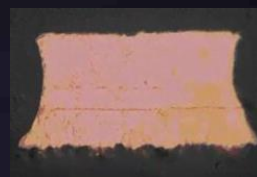
铜箔厚度 线宽 (mm)	铜箔厚度35um 铜箔 $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$	铜箔厚度50um 铜箔 $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$	铜箔厚度70um 铜箔 $t=10^{\circ}\text{C}$
0.15	0.20	0.50	0.70
0.20	0.55	0.70	0.90
0.30	0.80	1.10	1.30
0.40	1.10	1.35	1.70
0.50	1.35	1.70	2.00
0.60	1.60	1.90	2.30
0.80	2.00	2.40	2.80
1.00	2.30	2.60	3.20
1.20	2.70	3.00	3.60
1.50	3.20	3.50	4.20
2.00	4.00	4.30	5.10
2.50	4.50	5.10	6.00

# 超出加工极限的公差

### 差分线对要求做阻抗控制

layer	设计要求			参考层
	线宽 (mil)	线距(mil)	阻抗值(ohm)	
Top	16	5	500 ± 10%	GND02
Top/Bottom	4.9	5	90 ± 10%	相邻屏蔽层
Top/Bottom	4.5	6.5	100 ± 10%	相邻屏蔽层
Top	9	6	100 ± 10%	ART03
ART03, ART06	4.5	6	100 ± 10%	相邻屏蔽层

0%范围。



# Thank You!

EDADOC, Your Best Partner!

高速先生公众号



高速先生B站

