

微导孔与手机板

作者: 白蓉生

一. 进步背景

大哥大手机(Cellular Phones)在外形体积不断缩小下, 其所用 PCB 势必走向非机械钻孔式的增层法多层板, 孔径将被逼小到 5mil 左右的微导孔(Micro-Via)境界。再搭配细线与间距, 于是造就了 HDI(High Density Interconnection)“高密度互连技术”的热门话题。

非机钻式微导孔最早是于 1989 年, 由 IBM 在日本 YASU 工厂开发的 SLC 感光成孔(Photo-Via)所展开的序幕。之后又有雷射光之烧孔(Laser Ablation)及电浆(Plasma)干式蚀孔等革命性成孔技术陆续推出。此等空白微孔将续采各种金属化与电镀铜制程, 完成局部层次之间互连的盲孔与埋孔等。甚至也可以塞填银膏或铜膏以取代金属化与镀铜等困难制程而完成导通。

由各种非机钻微孔所衍生的增层法 HDI 多层板, 除已应用在大哥大手机外(如 Motorola 的小海豚), 其它各种便携式电子产品尚有摄录像机(Camcorders)、数字相机(Digital Camera)与次笔记型计算机及 CPU Carrier 等。其板面所组装的组件, 除了原有的小形超薄伸脚式 IC(TSOP)、Mini-BGA、 μ BGA 之外, 更有直接安晶(Die Attach)与打线(Wire Bond)的 COB(chip on Board, 或称 Direct Chip Attach 的 DCA)等封装法, 甚至多种 CSP 组件亦将逐渐被广用。



图 1. 此为手机板上 μ -BGA 之焊垫布局与 COB 安晶与打垫等放大二十倍之实象。

然而各种可携式电子品所采用的多层板, 其难度虽不断提高, 但价格却反而日趋低廉。唯其如此 HDI 板类才有机会与传统密装的小板类一争高低, 甚至在又好又便宜优势下, 还可能进一步取而代之。尤其各种微小组件在成本与技术考量下, 已部份舍弃传统的金属脚架(Lead Frame), 而改采用有机材质做为封装的载板(Substrate)。于是 PCB 业界顺理成章又跨入此一新领域, 继续发挥技术为主的赚钱本事, 其所用各种“载板”当然也少不了非机钻式 Microvia 之角色。

本文将以 Motorola 之某些经验为主, 专注于大哥大电话所用 HDI 多层板, 就其设计与市场方面进行讨论, 希望对此新制程之性能(Performance)与成本有所了解, 以便对 HDI 的未来做一番准备。

二. 布线能力

由于非机钻微导孔之孔径大幅缩小且无需全板贯穿, 故在各层面上的布线能力自然得以显著提升。以下图左之示意切片画面为例, L1 与 L2 或 L4 与 L3 之间的盲孔, 当孔径在 4~5mil 时, 则板面之孔环与盲孔底部之承垫(Target Pad)等直径, 将设定在 10~12mil 之间。至于板面所匹配的线宽与间距则应在 4mil/4mil 之谱, 局部外层上还可能再紧缩到 3mil/3mil 阶段。而传统多层板之量产机钻孔径, 目前已缩小至 9.8mil~11.8mil(0.25~0.3mil)左右, 孔环则在 23~25mil 上下, 内层线宽间距已达 5mil/5mil。

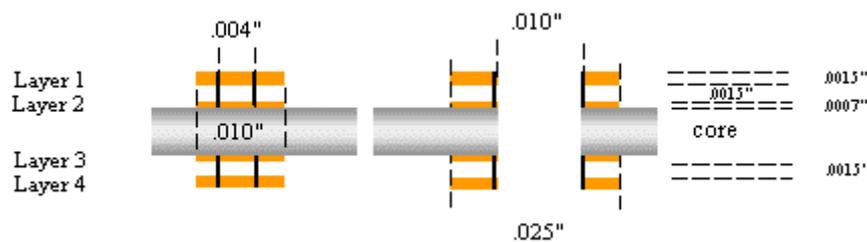


图 2. 左为增层法 HDI 四层板, 右为传统多层板之示意切片结构图。

以上的一般规格仍可再加紧缩, 但成本也会跟着上升很多。至于现行的增层法四层板, 其布线多半只在 L1 与 L4 两层上发展。其外层虽设有盲孔但内层却很少安插埋孔。此等板类之全通钻孔仍将保留, 以做为 L1 与 L4 之互连, 或代替埋孔而令 L2 与 L3 得以沟通。

2.1 线宽对布线的影响

至于何种细线密距可与那类微径导孔达成良好的匹配, 其等经验至为重要。初步研究可采用 Mentor Graphics 或 Cooper Chyan Technology(CCT)之自动布线程序, 以找出指定布线密度所需的线宽与孔径。

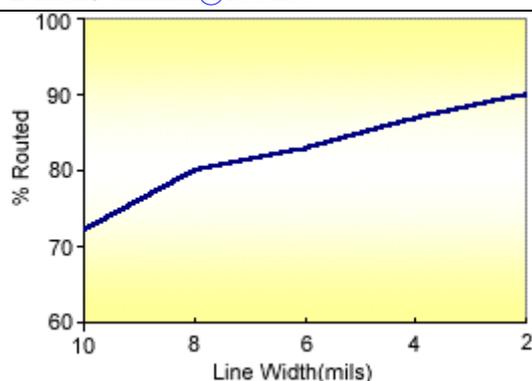


图 3. 以线宽为主要考量之布线能力 (%) 变化情形。

以六层板为例，当通孔之孔环为 25mil 时则其线宽可设定在 3-10mil 之间，按上图 3 的经验可知，凡线路愈细者其“未布线”的线数然会逐渐减少，但降幅尚不致太大；也就是说线路缩细后其布线能力并未明显上升。

2.2 通孔孔环对布线的影响

但若将通孔之孔环从 25mil 降到 10mil 而线宽仍维持 7mil，其布线能力即出现大幅上升。如下图 4 所示，该六层板布线能力已达 100%。故知“环径”大小对布线才更具影响力。

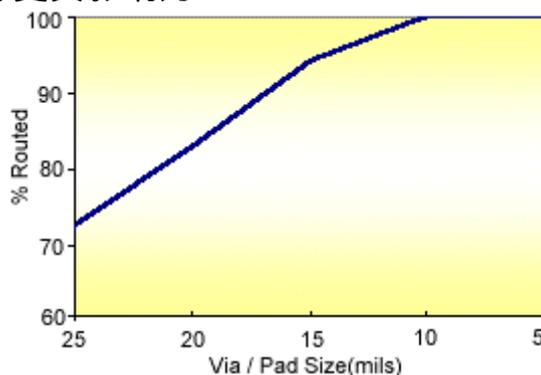


图 4. 以孔环环径为主要考量之布线能力 (%) 变化情形。

2.3 垫内导孔(Via-in-Pad) 之运用

传统多层板互连用的通孔、孔环，与表面焊接所用的方型焊垫等，都是各别分开布局设置的。但若将介质层减薄孔径缩小到“微孔”时，则可将其安置在方形焊垫之内，甚至将其盲孔填塞后还可被焊垫所覆盖(Via in Pad, or VIP)，在未牺牲焊锡性下可使二者合而为一，于是板面的布线能力也得以进一步增强。此等“微导孔 Microvia”观念之运用促成了 HDI 的大幅进步。下图 5 左侧为传统 SM 焊垫与互连所扇出的线路及通孔之观念，而右侧即为微导孔与 SM 焊垫合而为一的新观念。

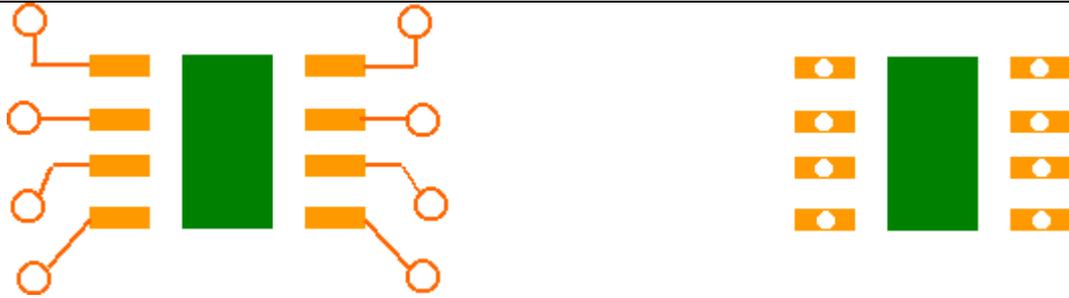


图 5.传统布线 HDI 布线的比较, 左图为传统焊垫与扇出互连之布线情形。右为垫内有孔之 HDI 布局情形。

上述微导孔与焊垫合并的做法也可用于 BGA 的布局, 惠普公司的 Clinton Chao 博士曾推出一种针对密装 BGA 布局布线的经验模式, 可用以事先决定线宽与微孔径以及布线能力。此时硅芯片封装品之密度, 反而成为影响载板布线最重要的参数了。

$$\text{層數} = \frac{(n/2) - [(G - Db - S)/(L + s)] + 1}{[(G - Dr - S)/(L + s)] + 1} + 1$$

L=线宽

S=线距

Dr=含微孔之球垫直径
垫宽

Db=打线

G=I/O 脚距(指 SMT 引脚焊垫之脚距)
数

n=I/O

三. 微孔成本

目前微孔的成孔方式有 1.感光成孔(Photo Via); 2.电浆蚀孔(Plasma Via); 3.雷射烧孔(Laser Via)等。前二者属瞬间同时大量成孔之快速方法, 故当孔数越多时越为有利。至于雷射烧孔法(以二氧化碳为主), 则需逐一烧掉无铜处之板材而成孔, 故成本上较不经济。不过由数年来量产经验看来, 二氧化碳雷射之成孔法, 其后续组装品质方面似已优于前二者, 加上二氧化碳雷射钻孔机不断的改善, 与多种品牌的彼此竞争, 已使得雷射微孔之成本得以降低。

Motorola 公司在佛罗里达的移动电话部门, 曾在 1997 年中推出了二十多种不同设计的传统“压合盲孔”板(指事先做好有通孔的双面板, 再压合成为有盲孔的多层板), 分别送往欧、美、及亚洲等地, 所选出的十家对 HDI 已有尝试的 PCB 公司, 去做非机钻成孔方式的打样与评估。同时也要求各厂对传统六层板与 HDI 盲孔板, 就成本方面进行比较, 并要求提供量产前热身“练兵”(Learning Curve)所需的时限。下表 1 即为打样中所选四种多层板的报价比较。其情况分别为:

- “编号 1”是原来传统六层板，共有 800 个机钻通孔，板面大小为 4.33"□2.01"，每边并有半吋宽的折断边(Breakaway Tabs)，以方便各种制程中的持取动作。
- “编号 2”系 HDI 之“1-2-1”(亦可采 2+1+1 方式表达)增层法四层板，有 200 个机钻导孔及 1100 个非机微导孔，板面大小与编号 1 者相同，布孔密度达 126 孔/吋²。
- “编号 3”功能与编号 1 相同，但 HDI 之板面却缩小了 40%，只有 2.58"□2.01"，布孔密度达 212 孔/吋²，外围仍有半吋宽的折断边。
- “编号 4”为传统“压合盲孔”多层板，其功能及面积与“编号 3”四层板相同，故布局要增加到八层才行。

以上四种设计的多层板，均采相同的线宽与间距，即使 HDI 板子也未刻意采用更细的线路。其它各项设计也都按照标准原则进行，以免造成各打样厂商因难度太高而望之却步。

表 1 四种不同设计多层板其价格之比较
(四种设计之电路功能均相同)

打样报价之 电路板厂	编号 1 (传统 PTH)	编号 2 (HDI, 1-2-1)	编号 3 (HDI, 1-2-1)	HDI 成孔法	编号 4 (压合盲孔八层板)
A	\$4.15	\$4.95	\$3.35	感光成孔	\$5.80
B	\$4.35	\$5.66	\$3.36	雷射烧孔	——
C	\$4.69	\$5.45	\$3.63	感光成孔	\$7.30
D	\$4.13	\$5.95	\$4.04	雷射烧孔	\$5.94
E	\$4.30	\$6.49	\$4.34	雷射烧孔	——
E	\$4.30	\$6.49	\$4.34	感光成孔	——
F	\$5.31	\$6.25	\$4.65	感光成孔	\$6.08
G	\$5.00	\$7.50	\$4.70	电浆蚀孔	\$6.75
H	\$4.71	\$8.57	\$5.11	感光成孔	——
I	\$2.96	\$8.09	\$5.33	雷射烧孔	\$6.00
I	\$2.96	\$7.59	\$5.33	感光成孔	\$6.00
J	\$8.30	\$10.06	\$8.00	雷射烧孔	\$11.40

注:

- 后三家之报价太便宜，已被视为“不正常”。
- 『编号 1』为传统机钻之六层板，板面大小为 134.9mm□51.05mm，有 800 个通孔。
- 『编号 2』为增层法 1-2-1 之 HDI 四层板，大小仍为 134.9mm□51.05mm，有机钻 200 孔，非机钻 1100 微孔。
- 『编号 3』为增法 1-2-1 之 HDI 四层板，大小降为 90.3mm□51.05mm，共有 200 通孔及 1100 个压合盲孔。
- 『编号 4』为压合盲孔之八层板，板面大小降为 90.3mm□51.05mm，共有 200 通孔及 900 个压合盲孔。

以上 12 种报价，除后三项感觉上“不太合理”而舍弃外其余都很接近，于是将九种价格整理分析成为下图 6。

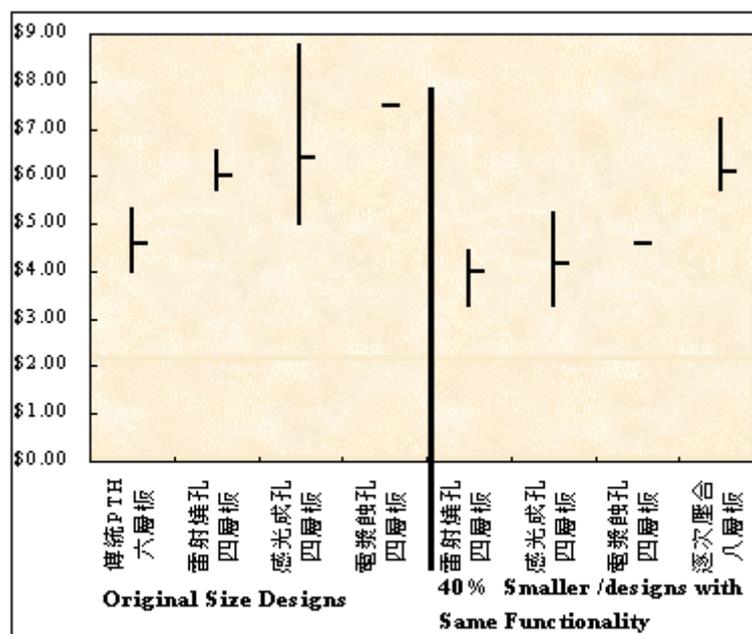


图 6.在不同设计与不同制程下所见到的价格分析

由上图 6 约可看出两项特性，其一是布线愈密的板子价格反而愈便宜，也就是说明密集的 HDI 增层板，其平均价格并不算贵；其二是布孔密度大增的雷射孔，亦未明显加价，感光成孔相差不多。不过在功能不变但层数不同的多层板上，二者都要比压合盲孔便宜多了。从本处结论与其它相关资料可知，采用 Micorvia 对完工板的最后价格影响不大。

虽然每家电路板厂在进入 HDI 时，所经历的“新兵训练” (Learning Curve) 其成效不尽相同，但大多数厂家就 1-2-1 四层 HDI 板而言，其成本确比传统六层板要便宜。也就是说 HDI 会使得既有设计的多层板变得面积更小，层次更少，价格上自然就会下降了。当然这还要看每家电路板厂改做 HDI 时，其『新兵训练』的速度与成效而定。站在下游大哥大系统成品厂商而言，莫不希望电路板供货商能及早进入 HDI，以便使电话手机产品变得体积更小功能更强。

四. 电性品质

HDI 除了价格优势外，设计者还会考虑到其它的好处：如布局的紧密，层数的减少，介质层的逼薄等，除可对既定模拟线路(Analog Circuits, 现常指微波电子产品)提高其性能外，对高速数字线路(Digital Circuits 常指计算机信息产品)也极为有利。不过当所用增层法不同时，其电性功能上也自然有所差异。

感光成孔所增加的“感光介质层” (Photo-Imagible Dielectric 简称 PID, 一般业者顺口而出随便说说的“介电层”并不正确)，不管是涂布的液态树脂或贴合的干膜板材，都是以环氧树脂为基础，其厚度约在 1.5~2.5mil 之间，介质常数(DK; 又称为“相对透电率” Relative Permi tivity , ϵ_r) 约在 3.3~4.2 之

间, 而其散失因素(Df; Dissipation Factor, 又称为损失因素 Loss Factor 或 Loss Tangent)则在 0.01-0.02 之间。

此种电性品质对一般数字信息产品的板类也许还可应付, 但对高频通信产品则显然已力犹未尽。此时必须改用聚亚醯胺(Polyimide)、聚醯胺(Aramid)、铁氟龙(PTFE), 或 Dk 与 Df 俱低之其它高性能板材(Dk2.6-2.8, Df 0.002-0.004), 一旦如此雷射尚可烧孔加工, 至于 Photovia 则因其等无法感光, 只好拱手让出地盘矣。且所增加之介质层也不宜太厚(以 1.5-2.5mil 为宜), 以避免带来深盲孔电镀的困难。

当板材之电性(Dk, Df 二者均愈低愈好)不太理想时, 用于低速数字计算机之电路冲击还不算大, 但对高速数字通信板或射频(RF; Radio Frequency)级板类在性能上影响极大。因板材之介质不佳时会在电容、串讯, 与讯号损失方面带来麻烦。此时传统多层板上所获取的经验, 对 HDI 增层板则一如往昔仍然有效; 也就是说其等“特性阻抗”仍须加以控制。

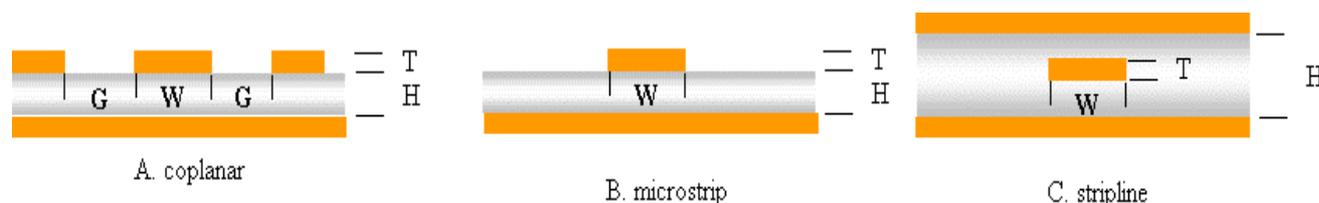


图 7.可进行特性阻抗控制的三种传输线, 图中 W 表讯号线宽, T 表讯号线厚, H 表介质层厚度, G 表同板面上讯号线与接地区之间距

在高速通信的 RF 领域中, 常用的传输线有共面波导(Coplanar Waveguide)、微条线(Microstrip)与条线(Stripline)等三种结构。其等电性是否够好, 还要仰赖介质材料本身的介质常数(Dk)与散失因素(Df)是否够低。一般传统多层板均采用 FR-4 板材去生产, 也都能达到线宽、线厚、间距, 与质层度的公差要求。Motorola 公司曾设计了一种“样板”, 可采用计算机仿真去检查各种结构的电性品质, 下表 2 即为液态环氧树脂与另一种高性能板材所制“样板”电性品质的比较。

表 2 以计算机仿真样板在 RF 功能下对介质特性与生产性所做之检查资料

各种参数	液态环氧树脂	高性能板材
介质层厚度 (H)	2mil	2mil
厚度公差	+/-10%	+/-10%
介质常数 (1GHz)	3.3	2.6
介质常数公差	+/-0.1	+/-0.1
散失因素 (1GHz)	0.02	0.004
内层线厚	0.7mil	0.7mil
外层线厚	1mil	1mil
内层起码线宽	5mil	5mil

线宽公差	+/-1mil	+/-1mil
外层起码线宽	4mil	4mil
线宽公差	+/-0.5mil	+/-0.5mil
起码间距	5mil	5mil
间距公差	+/-1mil	+/-1mil
对准度误差	+/-3mil	+/-3mil

4.1 共面结构分析

现将三种阻抗控制结构所仿真的结果，用图标方法加以说明。图 8A 即为共面结构其各种变量对电性的影响情形。从对其变异性计算中，可预估此种传输线结构需用何种板材去生产 HDI 板子，以达到 +/-10%(即 26db 分贝)的“回流损失”(Return Loss)。

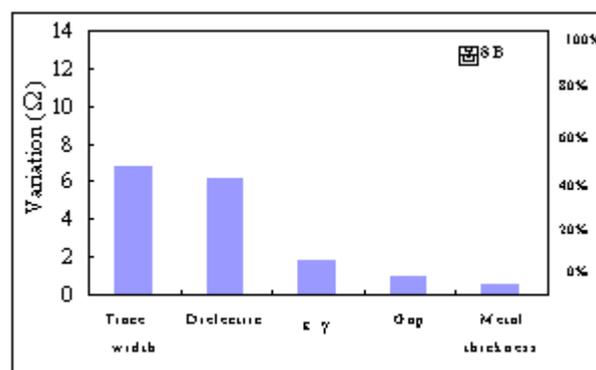
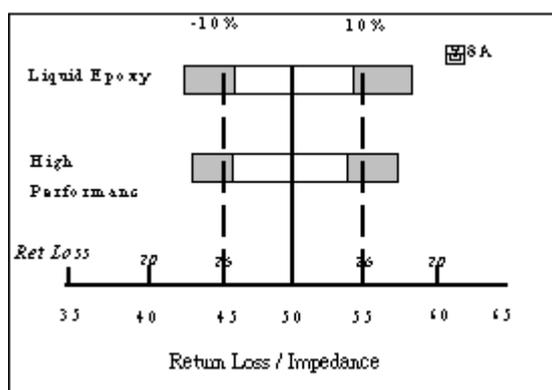


图 8A.共面结构的阻抗值与回流损失的变化情形，两横框中浅色区表 Root Sum Square 之分析而深色区表变异性之极点。

图 8B.五种影响共面结构变量的重要性

又从图 8B 中可看出，对共面结构阻抗值影响最大的变量是线宽(W)与介质厚度(H)，此等资料对业者非常重要，必须小心加以掌握，才能使阻抗值达到允收的要求。

4.2 微条线之分析

采用液态感光树脂制作加层法多层板时，目前制程能力已可让微条线达到 50Ω 的一般性要求，但却不易维持阻抗的目标中值。必须采用较厚的介质层并严加管制厚度，再加上对线宽的小心处理才能掌握中值。当然若其介质常数较低时，则较易达成中值的结构。

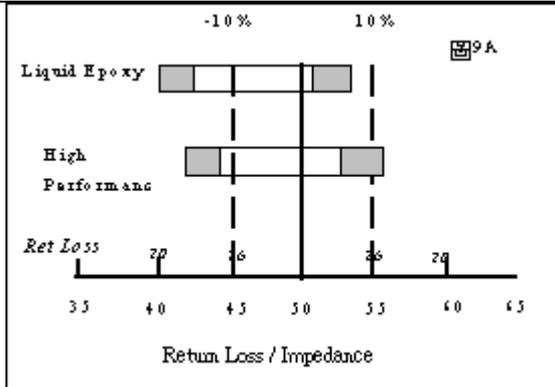


图 9A.微条线之特性阻抗值与回流损失

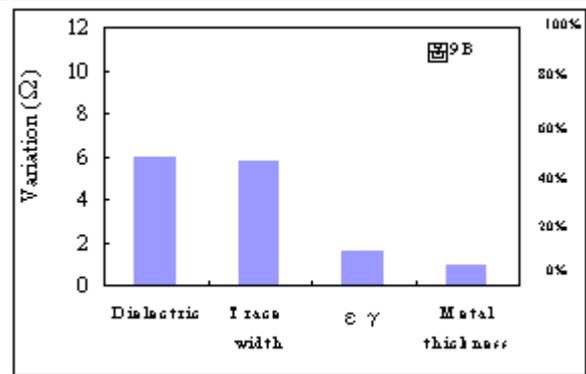


图 9B.影响微条线特性阻抗值四种变量之影响力比较

4.3 条线之分析

图 10A 的实验数据可知，想要用液态环树脂或高性能板材，去做出 50Ω 稳定阻抗值的 HDI 多层板几乎不可能，但两种材料却可做出阻抗值较低的多层板，故当用到低阻值的线路设计时，此种条线结构将可派上用场。若欲达到 50Ω 时，其介质层厚度应增到 3.5mil 以上，线宽还要细到 1mil 才行。

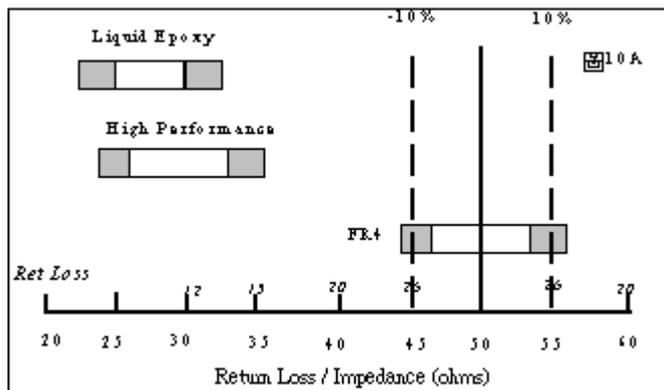


图 10A.微条线之特性阻抗值与回流损失

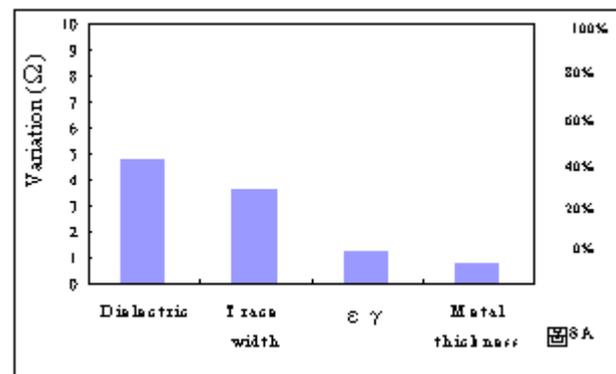


图 10B.影响微条线特性阻抗值四种变量之影响力比较

由上述各项仿真可知，各种不同结构不同用途中，任何单一板材都不可能永远优越。对传统多层板而言，介质层厚度与讯号线宽要比他两项变量更为重要，对有“条线”的 HDI 增厚薄板来说，其讯号线宽与内层中各介质厚度之均匀管制，亦为完工板成败的关键。

五.结论

HDI 为下一代小型手机板的主角，其非机钻微孔径变小后，使得手机体积得以紧缩，布线能力增加，制造成本降低，比起传统镀通孔更为有利。对于线路

复杂的密装多层板而言, 通孔外之环径大小对布线能力影响极大, 但在设计与制程上却不易改善。采用 Microvia 后孔环显著缩小或另采“盖盲孔”时, 不但可使此问题迎刃而解, 且其焊锡生也能维持正常未受干扰。

从多家电路板厂提供的报价数据可看出, HDI 多层板并不比传统多层板来的贵。其操作成本低于机钻也是原因之一。雷射烧孔虽需一个一个来, 但其总体良率高, 制程难度低以及其它有利点之展现, 似乎仍比同步大量成孔的 Photo Via 或电浆蚀孔更为有利。而且某些高性能板根本无法感光, 也只能用雷射成孔。

又从计算机仿真的经验看来, 采用高性能板材的 HDI 手机板, 从线路功能上可取得的利益极少。甚至手机板具有 Stripline 时若无 FR-4 的助厚下, 根本无法完成 50Ω 的要求。不过标准设计以外的低阻抗值线路, 将来 HDI 板或许还有出场亮相的机会。



资料来源: 寻智专业顾问有限公司