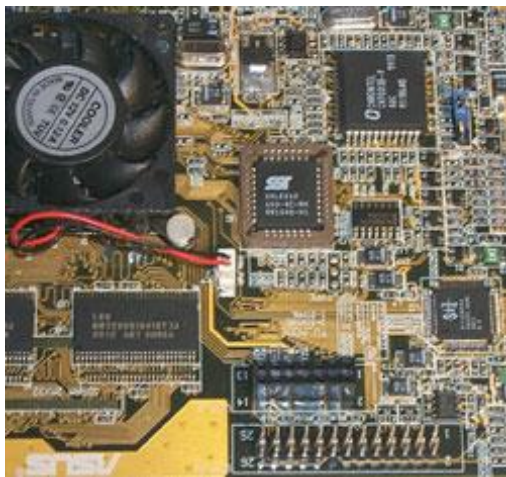


。

印刷电路板入门

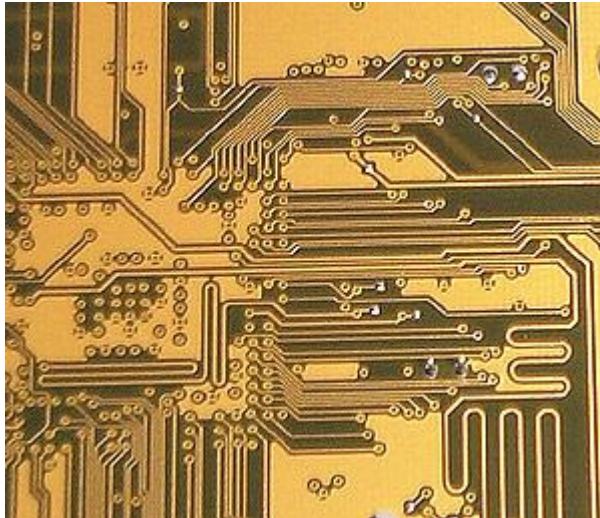
什么是 PCB?

印刷电路板（**Printed circuit board, PCB**）几乎会出现在每一种电子设备当中。如果在某样设备中有电子零件，那么它们也都是镶在大小各异的 **PCB** 上。除了固定各种小零件外，**PCB** 的主要功能是提供上头各项零件的相互电气连接。随着电子设备越来越复杂，需要的零件越来越多，**PCB** 上头的线路与零件也越来越密集了。



标准的 **PCB** 长得就像这样。裸板（上头没有零件）也常被称为「印刷线路板 **Printed Wiring Board (PWB)**」。

板子本身的基板是由绝缘隔热、并不易弯曲的材质所制作成。在表面可以看到的细小线路材料是铜箔，原本铜箔是覆盖在整个板子上的，而在制造过程中部份被蚀刻处理掉，留下来的部份就变成网状的细小线路了。这些线路被称作导线（*conductor pattern*）或称布线，并用来提供 **PCB** 上零件的电路连接。



导线（**Conductor Pattern**）

为了将零件固定在 **PCB** 上面，我们将它们的接脚直接焊在布线上。在最基本的 **PCB**（单面板）上，零件都集中在其中一面，导线则都集中在另一面。这么一来我们就需要在板子上打洞，这样接脚才能穿过板子到另一面，所以零件的接脚是焊在另一面上的。因为如此，**PCB** 的正反面分别被称为零件面（**Component Side**）与焊接面（**Solder Side**）。

如果 **PCB** 上头有某些零件，需要在制作完成后也可以拿掉或装回去，那么该零件安装时会用到插座（**Socket**）。由于插座是直接焊在板子上的，零件可以任意的拆装。下面看到的是 **ZIF**（**Zero Insertion Force**，零拨插力式）插座，它可以让零件（这里指的是 **CPU**）可以轻松插进插座，也可以拆下来。插座旁的固定杆，可以在您插进零件后将其固定。

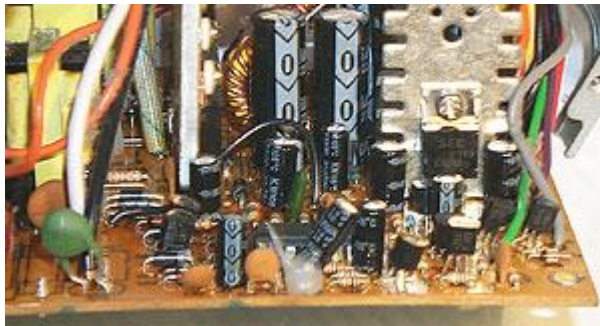


ZIF 插座

如果要将两块 **PCB** 相互连结，一般我们都会用到俗称「金手指」的边接头（**edge connector**）。金手指上包含了许多裸露的铜垫，这些铜垫事实上也是 **PCB** 布线的一部份。通常连接时，我们将其中一片 **PCB** 上的金手指插进另一片 **PCB** 上合适的插槽上（一般叫做扩充槽 **Slot**）。在计算机中，像是显示卡，声卡或是其它类似的界面卡，都是借着金手指来与主机板连接的。



边接头（俗称金手指）



AGP 扩充槽

PCB 上的绿色或是棕色，是阻焊漆（**solder mask**）的颜色。这层是绝缘的防护层，可以保护铜线，也可以防止零件被焊到不正确的地方。在阻焊层上另外会印刷上一层丝网印刷面（**silk screen**）。通常在这上面会印上文字与符号（大多是白色的），以标示出各零件在板子上的位置。丝网印刷面也被称作图标面（**legend**）。



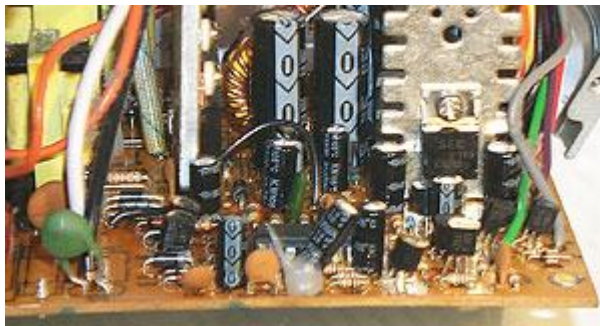


没有图标面的棕色 PCB

PCB 的种类

单面板（Single-Sided Boards）

我们刚刚提到过，在最基本的 **PCB** 上，零件集中在其中一面，导线则集中在另一面上。因为导线只出现在其中一面，所以我们就称这种 **PCB** 叫作**单面板**（*Single-sided*）。因为单面板在设计线路上有许多严格的限制（因为只有一面，布线间不能交叉而必须绕独自的路径），所以只有早期的电路才使用这类的板子。



单面 PCB 表面



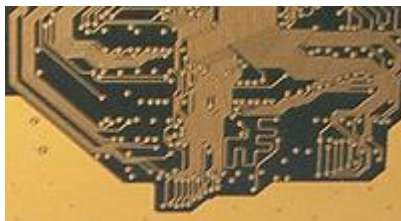
单面 PCB 底面

双面板（Double-Sided Boards）

这种电路板的两面都有布线。不过要用上两面的导线，必须要在两面间有适当的电路连接才行。这种电路间的「桥梁」叫做导孔（*via*）。导孔是在 **PCB** 上，充满或涂上金属的小洞，它可以与两面的导线相连接。因为双面板的面积比单面板大了一倍，而且因为布线可以互相交错（可以绕到另一面），它更适合用在比单面板更复杂的电路上。



双面 **PCB** 表面



双面 **PCB** 底面

多层板（Multi-Layer Boards）

为了增加可以布线的面积，多层板用上了更多单或双面的布线板。多层板使用数片双面板，并在每层板间放进一层绝缘层后黏牢（压合）。板子的层数就代表了有几层独立的布线层，通常层数都是偶数，并且包含最外侧的两层。大部分的主机板都是 **4** 到 **8** 层的结构，不过技术上可以做到近 **100** 层的 **PCB** 板。大型的超级计算机大多使用相当多层的主机板，不过因为这类计算机已经可以用许多普通计算机的集群代替，超多层板已经渐渐不被使用了。因为 **PCB** 中的各层都紧密的结合，一般不太容易看出实际数目，不过如果您仔细观察主机板，也许可以看出来。

我们刚刚提到的导孔（*via*），如果应用在双面板上，那么一定都是打穿整个板子。不过在多层板当中，如果您只想连接其中一些线路，那么导孔可能会浪费一些其它层的线路空间。埋孔（*Buried vias*）和盲孔（*Blind vias*）技术可以避免这个问题，因为它们只穿透其中几层。盲孔是将几层内部 **PCB** 与表面 **PCB** 连接，不须穿透整个板子。埋孔则只连接内部的 **PCB**，所以光是从表面是看不出来的。

在多层板 **PCB** 中，整层都直接连接上地线与电源。所以我们将各层分类为信号层（*Signal*），电源层（*Power*）或是地线层（*Ground*）。如果 **PCB** 上的零件需要不同的电源供应，通常这类 **PCB** 会有两层以上的电源与电线层。

零件封装技术

插入式封装技术（Through Hole Technology）

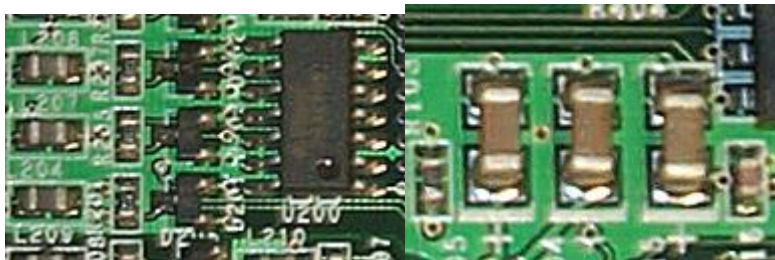
将零件安置在板子的一面，并将接脚焊在另一面上，这种技术称为「插入式（Through Hole Technology, THT）」封装。这种零件会需要占用大量的空间，并且要为每只接脚钻一个洞。所以它们的接脚其实占掉两面的空间，而且焊点也比较大。但另一方面，THT 零件和 SMT（Surface Mounted Technology，表面黏着式）零件比起来，与 PCB 连接的构造比较好，关于这点我们稍后再谈。像是排线的插座，和类似的界面都需要能耐压力，所以通常它们都是 THT 封装。



THT 零件（焊接在底部）

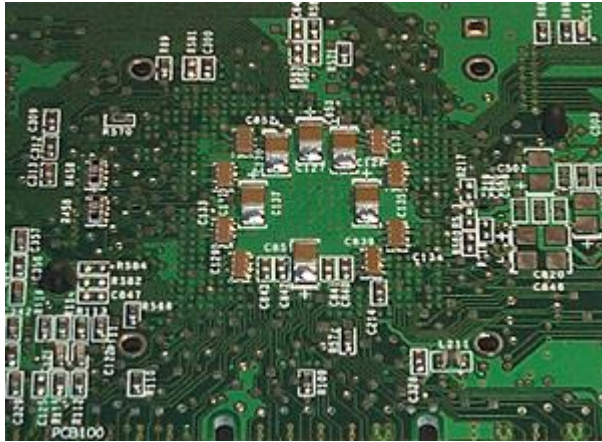
表面黏贴式封装技术（Surface Mounted Technology）

使用表面黏贴式封装（Surface Mounted Technology, SMT）的零件，接脚是焊在与零件同一面。这种技术不用为每个接脚的焊接，而都在 PCB 上钻洞。



表面黏贴式零件

表面黏贴式的零件，甚至还能在两面都焊上。



表面黏着式的零件焊在 **PCB** 上的同一面。

SMT 也比 **THT** 的零件要小。和使用 **THT** 零件的 **PCB** 比起来，使用 **SMT** 技术的 **PCB** 板上零件要密集很多。**SMT** 封装零件也比 **THT** 的要便宜。所以现今的 **PCB** 上大部分都是 **SMT**，自然不足为奇。

因为焊点和零件的接脚非常的小，要用人工焊接实在非常难。不过如果考虑到目前的组装都是全自动的话，这个问题只会出现在修复零件的时候吧。

设计流程

在 **PCB** 的设计中，其实在正式布线前，还要经过很漫长的步骤，以下就是主要设计的流程

系统规格

首先要先规划出该电子设备的各项系统规格。包含了系统功能，成本限制，大小，运作情形等等。

系统功能区块图

接下来必须要制作出系统的功能方块图。方块间的关系也必须要标示出来。

将系统分割几个 **PCB**

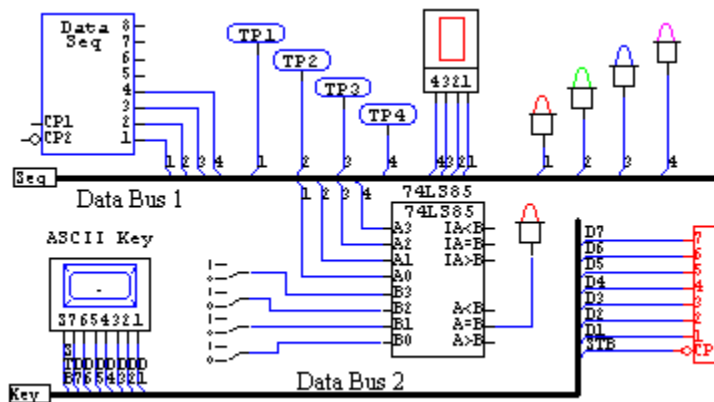
将系统分割数个 **PCB** 的话，不仅在尺寸上可以缩小，也可以让系统具有升级与交换零件的能力。系统功能方块图就提供了我们分割的依据。像是计算机就可以分成主机板、显示卡、声卡、软盘驱动器和电源等等。

决定使用封装方法，和各 **PCB** 的大小

当各 **PCB** 使用的技术和电路数量都决定好了，接下来就是决定板子的大小了。如果设计的过大，那么封装技术就要改变，或是重新作分割的动作。在选择技术时，也要将线路图的品质与速度都考量进去。

绘出所有 PCB 的电路概图

概图中要表示出各零件间的相互连接细节。所有系统中的 PCB 都必须描出来，现今大多采用 CAD（计算机辅助设计，Computer Aided Design）的方式。下面就是使用 [CircuitMaker™](#) 设计的范例。



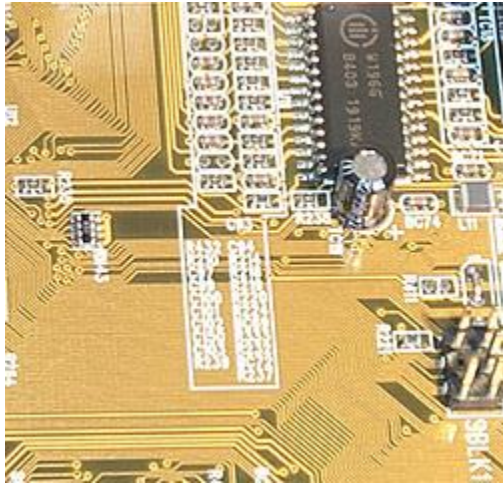
PCB 的电路概图

初步设计的仿真运作

为了确保设计出来的电路图可以正常运作，这必须先用计算机软件来仿真一次。这类软件可以读取设计图，并且用许多方式显示电路运作的情况。这比起实际做出一块样本 PCB，然后用手动测量要来的有效率多了。

将零件放上 PCB

零件放置的方式，是根据它们之间如何相连来决定的。它们必须以最有效率的方式与路径相连接。所谓有效率的布线，就是牵线越短并且通过层数越少（这也同时减少导孔的数目）越好，不过在真正布线时，我们会再提到这个问题。下面是总线在 PCB 上布线的样子。为了让各零件都能够拥有完美的配线，放置的位置是很重要的。



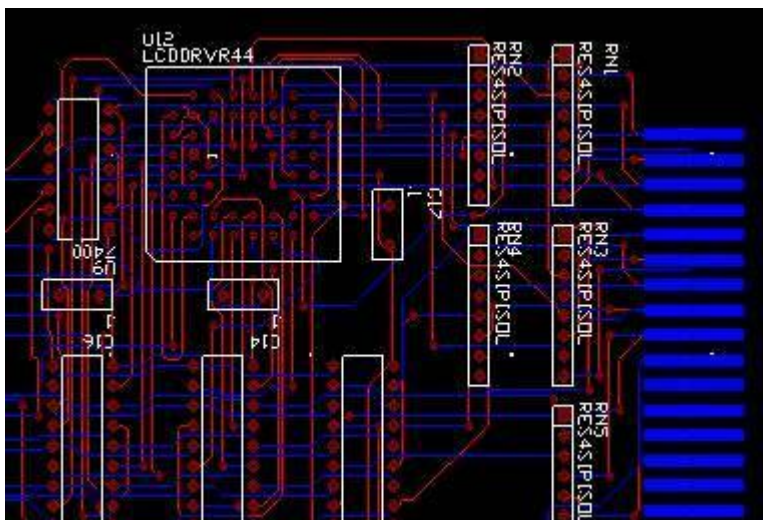
导线构成的总线

测试布线可能性，与高速下的正确运作

现今的部份计算机软件，可以检查各零件摆设的位置是否可以正确连接，或是检查在高速运作下，这样是否可以正确运作。这项步骤称为安排零件，不过我们不会太深入研究这些。如果电路设计有问题，在实地导出线路前，还可以重新安排零件的位置。

导出 PCB 上线路

在概图中的连接，现在将会实地作成布线的样子。这项步骤通常都是全自动的，不过一般来说还是需要手动更改某些部份。下面是 **2** 层板的导线模板。红色和蓝色的线条，分别代表 **PCB** 的零件层与焊接层。白色的文字与四方形代表的是网版印刷面的各项标示。红色的点和圆圈代表钻洞与导孔。最右方我们可以看到 **PCB** 上的焊接面有金手指。这个 **PCB** 的最终构图通常称为工作底片(**Artwork**)。



使用 **CAD** 软件作 **PCB** 导线设计

每一次的设计，都必须符合一套规定，像是线路间的最小保留空隙，最小线路宽度，和其它类似的实际限制等。这些规定依照电路的速度，传送信号的强弱，电路对耗电与噪声的敏感度，以及材质品质与制造设备等因素而有不同。如果电流强度上升，那导线的粗细也必须要增加。为了减少 **PCB** 的成本，在减少层数的同时，也必须要注意这些规定是否仍旧符合。如果需要超过 **2** 层的构造的话，那么通常会使用到电源层以及地线层，来避免信号层上的传送信号受到影响，并且可以当作信号层的防护罩

导线后电路测试

为了确定线路在导线后能够正常运作，它必须要通过最后检测。这项检测也可以检查是否有不正确的连接，并且所有联机都照着概图走。

建立制作档案

因为目前有许多设计 **PCB** 的 **CAD** 工具，制造厂商必须有符合标准的档案，才能制造板子。标准规格有好几种，不过最常用的是 **Gerber files** 规格。一组 **Gerber files** 包括各信号、电源以及地线层的平面图，阻焊层与网板印刷面的平面图，以及钻孔与取放等指定档案。

电磁兼容问题

没有照 **EMC**（电磁兼容）规格设计的电子设备，很可能会散发出电磁能量，并且干扰附近的电器。**EMC** 对电磁干扰（**EMI**），电磁场（**EMF**）和射频干扰（**RFI**）等都规定了最大的限制。这项规定可以确保该电器与附近其它电器的正常运作。**EMC** 对一项设备，散射或传导到另一设备的能量有严格的限制，并且设计时要减少对外来 **EMF**、**EMI**、**RFI** 等的磁化率。换言之，这项规定的目的就是要防止电磁能量进入或由装置散发出。这其实是一项很难解决的问题，一般大多会使用电源和地线层，或是将 **PCB** 放进金属盒子当中以解决这些问题。电源和地线层可以防止信号层受干扰，金属盒的效用也差不多。对这些问题我们就不过于深入了。

电路的最大速度得看如何照 **EMC** 规定做了。内部的 **EMI**，像是导体间的电流损耗，会随着频率上升而增强。如果两者之间的电流差距过大，那么一定要拉长两者间的距离。这也告诉我们如何避免高压，以及让电路的电流消耗降到最低。布线的延迟率也很重要，所以长度自然越短越好。所以布线良好的小 **PCB**，会比大 **PCB** 更适合在高速下运作。

制造流程

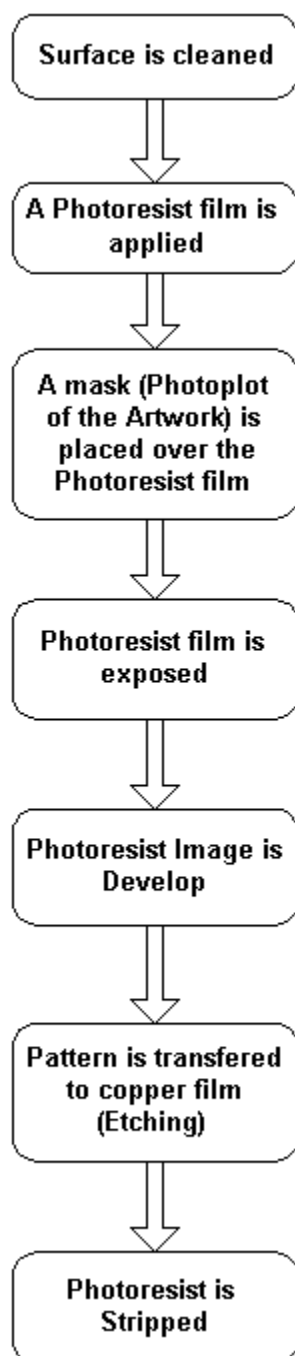
PCB 的制造过程由玻璃环氧树脂（**Glass Epoxy**）或类似材质制成的「基板」开始。

影像（成形 / 导线制作）

制作的第一步是建立出零件间联机的布线。我们采用负片转印（**Subtractive transfer**）方式将工作底片表现在金属导体上。这项技巧是将整个表面铺上一层薄薄的铜箔，并且把多余的部份给消除。追加式转印（**Additive Pattern transfer**）是另一种比较少人使用的方式，这是只在需要的地方敷上铜线的方法，不过我们在这里就不多谈了。

如果制作的是双面板，那么 **PCB** 的基板两面都会铺上铜箔，如果制作的是多层板，接下来的步骤则会将这些板子黏在一起。

接下来的流程图，介绍了导线如何焊在基板上。

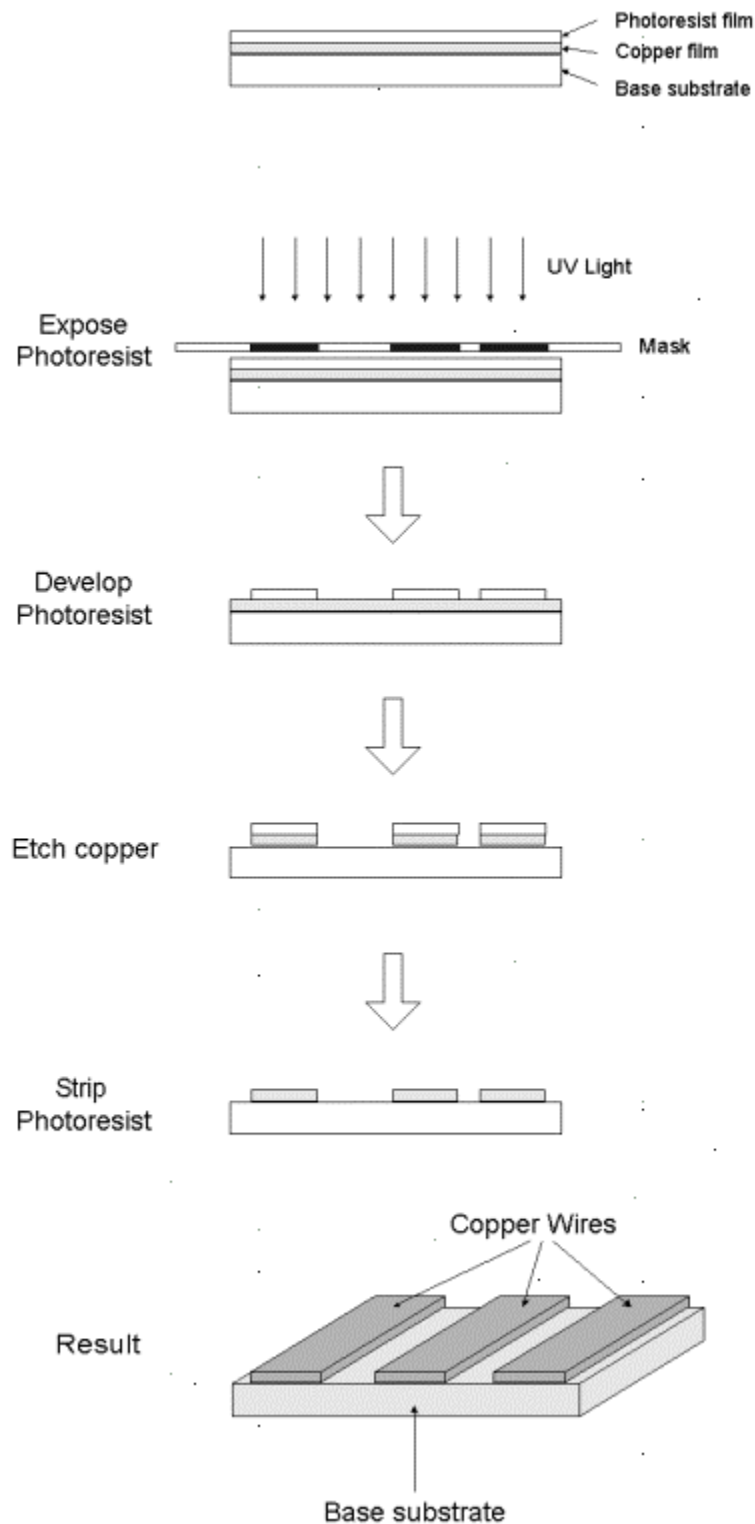


正光阻剂 (**positive photoresist**) 是由感光剂制成的，它在照明下会溶解（负光阻剂则是如果没有经过照明就会分解）。有很多方式可以处理铜表面的光阻剂，不过最普遍的方式，是将它加热，并在含有光阻剂的表面上滚动（称作干膜光阻剂）。它也可以用液态的方式喷在上头，不过干膜式提供比较高的分辨率，也可以制作出比较细的导线。

遮光罩只是一个制造中 **PCB** 层的模板。在 **PCB** 板上的光阻剂经过 **UV** 光曝光之前，覆盖在上面的遮光罩可以防止部份区域的光阻剂不被曝光（假设用的是正光阻剂）。这些被光阻剂盖住的地方，将会变成布线。

在光阻剂显影之后，要蚀刻的其它的裸铜部份。蚀刻过程可以将板子浸到蚀刻溶剂中，或是将溶剂喷在板子上。一般用作蚀刻溶剂的有，氯化铁 (**Ferric Chloride**)，碱性氨 (**Alkaline Ammonia**)，硫酸加过氧化氢 (**Sulfuric Acid + Hydrogen Peroxide**)，和氯化铜 (**Cupric Chloride**) 等。蚀刻结束后将剩下的光阻剂去除掉。这称作脱膜 (**Stripping**) 程序。

您可以由下面的图片看出铜线是如何布线的。



这项步骤可以同时作两面的布线。

钻孔与电镀

如果制作的是多层 **PCB** 板，并且里头包含埋孔或是盲孔的话，每一层板子在黏合前必须要先钻孔与电镀。如果不经这个步骤，那么就没办法互相连接了。

在根据钻孔需求由机器设备钻孔之后，孔壁里头必须经过电镀（镀通孔技术，**Plated-Through-Hole technology, PTH**）。在孔壁内部作金属处理后，可以让内部的各层线路能够彼此连接。在开始电镀之前，必须先清掉孔内的杂物。这是因为树脂环氧物在加热后会产生一些化学变化，而它会覆盖住内部 **PCB** 层，所以要先清掉。清除与电镀动作都会在化学制程中完成。

多层 **PCB** 压合

各单片层必须要压合才能制造出多层板。压合动作包括在各层间加入绝缘层，以及将彼此黏牢等。如果有透过好几层的导孔，那么每层都必须要重复处理。多层板的外侧两面上的布线，则通常在多层板压合后才处理。

处理阻焊层、网版印刷面和金手指部份电镀

接下来将阻焊漆覆盖在最外层的布线上，这样一来布线就不会接触到电镀部份外了。网版印刷面则印在其上，以标示各零件的位置，它不能够覆盖在任何布线或是金手指上，不然可能会减低可焊性或是电流连接的稳定性。金手指部份通常会镀上金，这样在插入扩充槽时，才能确保高品质的电流连接。

测试

测试 **PCB** 是否有短路或是断路的状况，可以使用光学或电子方式测试。光学方式采用扫描以找出各层的缺陷，电子测试则通常用飞针探测仪（**Flying-Probe**）来检查所有连接。电子测试在寻找短路或断路比较准确，不过光学测试可以更容易侦测到导体间不正确空隙的问题。

零件安装与焊接

最后一项步骤就是安装与焊接各零件了。无论是 **THT** 与 **SMT** 零件都利用机器设备来安装放置在 **PCB** 上。

THT 零件通常都用叫做波峰焊接（**Wave Soldering**）的方式来焊接。这可以让所有零件一次焊接上 **PCB**。首先将接脚切割到靠近板子，并且稍微弯曲以让零件能够固定。接着将 **PCB** 移到助溶剂的水波上，让底部接触到助溶剂，这样可以将底部金属上的氧化物给除去。在加热 **PCB** 后，这次则移到融化的焊料上，在和底部接触后焊接就完成了。

自动焊接 **SMT** 零件的方式则称为再流回焊接（**Over Reflow Soldering**）。里头含有助溶剂与焊料的糊状焊接物，在零件安装在 **PCB** 上后先处理一次，经过 **PCB** 加热后再处理一次。待 **PCB** 冷却之后焊接就完成了，接下来就是准备进行 **PCB** 的最终测试了。

节省制造成本的方法

为了让 **PCB** 的成本能够越低越好，有许多因素必须要列入考量：

- 板子的大小自然是个重点。板子越小成本就越低。部份的 **PCB** 尺寸已经成为标准，只要照着尺寸作那么成本就自然会下降。[CustomPCB](http://CustomPCB.com) 网站上有一些关于标准尺寸的信息。
- 使用 **SMT** 会比 **THT** 来得省钱，因为 **PCB** 上的零件会更密集（也会比较小）。
- 另一方面，如果板子上的零件很密集，那么布线也必须更细，使用的设备也相对的要更高阶。同时使用的材质也要更高级，在导线设计上也必须更小心，以免造成耗电等会对电路造成影响的问题。这些问题带来的成本，可比缩小 **PCB** 尺寸所节省的还要多。
- 层数越多成本越高，不过层数少的 **PCB** 通常会造成大小的增加。
- 钻孔需要时间，所以导孔越少越好。
- 埋孔比贯穿所有层的导孔要贵。因为埋孔必须要在接合前就先钻好洞。
- 板子上孔的大小是依照零件接脚的直径来决定。如果板子上有不同类型接脚的零件，那么因为机器不能使用同一个钻头钻所有的洞，相对的比较耗时间，也代表制造成本相对提升。
- 使用飞针式探测方式的电子测试，通常比光学方式贵。一般来说光学测试已经足够保证 **PCB** 上没有任何错误。

总而言之，厂商在设备上下的工夫也是越来越复杂了。了解 **PCB** 的制造过程是很有用的，因为当我们在比较主机板时，相同效能的板子成本可能不同，稳定性也各异，这也让我们得以比较各厂商的能力。

好的工程师可以光看主机板设计，就知道设计品质的好坏。您也许自认没那么强，不过下次您拿到主机板或是显示卡时，不妨先鉴赏一下 **PCB** 设计之美吧！