

印制电路技术

成都市科学技术情报研究所
成都地区印制电路技术情报网 合编

目 录

印制电路的照相原理和过程

一、设备.....	1
(一)照相机的选择。	
(二)镜头的选择。	
二、照相用感光材料的结构与性质.....	6
(一)感光材料的结构。	
(二)感光底片的分类。	
(三)感光胶片的性能指标与表示方法。	
(四)照相底片的性能指标与表示方法。	
三、几种典型的照相方法和化学反应过程.....	11
(一)SO软片照相。	
(二)SO软片的逆显照相。	
(三)湿板照相(包括在聚酯薄膜上的照相)。	
(四)微泡拷贝胶片。	

感光胶抗蚀剂的对比应用

一、感光胶简介.....	34
二、感光胶抗蚀剂的分类.....	34
三、感光胶的初步比较.....	35
(一)重铬酸盐系感光胶。	
(二)重氮树脂系感光胶。	
(三)感光干膜抗蚀剂。	
四、对感光胶感光过程的初步认识.....	36
(一)负性感光胶的感光原理(以PVAC为例)。	
(二)正性感光胶的感光原理。	
(三)对重铬酸盐系感光过程与固化过程的认识。	
(四)对重铬酸盐系感光膜的固化过程认识。	
五、各种感光胶抗蚀剂在印制电路板制造中的应用.....	41
(一)液体感光胶抗蚀剂在光化学制造印制电路板中的应用。	
(二)感光干膜抗蚀剂在印制电路板制造中的应用。	
(三)感光胶在丝网印刷制造印制电路板中的应用。	
(四)光敏涂料在印制电路板制造中的应用。	
(五)感光树脂材料的发展。	

干膜光致抗蚀剂的性能与应用

一、概述	49
二、高分子化合物	49
(一) 高分子化合物的定义。	
(二) 高分子化合物的分类与命名。	
(三) 高分子化合物的特点。	
(四) 高分子化合物的结构及性质。	
(五) 高分子化合物的合成方法。	
三、感光树脂	52
(一) 什么叫感光树脂。	
(二) 用途。	
(三) 感光树脂的类型。	
(四) 光对感光树脂的作用。	
四、干膜光致抗蚀剂(即感光膜)	56
(一) 干膜抗蚀剂的组成及结构。	
(二) 感光胶层的组成。	
(三) 添加剂的作用。	
(四) 干膜光致抗蚀剂的分类。	
(五) 干膜光致抗蚀剂的用途。	
(六) 全水溶型感光膜。	
五、全水溶型感光膜在印制板制造中的应用	60
(一) 感光膜的使用方法。	
(二) 制作抗蚀图形。	
六、光致抗蚀剂的发展; 干膜的优越性及发展概况	67
(一) 光致抗蚀剂的发展趋势。	
(二) 干膜的优越性。	
(三) 干膜发展的概况。	

化学沉积法在印制电路中的应用

一、概述	70
二、化学镀铜液成份及其影响	71
(一) 硫酸铜含量影响。	
(二) 氢氧化钠含量影响。	
(三) 还原剂含量的影响。	
(四) 络合剂含量的影响。	
三、化学镀铜反应机理	73
四、化学镀铜的发展方向	77
五、化学沉积法在减去法制造印制板中的应用	84

印制电路工艺——孔金属化技术

一、概述.....	103
二、化学镀原理.....	103
三、有关孔化溶液的配制.....	105
四、孔化工艺过程.....	106
五、胶体钯活化液.....	109
六、电镀加厚.....	110
七、表面保护性电镀.....	113
八、孔金属化质量问题.....	118

印制电路的照相原理和过程

李炳坤

印制板在现代电子工业中占有重要的地位。要制得高精度、高密度和高可靠性的印制板，照相底版的质量是极为重要的。

对于印制板的照相来说，必然要考虑如下问题：

1. 设备即照相机机身，镜头和光源的选择；
2. 照相用感光材料的结构和性质；
3. 合适的照相工艺及各工序中的化学反应过程。

一、设 备

(一) 照相机的选择

为了选择适应于印制电路照相的照相机和镜头，务必了解成像的光学原理。

1. 成像原理：

照相机有多种部件，关键是镜头。镜头的成像原理与透镜的成像原理相同。

(1) 焦点和焦距：

焦点——当平行光束通过透镜之后汇聚的位置叫做焦点。

焦距——焦点到透镜中心的距离叫焦距，以f表示

(2) 成像原理

因为透镜有聚光的能力，所以由图纸反射的光线通过透镜之后在透镜的另一面形成倒立的像。经实践证明和理论推导得如下的成像公式：

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad (1)$$

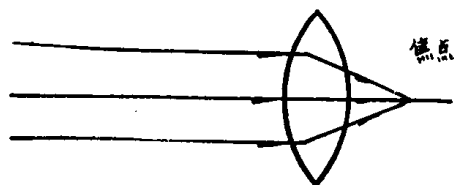
式中：f——透镜的焦距（即镜头的焦距）；

u——物距（即图纸到镜头中心的距离）；

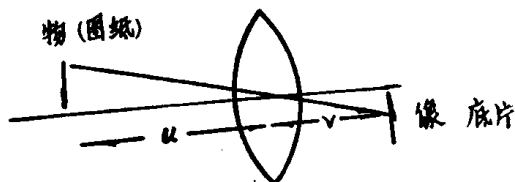
v——像距（即镜头中心到底片的距离）。

只有满足了上面的公式（1）才能得到清晰的图象。这就是照相中调焦的道理。

然而，对于印制板的照相而言，单单满足公式（1）是不够的。因为它只能说明可以得到清晰的图象而不能说明由它可以得到需要的尺寸。所以，我们还需要按图纸的倍



透镜（镜头）



率调整照相机，使之缩小到所需的比例。这个比例称为缩小倍率，以K表示。按成像原理的相似三角形，可得到缩小倍率为：

$$K = \frac{\text{物长}}{\text{像长}} = \frac{U}{V} \quad (2)$$

从这个公式可以得到所需的缩小倍率。对印制板照相的要求是既要图形清晰，又要按其比例缩小，故要同时满足上述公式(1)和公式(2)。

2. 机身长度的选择：

以K代入公式(1)则得公式(3)；而公式(2)也可写成公式(4)：

$$U = (K + 1) f \quad (3)$$

$$V = \frac{U}{K} \quad (4)$$

从公式(3)和公式(4)可知，要得到缩小K倍而图形清晰的像，则图纸必须在离镜头中心为(K+1)倍的镜头焦距处，而底片的药膜面离镜头中心的距离为物距除以缩小倍率。在镜头给定的条件下，公式(3)和公式(4)就是选择照相机机身长度的依据。

例如，镜头f=450，要照4倍的图纸的话，则原图到底片的距离最小应有：

$$U + V = (K + 1) f + \frac{(K + 1) f}{4} = 2812.5 \text{mm}，\text{而底片夹到镜头中心的可进}$$

退范围最小为：(K+1)f ÷ 4 = 562.5mm。

3. 机身刚性的选择：

理想的机身应该是经过时效了的理想的刚体，否则会因导轨变形或受外力振动而招致图纸框架的垂直性能的改变。要做到这点，或者采用高性能的材料，或者加大几何尺寸，别无他择。这就是机身往往尺寸庞大，重量笨重以及重心较底的原因。对于图纸框架要求抗外力振动的能力良好，所以它往往也是笨重的刚性体。除了对机身和图纸框架几何尺寸的要求而外，还要求导轨的水平随时可以调节，框架与导轨的垂直度随时可以调整。为了使所夹的图纸夹得平整，最好有对图纸进行真空抽吸的装置。另外对图纸的装卸还力求方便简单。

(二) 镜头的选择

能用于照相的镜头很多，但不一定都能用于印制板的照相。为了能更合理地选择镜头，则需对有关镜头的几个基本概念有所了解。

1. 有关镜头的几个基本概念：

(1) 孔径：

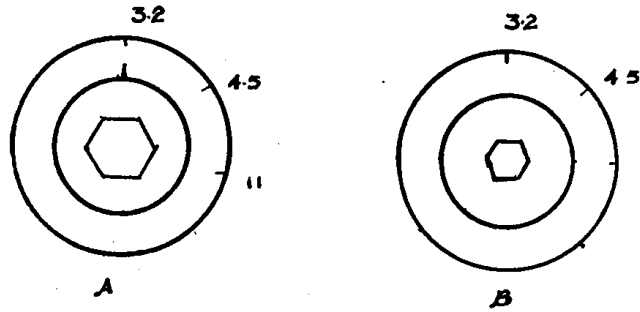
能透光的光孔的直径，以D代表。

(2) 相对孔径：

孔径与焦距之比 $\frac{D}{f}$ ， $\frac{D}{f}$ 越大则光通量越大。

(3) F数：

也叫光圈指数，是镜头的一个很重要的参数，其值是相对孔径的倒数，即 $F = \frac{f}{D}$ 。也就是镜头上所标的3.2，4.5，6.3…等数值。照相时用调节F数的办法来调节光通量，即我们平常所说的调光圈。F数越大则光通量越小。反之亦然。相邻两个F数的光通量正好为一倍之差。下图示意说明了相对孔径与光圈指数的关系：



例如，对同一镜头讲，图A的相对孔径大，图B的相对孔径小。但A的光圈指数比B的要小。

每个镜头在使用时F数是可以改变的，但任何镜头都有一个最小的F数，即镜头框上所标的数值。如标有1:4.5字样时，则说明该镜头的最小F数为4.5。最小F数关系到镜头的分辨率，即可拍摄细线条的能力。最小F数也是镜头的一个重要指标。

(4) 分辨率：

镜头的分辨率也可叫做分辨最细线条的能力。是每毫米长度内能分出黑白等距的线条的最大数目。可以由下述两种图形之一来测试：



理论上镜头的分辨率 $R_0 = 1000/\lambda F$ (条/毫米)。

式中： λ ——拍摄光源的波长(微米)；

F——最小F数。

可见，当镜头的F数越小则分辨率越高，或者说镜头的焦距越短、孔径越大则分辨率越高。

当使用图形A测试时，结果直观但不连续。不能测出镜头性能的方向性。

当使用图形B测试时，间距与线宽的值是无级变化，如果镜头的分辨能力不均匀时，则拍摄的底板上将会出现椭圆的图形。

由于镜头存在着畸变，色差及像差等原因，所以实际使用时镜头的分辨率只能有理

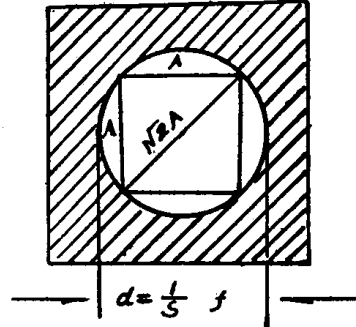
论值的1/3~1/5、再加上感光材料本身的分辨率的限制，故所拍得的底片的分辨率就更低了。

(5) 有效视场:

照相时，底片上的图形尺寸不能超过一定的范围，如果超出了这个范围、则图形变得不清晰或者发生变形。这个范围就是镜头的有效视场。或者叫有效像场。有效视场与镜头的焦距有关。一般说来，有效视场的直径d仅为镜头焦距f的1/5左右，即

$$d = \frac{1}{5} f$$

如右图所示：图中，圆内面积为有效视场，圆内的正方形为能清晰成像的图形。



如所需的像长为A，则镜头的有效视场为 $\sqrt{2} A$ ，即 $d = \frac{1}{5} f = \sqrt{2} A$ 。

所以镜头最小焦距应为

$$f = 5 \sqrt{2} A \approx 7 A$$

务必说明的一点是，镜头有效视场的概念同我们现行印制板照相的实际应用是有较大出入的，也就是说，我们用较短焦距的镜头可以照得比有效视场大得多的图形。这是由于目前对印制电路照相的精度要求比较低的原故。严格说来，在有效视场之外的图形是业已变形了的图形，只是我们用肉眼不易直观地觉察或不致严重影响使用性能就是了。对于高精度的图形来讲，有效视场的概念是不能忽视的。

(6) 镜头的景深:

在保持图形清晰度无明显变化的情况下，偏离像的焦平面前后所允许的变动范围称之为景深。其值以 ΔD 表示。

$$\Delta D = 4 \lambda F^2$$

式中： λ ——光的波长；

F——镜头的F数。

可见，F数越小则景深越小。

对于精细图形的照相来讲，镜头景深的存在是有利也有害的。有利的地方是并不要求有严格的位置就可得到清晰的图形，只要在景深范围之内即行。然而，感光胶片的薄膜表面和内层均可生成清晰的图象，使图形边沿不易清晰陡直，妨碍细线条的拍摄，这就是害之所在了。

由于有景深的存在，所以在对光调焦时，最好先将F数放在最小位置，照相时适当放大F数，再则，底片水平移动而招致垂直方向位置的移动必须小于景深，否则所得的图形就会变得模糊了。

2. 镜头的选择:

从上述镜头的六个基本指标来看，如要全部满足是既不可能也无必要，这是因为目前对印制板照相底片精度的要求相对来说还是很低的。所以优先考虑如下两点就敷应用

了:

(1) 选取适当焦距的镜头:

当照相机机身已固定的情况下, 所选焦距要能满足如下两点要求:

① 缩小倍率和相机机身的长度:

$$f \leq \frac{\text{机身长度}}{K+1} \quad (5)$$

② 所照图纸的最大尺寸和图纸的比例:

$$f \geq \text{底片上有用图形边长的 } 7 \text{ 倍} \quad (6)$$

前面已述, 式(5)是必须满足的, 而式(6)仅作参考而已。

(2) 选取分辨率高的镜头:

要求镜头的畸变小, F数也小。

(三) 光源的选择:

要合理选择照相用的光源就先要了解光的性质及感光材料对光的敏感频谱。

1. 光源种类的选择:

众所周知, 光具有微粒、波动二重性, 其能量随着波长的不同而不同。不同的单色光具有不同的波长。就可见光来讲, 其波长范围是 $4000\text{Å} \sim 7500\text{Å}$ 。 $4000\text{Å} \sim 1200\text{Å}$ 者为不可见的紫外光, $7500\text{Å} \sim 12000\text{Å}$ 者为不可见的红外光。可见光中又可分为红、橙、黄、绿、兰、紫六种不同的单色光, 这六种单色光按一定比例混合成日常所见的白光。其中某种含量偏多时则所呈现的颜色就偏重。下面是可见单色光的波长范围:

紫色光—— $4000\text{Å} \sim 4400\text{Å}$

兰色光—— $4400\text{Å} \sim 5000\text{Å}$

绿色光—— $5000\text{Å} \sim 5700\text{Å}$

黄色光—— $5700\text{Å} \sim 5900\text{Å}$

橙色光—— $5900\text{Å} \sim 6200\text{Å}$

红色光—— $6200\text{Å} \sim 7500\text{Å}$

尽管现行的含Ag照相材料都是以AgX为基础的, 但用于印制板照相的感光底片和照人物山水市售胶卷是大不相同的。其差别除了AgX的X(卤素)各有千秋而外, 更主要的是用于印制板照相的基片是未经增感或增感甚微的正色片或色盲片, 而市售照人物山水的胶卷是经强烈增感了的全色片。所谓“增感”, 质而言之就是将其感色的波长范围拉宽。现有的正色片或色盲片, 它们只对紫外线或紫色的光域特别敏感, 而对其它可见的单色光的感色性能就要弱得多。另外, 光波波长的长短影响着镜头分辨率及感光胶片的分辨率, 根据 $R_0 = 1000/\lambda F$, 可知波长 λ 降低时则分辨率增高, 这样可使图形清晰陡直。由于正色乳剂有这些性质, 就促使我们选用紫外线或紫色光域含量多的光源。对湿版照相来讲更是如此。目前所使用的光源有白炽灯、日光灯、碳弧灯、碘钨灯、氙灯及汞灯等等。就其紫外光或紫色光的含量而言, 以碳弧灯最富, 其次是汞灯和氙灯。相对而言, 其它各类灯的含量就比较少了。尽管碳弧灯的紫外线或紫色光含量居位于冠, 但因光源不稳定及严重的灰尘污染, 故逐渐有被淘汰之势。

2. 光源位置的选择:

从工业照相的角度讲, 光源的位置有两种, 一种是透射光, 光源在原图的背后, 一

种是反射光，光源在原图的前面。透射光多用于要求精度很高的集成电路或薄膜电路，这种光源位置对于印制板的照相当然是理想的。然而，目前印制板原图的布线多属双面，采用描图或贴图于白色反光的纸上，而不是采用刻制原图的方法，所以几乎都未用透射光而是用的反射光。由于光的入射角等于反射角，所以真正理想的光源位置应该在镜头的周围。可是，这又是难于办到的而是有意思地采用某一角度射向图纸。这一角度一般采用 45° 角。之所以采取 45° 角入射，因为两边灯光都以 45° 角入射时，图纸中间的照度最低，反射出来的光线最弱；而镜头允许透过光线的能力又是以中间为最大、周围较弱。这样图纸反射的光强度与镜头透过光的能力互相弥补了，使像场内的光强度比较均匀。另外，还可能使图纸上的亮点反射不致落在像场之内。

究竟有多少光线达到镜头呢？这取决于光源所发射的能量、被摄图纸所接受的光量以及被射图纸所反射的光量。这就涉及到灯距的影响，根据平方反比定律，即照度与距离的平方成反比的关系，所以考虑曝光时间的增减时首先要考虑灯距变化的尺寸。这也就是说，灯距的改变或图纸倍率的改变将严重地影响曝光时间的长短。

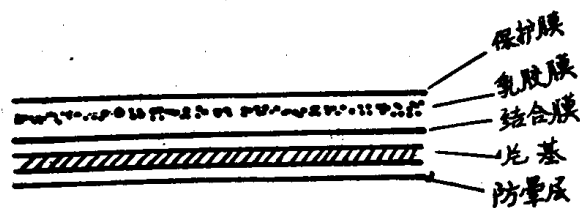
二、照相用感光材料的结构与性质

感光材料是多种多样的，然而不是所有的感光材料都能用作印制电路照相。

照相感光材料的使用性能除了本身的成份和制造工艺而外，还决定于使用条件，只有良好的材料加上合理的工艺，才可能得到质量良好的底片。为了更好地使用，有必要对感光材料的组份及制造方法有基本的了解。

(一) 感光材料的结构：

一般讲，感光材料是由如下的结构构成的：



1. 基片：

是透明的载体。多用优质玻璃、聚酯薄膜或硝化纤维素薄膜。

2. 结合膜：

在基片之上，其作用是增强乳胶膜和基片之间的粘附能力，使之水洗等加工过程中胶膜不致脱落起皮。

3. 乳胶膜：

是具有感光基础的主体层。由明胶、卤化银以及其它的辅助材料所构成。卤化银中有 AgCl ， AgBr 和 AgI 。用得最多的是 AgBr ，其次才是 AgI 或 AgCl 。

明胶的作用：

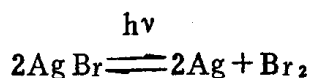
卤化银是感光物质，但单靠它并不能组成感光材料。即使涂布均匀的单一 AgX 层具有感光能力，但是显影不出所需的图形来。因为 AgX 的颗粒彼此相连，显影时无论是否

曝光都能被显影变黑。这是由于曝光过的AgX显影时接触了其它的AgX微粒，起到了催化剂的作用，使未曝光的AgX也成了可显影的了。为了避免这种现象，必须在AgX微粒的周围包围上一层保护的胶膜。这种胶膜，蛋白、火棉胶都可以充当，但效果最好的算是明胶。

归纳起来，明胶有如下作用：

(1) 高度分散并包围在AgX的周围。使AgX微粒彼此隔开高度分散、不沉淀、不结块。这样它就保护了未曝光的AgX，使之不被很快地显影出来，而能形成细腻的形象。

(2) 用明胶制的感光材料比其它物质（如蛋白、火棉胶之类）所制的乳剂有较高的感光速度。为何能提高感光速度呢？原因有两点：首先是因为明胶中含有少量的还原剂和硫化物，可以使一部份的AgX在曝光之前就还原出Ag或Ag₂S来，这些微量的Ag和Ag₂S形成了感光中心。其次是明胶可以吸收曝光时产生的卤素分子，这样就提高了感光效率。对于



反应来讲，其实质是个动态平衡。如果Br₂不被吸收，则Br₂又可能和Ag结合生成AgBr了。

(3) 具有良好的加工性能：

易溶也易凝，对于制造时的水洗等都有利。否则水洗无法进行。使用明胶也是存在缺陷的，由于它的来源不同，所以成份很不固定，造成批量之间的性能不稳定。

乳胶膜中除了明胶和AgX之外，还有其它的辅助成份，如增感剂、防灰剂和坚膜剂之类。

我们知道，单纯的AgX的光分解反应并不是很容易进行的，只有在紫外光域附近才有较快的感光速度。为了增大感光波长的范围，提高感光速度，故需加入微量的增感剂，将其感光波长的范围拉宽在3300—6000Å之间。因此，在紫外光极少的室内光线下，底片也具有感光性质。当然，在拉宽了的感光频谱内仍对短波长的光线敏感得多。

为了防止或减少底片灰雾，需加入适量的防灰剂。明胶的溶化温度是较低的，为了使明胶不致见水之后溶化或发粘，需要加入坚膜剂，如铬钾矾之类。以提高明胶的溶化温度和减少膨胀。

4. 保护膜：

主要由明胶或其它透明胶质组成的保护膜在药膜面的最外层。其作用是防止底片因摩擦而产生伤痕或灰雾。

5. 防晕层：

药膜反面的黑色或别种颜色的防护膜，它能吸收透过乳剂膜达到基片上的多余光线。这样就减少了因光线反射而造成线条边沿发毛或不陡直的现象。

(二) 感光底片的分类

1. 按基片性质分有：

- (1) 玻璃干板
- (2) 玻璃湿板
- (3) 在聚酯薄膜上进行湿板照相
- (4) 软干片 (SO正色片和色盲片)

2. 按感色性能分有:

- (1) 色盲片——乳剂中不加任何增感色素, 黑白反差大。对红、绿光都不敏感。
- (2) 正色片——也叫分色片, 加入了红色色素, 对兰、紫光波感光最快, 对黄、绿光稍能感光, 但对红光完全不感光。如SO软片即是。能用于印制板照相的有正色片和色盲片。

3. 按乳剂粒度与工艺, 还可分为超微粒干板、微粒干板、罗甸干板、罗甸湿板、正色软片等等。

感光胶片的定数 (DIN) 是个重要的参数。如SO干片为3定 (3°), 它代表着感光速度的快慢。一般是定数越大, 感光速度越快, 而粒度越粗分辨率越低。

(三) 感光胶片的性能指标与表示方法

感光乳剂之所以能记录影像, 是因为不同的曝光量使AgX分解的数量也不相同。

在了解感光胶片的性能之前, 先了解一下与“感光”有关的一些关系。

照度——单位面积上所接受的光通量, 单位为勒克司。例如一标准烛光在一米远的地方表面上, 每平方米面积上所得的光通量为1勒克司。

变黑定律——同一种胶片, 在固定条件下, 如果曝光时的曝光量相同, 则胶片变黑的程度也相同。如写成公式则为:

$$\text{曝光量 } H = \text{照度 } E \times \text{曝光时间 } t$$

变黑定律又叫倒数律, 它是曝光多少的表示方法。

感光胶片的性能指标主要有如下四个方面:

1. 感色性:

感光胶片对不同波长光的敏感程度叫感色性。如SO干片就对紫外、紫兰色光波最为敏感。

我们知道, 光具有微粒性, 也就是说光是一种物质微粒, 这种物质微粒叫光子或光量子。光量子和其它物质微粒一样, 具有一定的能量。光又具有波动性, 也就是说光量子能量的大小与它波动的频率有关。具体关系是:

$$E = h\nu$$

式中: E——光量子的能量 尔格

ν ——波动的频率 赫兹

h——普朗克常数, 值为 6.62×10^{-27} 尔格·秒。

显而易见, 可见光谱的两个极端的情况, 红外线具有的能量最小, 主要只有热的性质。而紫外线的能量很大, 主要具有光化性质。

在感色性问题上另一个需要回答的问题是, 色盲片为什么对红光、绿光一点也不感光呢? 所谓感光, 就是能量为 $h\nu$ 的光量子击中AgX晶格时, 一部份能量用于激化它使之放出电子来, 该部份所需的能量令为P。而多余的能量则变成了放出来的电子的动能

$\frac{mv^2}{2}$, 也就是说

$$h\nu = P + \frac{mv^2}{2}$$

如果光量子的能量 $h\nu \leq P$, 则电子的动能等于 0, 也即电子的运动速度为 0。这样, 潜影就不能形成了。关于这一点, 在以后“潜影的形成”中还会涉及。

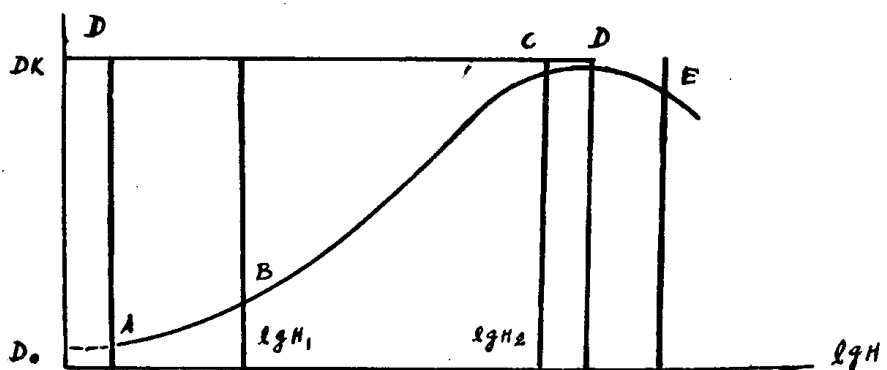
具体地说, 红光、绿光光量子的能量 $h\nu$ 小于色盲片中 AgX 激化所需要的 P, 故不能形成潜影。正色片亦然。

2. 感光度:

感光度表示感光材料对光化作用的反应能力和反应快慢。通常是指在一定条件下, 经曝光显影后能变黑到某一黑度所需要的曝光量。

3. 宽容度:

感光胶片能按一定比例记录亮度范围的能力叫该胶片的宽容度, 或者说照相底片的黑度随曝光量的增加而线性增加的范围, 叫该感光胶片的宽容度。在宽容度之外照相底片的黑度不完全随着曝光量的增加而增加。下面是感光胶片的特性曲线:



图中: $\lg H$ 是曝光量的对数;

D 为照相底片的光密度, 或叫黑度。

宽容度 = $\lg H_2 - \lg H_1$

从曲线中可见:

AB——叫曲线趾部或曝光不足部。曝光量增加很多, 但黑度增加不明显。

BC——直线部份, 也叫宽容度部份。黑度同曝光量按比例增加。照相时应充分利用这一段。

CD——曝光过度部即肩部。虽说曝光量增加但黑度增加很少。照相时要尽量避免这一段, 否则会产生灰雾。

DE——反转部。曝光量增加时黑度反而降低。

反转部这个反常的现象是可以这样来解释的: 当曝光量合适的时候, 潜影产生后的溴 (Br_2) 被明胶吸收而除去。这样银的含量增加了。但曝光量太大时, 则胶膜中产生大量的 Br_2 , 明胶吸收不完。大量剩余的 Br_2 又和潜影 Ag 结合起来形成 $AgBr$ 保护层, 它

使潜影和显影液接触的机会减少，减少了显影中心而不易显影。

沿曲线的A点往外延伸交于 D_0 ， D_0 叫胶片的灰雾密度。它是不曝光也会存在的灰雾。

曲线顶点D作平行线与纵轴相交 D_K ， D_K 即胶片的最大光密度。

4. 分辨率

有时叫解象力。是每毫米长度内能分出黑白等距的线条的最大数目。它与银粒的粗细和膜的厚薄有关。它的测试图形和理论值的计算公式都和镜头的相同。

(四) 照相底片的性能指标及表示方法:

良好的感光胶片固然是制得好的照相底片的前提，然而照相底片的性能指标毕竟不能由感光胶片的性能指标来代替。照相底片的主要性能指标有如下四个方面：

1. 光密度:

光密度又叫黑度。是单位面积上所沉积的银的含量。以D表示变黑的程度。密度的大小固然与曝光显影的程度有关，但任何胶片都有一个最大的限度，此称为最大光密度。

$$D = \text{阻光本领的对数} = \lg \frac{\text{入射光能量}}{\text{透射光能量}}$$

例如，当入射光量为100，透射光量为10，则 $D = \lg 10 = 1$ ，当入射光量为100，透射光量为0.1，则 $D = \lg 1000 = 3$ 。

即，当 $D = 1$ 时，说明光线通过时被减少到原来的1/10；

当 $D = 3$ 时，说明光线通过时被减少到原来的千分之一。

2. 透明度:

表示光线通过底片时透过的程度。其值为

$$\text{透明度 } T = \frac{\text{透射光能量}}{\text{入射光能量}}$$

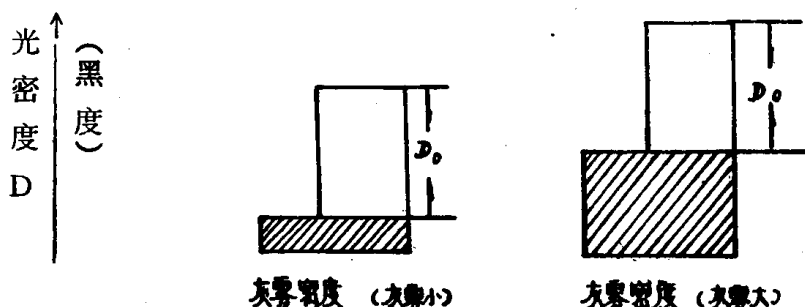
可见底片透明度和黑度的关系是：

$$D = \lg \frac{1}{T}$$

3. 反差:

所谓反差，就是图形中最大密度和最小密度的差别。对于印制板的照相底片而言，反差就是银影的密度和透明部份的灰雾密度的差别。

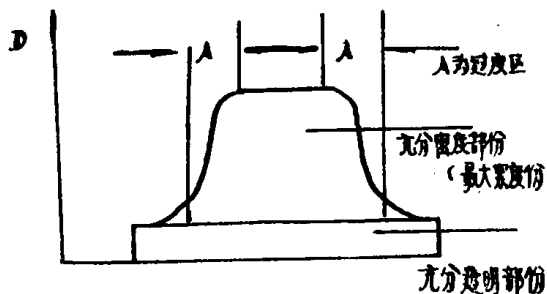
必须注意的一点是反差只能说明透光能力的差度，而不能说明透光与遮光的能力。这一点可以由下面的示意图说明：



从图可见，尽管二者的反差 D_o 是相同的，但灰雾就相差很远，透光与遮光的能力也相差很远。

4. 过渡区：

从充分密度到充分透明的过渡宽度，过渡区的大小也即图形边沿陡直的程度。



综上所述，对于印制板的照相底片要求有良好的黑度（高密度），最高的反差，极小的灰雾和尽可能小的过渡区。其中的任何一个都不能全面反映底片质量的好坏。

三、几种典型的照相方法和化学反应过程

(一) SO软片照相

以往由于软片货源缺乏，使用者较少。但近年来货源逐渐扩大，所以使用SO软片相照的也越来越多了。

胶片在曝光之后并不能马上看到图形，而要经过显影、定影之后才能得到固定的图象。这说明在曝光后底片上已形成了一个看不见的象，称之为潜象。

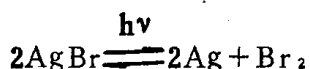
潜象究竟是什么东西？它是如何形成的？它会不会自行消失或衰退？这些都是我们所关心的问题。由于潜象的质点太小，以致于用高倍电子显微镜也看不到它的存在。所以要回答上述的问题，只能用间接的方法。

1. 曝光

(1) 潜象的组成：

潜象即潜伏之象。有时也叫潜影。它是由极其微小的Ag的颗粒组成。关于潜象是由Ag而不是由AgBr或Br₂组成的问题，可以由下面的实验得到证明：在未曝光的乳剂中加入胶体Ag后则可显影出来，而加入Br₂时就不能显出。倘若在已曝光的部份加入Br₂则反而显影不出来了，这是因为Ag与Br₂结合生成AgBr的缘故。另外，还可以证明潜象具有金属Ag的性质：将潜象放入氧化剂中则可显性即行消失。这就是说潜象的Ag被氧化了，失去了Ag的性质。

乳剂的曝光是化学变化而不是物理变化，是按如下的光化反应的方式进行的：

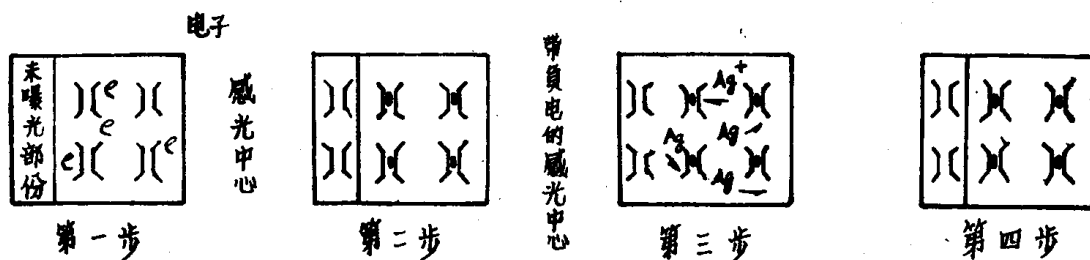


要证实上述的光化反应也是不难的：将充分曝光过的胶片先进行定影，全部除去AgBr。但定影液中不能含酸，因为含酸的定影液会部份地溶解潜影。待定影到完全透

明之后，即所有的未曝光的AgBr被全部除去之后，肉眼看来，剩下的仅仅是一张空白的透明的片基。但是随后经过物理显影，仍可得到可见的图象，该图象是由于Ag的存在催化了外来的Ag⁺还原成Ag所形成的。

(2) 潜象的形成

潜象形成的过程大致可分为四步：



第一步：曝光时，AgBr晶格接受光子的能量 $h\nu$ ，放出若干个具有动能的电子；

第二步：电子在AgBr晶格内自由运动，遇到感光中心即被吸陷，使感光中心带负电；

第三步：AgBr晶格内银离子被带负电的感光中心所吸引而移向感光中心；

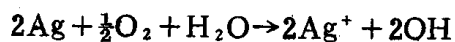
第四步：银离子与电子中和生成银原子，沉积在感光中心上。当积聚到一定大小时则形成了潜象。

可见，潜象形成的过程，实质上就是感光中心加大的过程。

(3) 潜象的衰退

经曝光的胶片如不马上冲洗，当存放一段时间之后，则所得的图象要比马上冲洗出来的淡些。如果放置的时间太长，有可能显不出图形来。这种现象叫潜象的衰退。

引起衰退的原因有氧气的因素，温度和湿度的影响。而衰退的本质是：



实践证明：衰退的速度随着温度、湿度的增高而加快。

2. 显影

(1) 显影过程及其实质：

将由数量极微的看不见的潜象变成由银组成的、具有一定密度的可见图形的过程叫做显影过程。其实质是在潜伏的银象上加上许许多多的银原子，使它扩大到可见的程度。

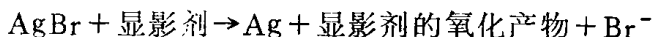
曝光形成的银和显影出来的银在数量上竟有近十亿倍之殊！也就是说，显影出来的十亿个银原子中，大约只有一个银原子是由曝光得来的。如果不用显影，而增长十亿倍的曝光时间，也可得到可见的银影，但时间之长是过于惊人了！加长十亿倍的曝光时间能得到黑色的Ag影，但不能得到所需的理想的图象，这是由于散射等原因造成的。况且由于反转特性的影响，所得的密度也是不大的。

(2) 显影的类型：

就其显影类型而言，有化学显影和物理显影两种。物理显影在印制板的照相中用得极少，故只作原理性的介绍。

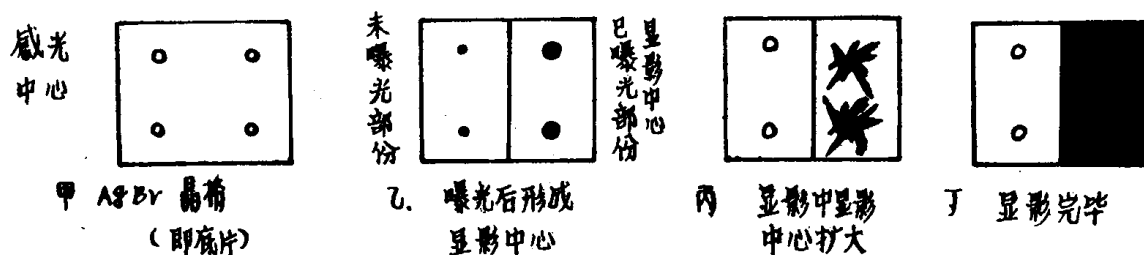
A. 化学显影：

用化学显影剂将已被曝光部份的AgBr还原成Ag。AgBr是胶片乳剂本身所固有的，并非由显影液带入。反应通式为：



显影总是从个别点开始的。由于潜象Ag的催化致使周围的AgBr很快地还原成Ag，而还原出来的Ag又去催化相邻的AgBr分子。这样的链锁催化，使得Ag的数量很快增长，直到整个感光了的乳胶膜部份的AgBr全部被还原出来为止。

曝光显影的历程可示意如下：



其步骤是：

首先，因明胶的吸收作用及原有的还原剂还原出来的Ag，胶片中本身已形成了感光中心（甲）；

其次，因曝光使感光中心扩大成潜象，形成了显影中心（乙）；

第三，因潜象Ag的催化使显影中心逐渐扩大（丙）；

最后，由于Ag的链锁催化而使Ag的密度很快加大，构成了可见的具有一定黑度的图象（丁）

然而，由于显影液中还原剂的选择性能的限制，故未曝光部份的AgBr也是能被还原成Ag的，只是还原速度很慢而已。

B. 物理显影：

物理显影并非“物理作用”，本质仍是化学反应。只是它赋予显影中心的Ag不是胶片乳剂本身固有的，而是由显影液中带来的罢了。

物理显影的显影液是显影剂与可溶性银盐的混合物。当银离子（ Ag^+ ）与潜象银接触时，由于潜象Ag的催化作用，可以使 Ag^+ 很快还原成Ag而加到潜象上去。这就象电镀一样，将银原子一个一个地“镀”上了潜象。

（3）显影液的组成及功能

SO软片的显影液多用ED-12，其组成为：

{	米吐尔	1克	} 显影剂
	对苯二酚	9克	
	亚硫酸钠	75克	保护剂
	无水碳酸钠	30克	促进剂
	溴化钾	5克	防灰剂
	水	1000毫升	

从组份看，SO软片的显影液包括显影剂、保护剂、促进剂和防灰剂。下面分别介绍各成份的作用。