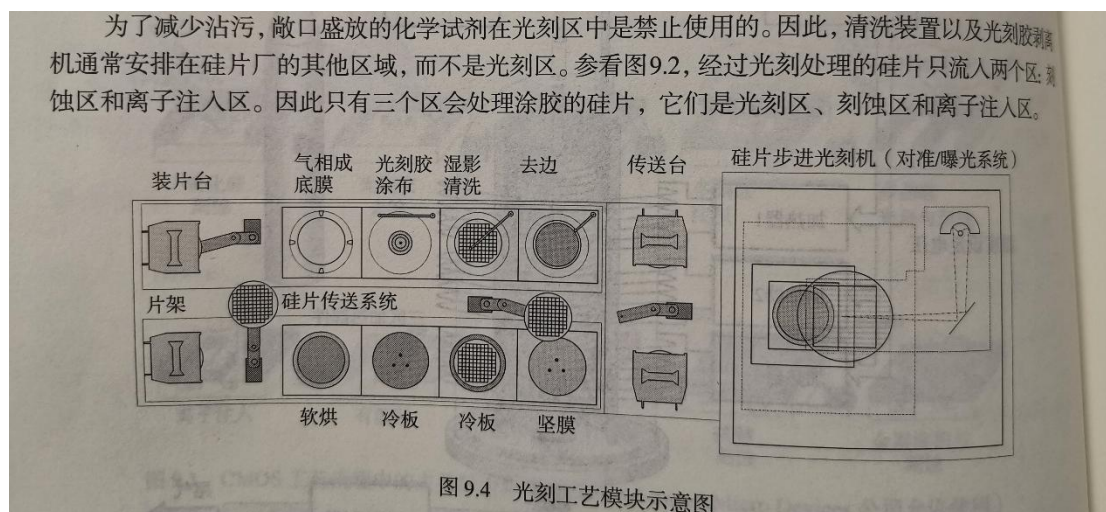


光刻与刻蚀实验

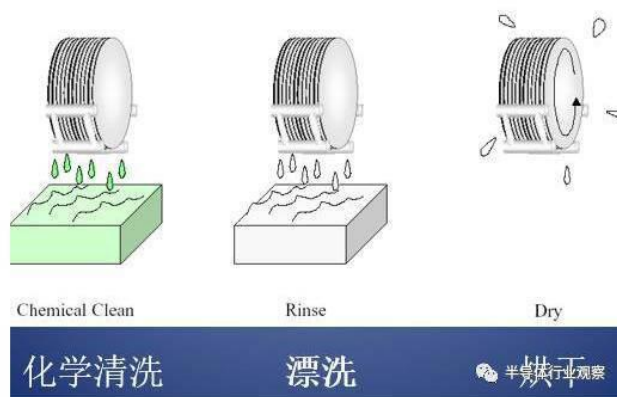
光刻技术的详细工序：



一、清洗硅片（Wafer Clean）

清洗硅片的目的是去除污染物去除颗粒、减少针孔和其它缺陷，提高光刻胶黏附性

基本步骤：化学清洗——漂洗——烘干。



硅片经过不同工序加工后，其表面已受到严重沾污，一般讲硅片表面沾污大致可分在三类：

- 1、有机杂质沾污：可通过有机试剂的溶解作用，结合超声波清洗技术来去除。
- 2、颗粒沾污：运用物理的方法可采机械擦洗或超声波清洗技术来去除粒径 $\geq 0.4 \mu\text{m}$ 颗粒，利用兆声波可去除 $\geq 0.2 \mu\text{m}$ 颗粒。
- 3、金属离子沾污：必须采用化学的方法才能清洗其沾污，硅片表面金属杂质沾污有两

大类：

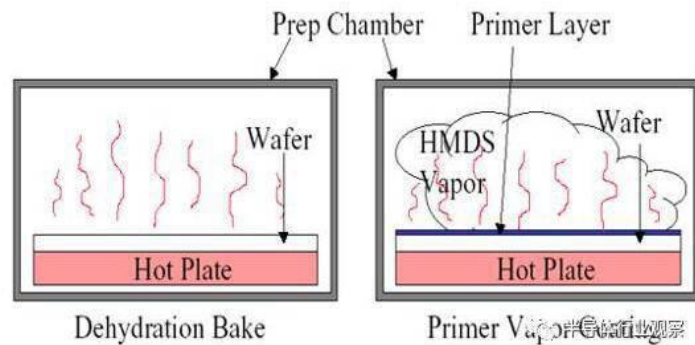
- a. 一类是沾污离子或原子通过吸附分散附着在硅片表面。
- b. 另一类是带正电的金属离子得到电子后面附着（尤如“电镀”）到硅片表面。

硅抛光片的化学清洗目的就在于要去除这种沾污。

二、预烘和底胶涂覆（Pre-bake and Primer Vapor）

由于光刻胶中含有溶剂，所以需要在 80 度左右时涂好硅片光刻胶。硅片脱水烘焙（密闭腔中进行）能去除圆片表面的潮气、增强光刻胶与表面的黏附性、通常大约 200-250 °C。这是与底胶涂覆合并进行的。成底膜后 60 分钟内要完成涂胶，以免潮气影响。

底胶涂覆增强光刻胶(PR)和圆片表面的黏附性。广泛使用: (HMDS)六甲基二硅胺、在 PR 旋转涂覆前 HMDS 蒸气涂覆、PR 涂覆前用冷却板冷却圆片。



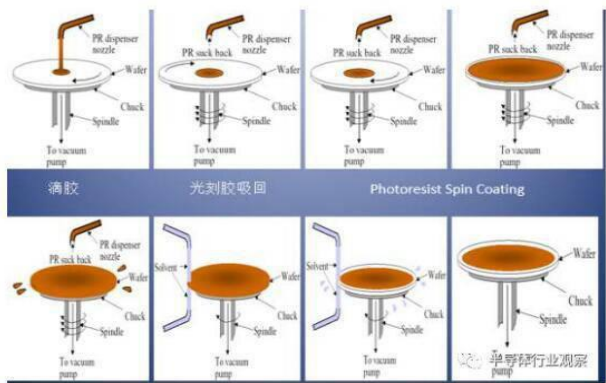
三、光刻胶涂覆（Photoresist Coating）

作为光刻工艺自身的第一步，一薄层的对紫外光敏感的有机高分子化合物，即通常所说的光刻胶，要涂在样品表面(SiO₂)。首先光刻胶被从容器中取出滴布到置于涂胶机中的样品表面，(由真空负压将样品固定在样品台上)，样品然后高速旋转，转速由胶粘度和希望胶厚度确定。在这样的高速下，胶在离心力的作用下向边缘流动。

涂胶工序是图形转换工艺中最初的也是重要的步骤。涂胶的质量直接影响到所加工器件的缺陷密度。为了保证线宽的重复性和接下去的显影时间，同一个样品的胶厚均匀性和不同样品间的胶厚一致性不应超过±5nm(对于 1.5um 胶厚为±0.3%)。

光刻胶的目标厚度的确定主要考虑胶自身的化学特性以及所要复制图形中线条的及间隙的微细程度。太厚胶会导致边缘覆盖或连通、小丘或田亘状胶貌、使成品率下降。在 MEMS 中、胶厚(烤后)在 0.5-2um 之间，而对于特殊微结构制造，胶厚度有时希望 1cm 量级。在后

者，旋转涂胶将被铸胶或等离子体胶聚合等方法取代。常规光刻胶涂布工序的优化需要考虑滴胶速度、滴胶量、转速、环境温度和湿度等，这些因素的稳定性很重要。

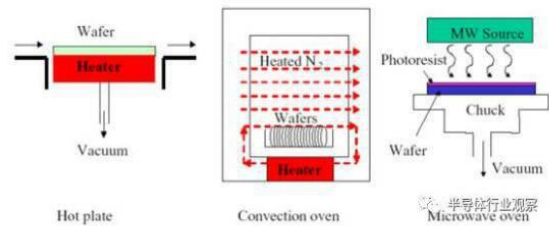


四、前烘/软烘（Soft Bake，85-120℃，30-60s）

完成光刻胶的涂抹之后，需要进行软烘干燥操作，这一步骤也被称为前烘。前烘能够蒸发光刻胶中的溶剂溶剂、能使涂覆的光刻胶更薄。

在液态的光刻胶中，溶剂成分占 65%—85%。虽然在甩胶之后，液态的光刻胶已经成为固态的薄膜，但仍有 10%—30%的溶剂，容易沾污灰尘。通过在较高温度下进行烘培，可以使溶剂从光刻胶中挥发出来（前烘后溶剂含量降至 5%左右），从而降低了灰尘的沾污。同时，这一步骤还可以减轻因高速旋转形成的薄膜应力，从而提高光刻胶 衬底上的附着性。

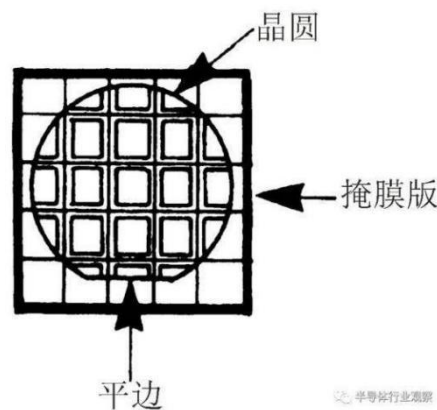
在前烘过程中，由于溶剂挥发，光刻胶厚度也会减薄，一般减薄的幅度为 10%—20% 左右。



五、对准 (Alignment)

光刻对准技术是曝光前一个重要步骤作为光刻的三大核心技术之一，一般要求对准精度为最细线宽尺寸的 $1/7$ --- $1/10$ 。随着光刻分辨力的提高，对准精度要求也越来越高，例如针对 45nm 线宽尺寸，对准精度要求在 5nm 左右。

受光刻分辨力提高的推动，对准技术也经历迅速而多样的发展。从对准原理上及标记结构分类，对准技术从早期的投影光刻中的几何成像对准方式，包括视频图像对准、双目显微镜对准等，一直到后来的波带片对准方式、干涉强度对准、激光外差干涉以及莫尔条纹对准方式。从对准信号上分，主要包括标记的显微图像对准、基于光强信息的对准和基于相位信息对准。



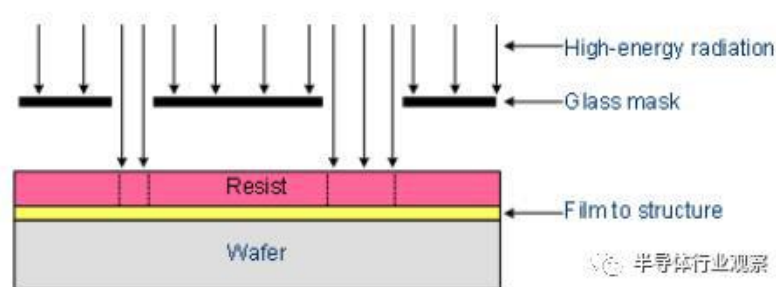
对准法则是第一次光刻只是把掩膜版上的 Y 轴与晶圆上的平边成 90° ，如图所示。接下来的掩膜版都用对准标记与上一层带有图形的掩膜对准。对准标记是一个特殊的图形(见图)，分布在每个芯片图形的边缘。经过光刻工艺对准标记就永远留在芯片表面，同时作为下一次对准使用。

对准方法包括：

- a、预对准，通过硅片上的 notch 或者 flat 进行激光自动对准
- b、通过对准标志，位于切割槽上。另外层间对准，即套刻精度,保证图形与硅片上已经存在的图形之间的对准。

六、曝光 (Exposure)

在这一步中，将使用特定波长的光对覆盖衬底的光刻胶进行选择性地照射。光刻胶中的感光剂会发生光化学反应，从而使正光刻胶被照射区域（感光区域）、负光刻胶未被照射的区域（非感光区）化学成分发生变化。这些化学成分发生变化的区域，在下一步的能够溶解于特定的显影液中。



在接受光照后，正性光刻胶中的感光剂 DQ 会发生光化学反应，变为乙烯酮，并进一步水解为茚并羧酸 (Indene-Carboxylic-Acid, CA)，羧酸在碱性溶剂中的溶解度比未感光部分的光刻胶高出约 100 倍，产生的羧酸同时还会促进酚醛树脂的溶解。利用感光与未感光光刻胶对碱性溶剂的不同溶解度，就可以进行掩膜图形的转移。

曝光后需要在热板上立即进行 90-130℃、时长 1-2min 的烘焙。

曝光方法：

- a、接触式曝光 (Contact Printing) 掩模板直接与光刻胶层接触。
- b、接近式曝光 (Proximity Printing) 掩模板与光刻胶层的略微分开，大约为 10~50μm。
- c、投影式曝光 (Projection Printing)。在掩模板与光刻胶之间使用透镜聚集光实现曝光。
- d、步进式曝光(Stepper)

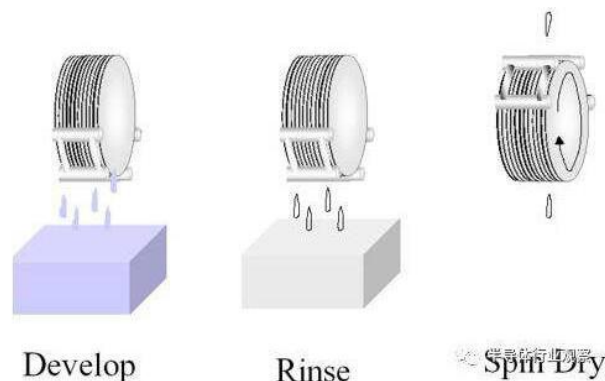
七、显影(development)

通过在曝光过程结束后加入显影液，正光刻胶的感光区、负光刻胶的非感光区，会溶解于显影液中。这一步完成后，光刻胶层中的图形就可以显现出来。为了提高分辨率，几乎每一种光刻胶都有专门的显影液，以保证高质量的显影效果。

显影工序使将在曝光过程中形成的隐性图形成为光刻胶在与不在的显性图形，以作为下一步加工的膜版。显影中进行的是选择性溶解的过程，最重要的是曝光区和未曝光区之间溶解率的比值(DR)。商用正胶有大于 1000 的 DR 比，在曝光区溶解速率为 3000nm/min，在未

曝光区只有几 nm/min。

现在有二种显影方法，一是湿显影，他 IC 和微加工中正广泛使用，另一种是干显影。



八、坚膜（Hard Bake，125-200℃）

刻胶显影完成后，图形就基本确定，不过还需要使光刻胶的性质更为稳定。硬烘干可以达到这个目的，这一步骤也被称为坚膜。在这过程中，利用高温处理，可以除去光刻胶中剩余的溶剂、增强光刻胶对硅片表面的附着力，同时提高光刻胶在随后刻蚀和离子注入过程中的抗蚀性能力。另外，高温下光刻胶将软化，形成类似玻璃体在高温下的熔融状态。这会使光刻胶表面在表面张力作用下圆滑化，并使光刻胶层中的缺陷（如针孔）减少，这样修正光刻胶图形的边缘轮廓。

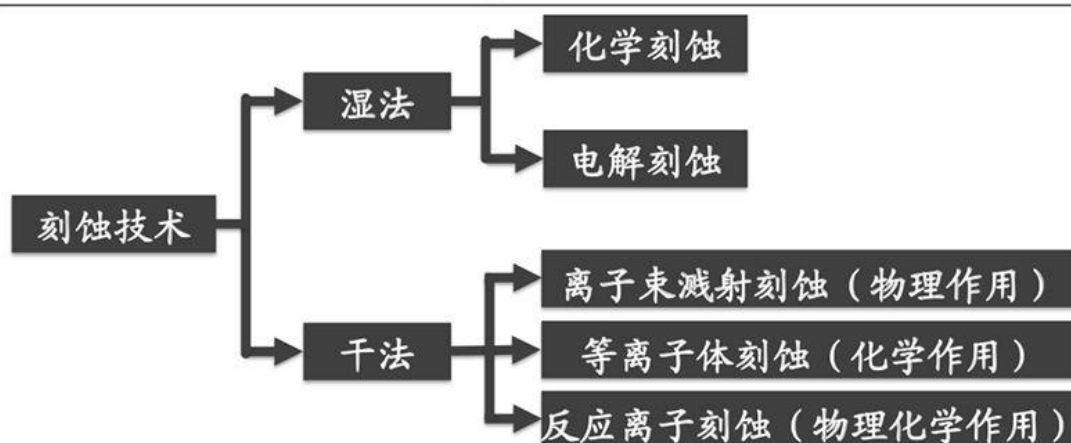
用 O₂ 等离子体对样品整体处理，以清除显影后可能的非望残留叫 de-scumming。特别是负胶但也包括正胶，在显影后会在原来胶-基板界面处残留聚合物薄层，这个问题在结构小于 1μm 或大深-宽比的结构中更为严重。当然在 De-scumming 过程中留胶厚度也会降低，但是影响不会太大。

最后，在刻蚀或镀膜之前需要硬烤以去除残留的显影液和水，并退火以改善由于显影过程渗透和膨胀导致的界面接合状况。同时提高胶的硬度和提高抗刻蚀性。硬烤温度一般高达 120 度以上，时间也在 20 分左右。主要的限制是温度过高会使图形边缘变差以及刻蚀后难以去除。

九、刻蚀

刻蚀是半导体器件制造中利用化学途径选择性地移除沉积层特定部分的工艺。刻蚀对于器件的电学性能十分重要。如果刻蚀过程中出现失误，将造成难以恢复的硅片报废，因此必须进行严格的工艺流程控制。半导体器件的每一层都会经历多个刻蚀步骤。

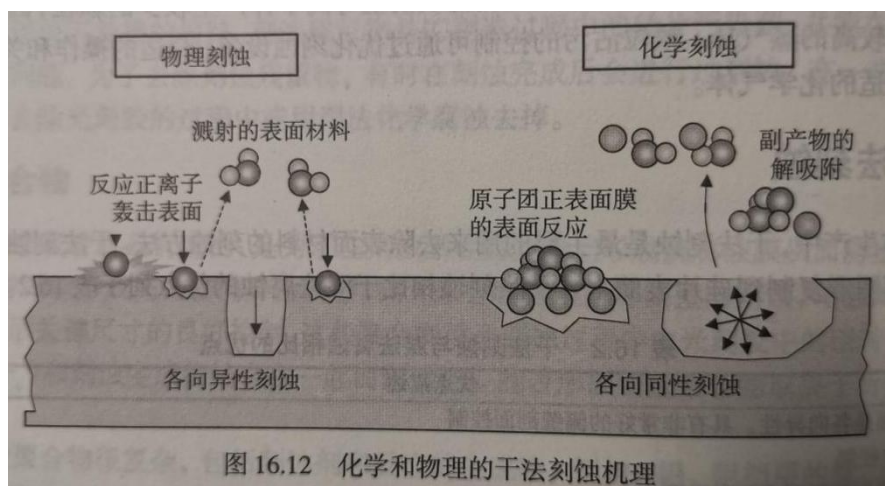
图6 刻蚀工艺分类：反应离子刻蚀应用最广泛



资料来源：《刻蚀工艺》，百度文库，海通证券研究所

按照反应原理来划分，干法刻蚀分为三种：

- 1) 物理性刻蚀，又称离子束溅射刻蚀，原理是使带能粒子在强电场下加速，这些带能粒子通过溅射刻蚀作用去除未被保护的硅片表面材料。
- 2) 化学性刻蚀，又称等离子体刻蚀，纯化学刻蚀作用中，通过等离子体产生的自由基和反应原子与硅片表面的物质发生化学反应达到刻蚀的效果。
- 3) 物理化学性刻蚀，即反应离子刻蚀，为物理刻蚀与化学刻蚀混合作用。这种物理和化学混合的作用机理结合了两种作用的优点，能获得较好的线宽控制并有较好的选择比，因而在大多数干法刻蚀中多采用反应离子刻蚀。



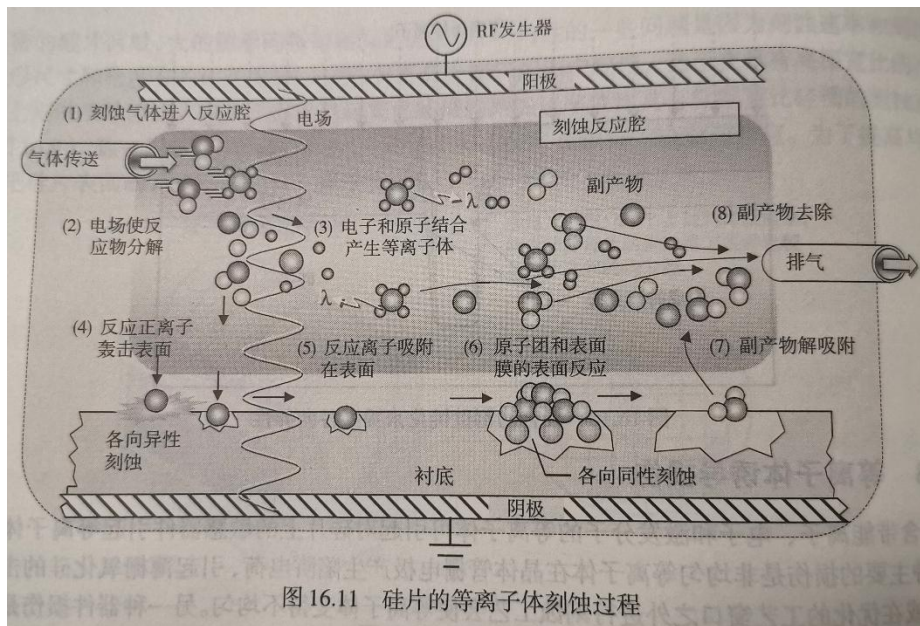


图 16.11 硅片的等离子体刻蚀过程

按照被刻蚀的材料，干法刻蚀又可以分为三种：金属刻蚀、介质刻蚀和硅刻蚀；其中，介质刻蚀使用量最大。

对于大多数刻蚀步骤，晶圆上层的部分位置都会通过“罩”予以保护，这种罩不能被刻蚀，这样就能对层上的特定部分进行选择性地移除。在有的情况中，罩的材料为光阻性的，这和光刻中利用的原理类似。而在其他情况中，刻蚀罩需要耐受某些化学物质，氮化硅就可以用来制造这样的“罩”。

十、光刻胶的去除

光刻胶的主要功能是在整个区域进行化学或机械处理工艺时，保护光刻胶下的衬底部分。所以当以上工艺结束之后，光刻胶应全部去除，这一步骤简称去胶。只有那些高温稳定的光刻胶，例如光敏感聚酰亚胺，可以作为中间介质或缓冲涂层而留在器件上。

为避免对被处理表面的任何损伤，应当使用低温下温和的化学方法。超声波的应用也可以增强剥离效能。因为有腐蚀问题、一些已知的剥离液不能作用与铝等金属表面；在此情况下、臭氧或氧等离子体(灰化)是首先采用的。这些等离子体同样成功地作为非铝表面的光刻交剥离剂，但是，器件表面的损坏仍是要解决的问题。

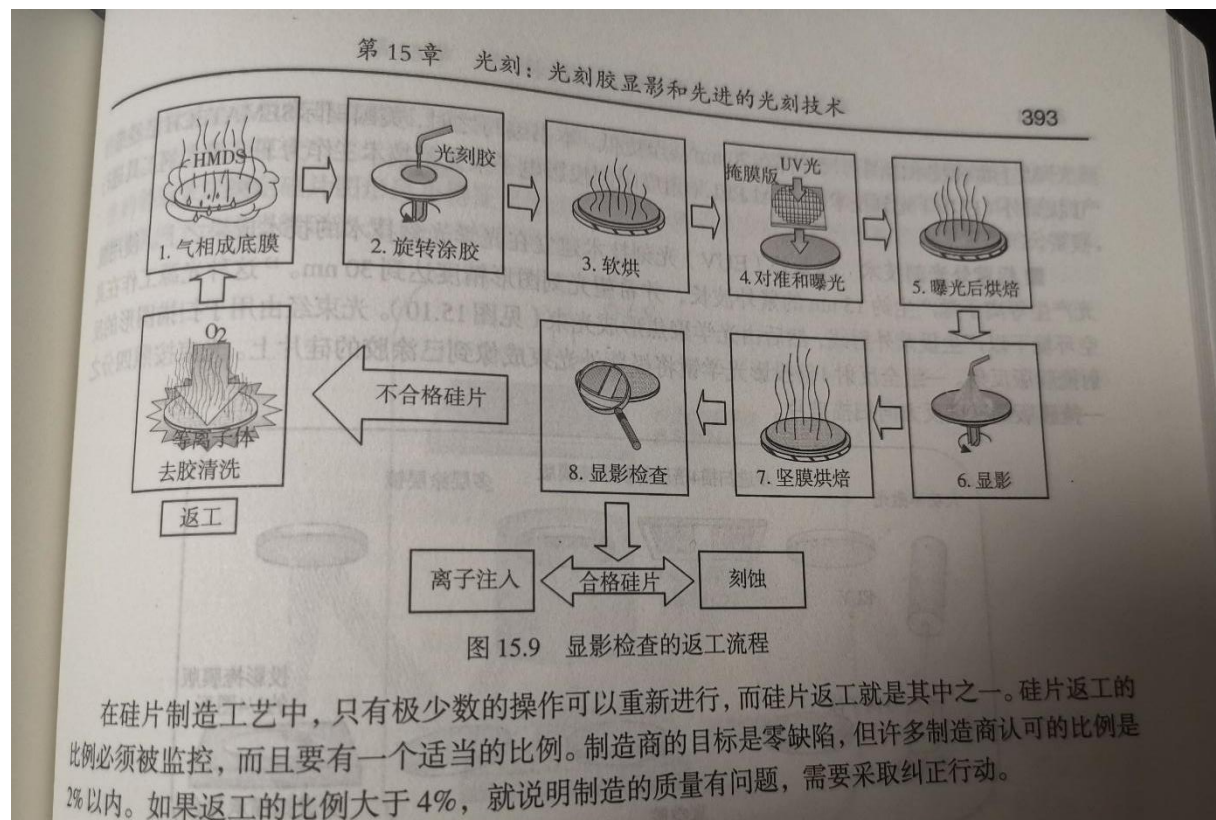
刻蚀或离子注入之后，已经不再需要光刻胶作保护层，可以将其除去。

去胶的方法分类如下：

湿法去胶：**a、有机溶剂去胶**：利用有机溶剂除去光刻胶；**b、无机溶剂**：通过使用一些无机溶剂，将光刻胶这种有机物中的碳元素氧化为二氧化碳，进而而将其除去

干法去胶：利用等离子体将光刻胶剥除。

十一、显影检查



除了这些主要的工艺以外，还经常采用一些辅助过程，比如进行大面积的均匀腐蚀来减小衬底的厚度，或者去除边缘不均匀的过程等等。一般在生产半导体芯片或者其它元件时，一个衬底需要多次重复光刻。