

半导体器件平面工艺

光刻



上海人民出版社

《半导体器件平面工艺》

光 刻

上海无线电十七厂

上海人民出版社

（内部发行）

《半导体器件平面工艺》

光 刻

上海无线电十七厂

上海人民广播电台出版

(上海绍兴路6号)

新华书店上海发行所发行 上海群众印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 2.5 字数 51,000

1971年10月第1版 1971年10月第1次印刷

书号: 15·4·194 定价: 0.16 元

发行范围: 只限国内发行

编 者 的 话

平面工艺是目前制造半导体器件的一种广泛使用的工艺,它包括制版、外延、氧化、光刻、扩散、蒸发、热压、封装等一整套技术工艺。

平面工艺主要是将光刻技术和选择扩散相互结合起来的一种生产工艺,它不仅提高了半导体器件的可靠性和稳定性,而且对制作高频大功率器件,尤其是对缩小器件体积,制作大面积集成电路提供了十分有利的条件。

为了贯彻落实伟大领袖毛主席关于“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针,为了满足电子工业战线广大工人和革命技术人员的需要,我们在有关工厂的大力支持下,组织编写了这套《半导体器件平面工艺》,选择了半导体器件生产中比较主要和急需的选题,分期、分批地陆续出版。

《光刻》一书是由上海无线电十七厂组织编写的,在编写过程中曾经多次听取了有关工人和技术员的意见,并进行了认真的修改。

由于我们学习毛泽东思想很不够,实践经验也有限,所以本书在内容上还有不少缺点、错误,欢迎广大革命的读者提出批评和建议,以便修改提高。

《半导体器件平面工艺》编写组

目 录

第一章 概述	1
1-1 光刻技术概况	1
1-2 光刻工艺过程	3
第二章 光致抗蚀剂	6
2-1 光致抗蚀剂的性能	6
2-2 光致抗蚀剂的配制	9
2-3 光致抗蚀剂的种类	11
第三章 硅片表面清洁处理	14
3-1 硅片表面清洁处理的目的	14
3-2 硅片表面清洁处理的方法	15
第四章 涂敷感光胶	18
4-1 涂胶的方法和设备	18
4-2 改进涂胶效果的几种措施	22
第五章 抗蚀剂膜的干燥(前烘)	25
第六章 曝光	27
6-1 曝光工艺过程	27
6-2 光致抗蚀剂的分辨率	29
6-3 影响分辨率的几种因素	30
第七章 显影	35
7-1 显影的要求	35
7-2 显影对光刻质量的影响	36
第八章 抗蚀剂膜的坚固(坚膜)	39

第九章	腐蚀	40
9-1	腐蚀的作用	40
9-2	腐蚀液的选择	41
9-3	二氧化硅的腐蚀	44
9-4	硅的腐蚀	50
9-5	铝等金属的腐蚀	51
第十章	抗蚀剂膜的去除(去胶)	54
第十一章	光刻中常见的弊病及防止改进的措施	55
第十二章	光刻技术的发展动态	63
12-1	大面积光刻	63
12-2	明室操作	65
12-3	投影光刻	65
12-4	电子束光刻和离子束掺杂	68

第一章 概 述

1-1 光刻技术概况

光刻是一种精密的表面加工技术。它最初出现在印刷的照相制版上，由照相技术和化学腐蚀相结合制取印刷用的凸版。

照相制版的工艺过程一般如图 1 所示。操作是在暗室中进行的。在一块金属底版(例如铜版)上，涂敷一层由重铬酸钾和胶液等配制而成的感光胶。这种感光胶有这样的特点：在没有受到光照射时容易被水溶去，而见光后就会发生化学变化，不但不再溶解于水中，而且具有很大的抗腐蚀能力。所以，只把要印刷的照相底片紧密地“贴合”在涂上感光胶并经烘干后的金属(铜)底版上后，用水银灯照射曝光；然后，用水清洗金属(铜)底版，这时由于曝光部分(即照相底片上透光的部分)的感光胶已不溶解于水，依旧粘附在金属(铜)底版上，并在以后腐蚀时仍能保护这些部分的金属版不被腐蚀；而没有感光部分(即照相底片上黑暗不透光的部分)的感光胶却

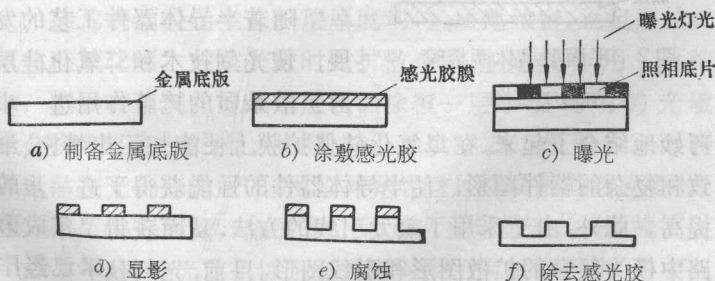


图 1 照相制版工艺示意图

能溶于水中,于是就裸露出该部分的金属(铜)底版的表面;再用硝酸等腐蚀液对未感光部分的金属面进行刻蚀;最后将曝光部分的感光胶去掉,就得到印刷用的照相凸版了。

在五十年代初期,光刻技术逐渐作为微细图形的表面加工方法推广到印刷电路的制备和其他一些工业方面。但是由于应用面的局限,人们对它并不熟悉。

伟大领袖毛主席指出:“在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。”人们在长期生产实践中,发现二氧化硅薄膜不仅具有非常稳定的化学性能和电绝缘性能,而且具有高强度的抗拒某些杂质侵入的能力。例如,常用的扩散杂质如硼、磷、砷等原子在二氧化硅和硅中的扩散,只要有数千埃(零点几微米)厚度的二氧化硅薄膜的保护,这些杂质元素的蒸汽就都被阻挡而不能扩散到硅的内部去。

因此,如果在硅片上覆盖一层氧化膜,然后利用光刻技术在其上刻蚀出缺口(小窗),于是,只有在光刻窗内扩散才能进

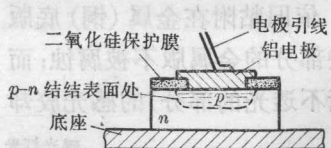


图2 平面型晶体两极管结构示意图

行,这就达到了定域扩散的目的。图2为一种典型的平面型晶体两极管结构示意图。

随着半导体器件工艺的发展,使光刻技术和二氧化硅层对扩散杂质的掩蔽作用进一步巧妙地结合了起来,在二氧化硅保护膜上便能加工出精密、细致和复杂的器件图形,使半导体器件的性能获得了进一步的提高。此外,由于采用了蒸发引线的方法,从而获得了集成电路中极为复杂的扩散图形和引线图形。目前,光刻技术已经广泛地应用在半导体器件生产之中。

1-2 光刻工艺过程

平面型半导体器件的光刻工艺一般分为涂胶、前烘、曝光、显影、坚膜、腐蚀、去胶等,如图3所示。目前,涂胶、前烘、曝光、显影仍需在暗室中操作。

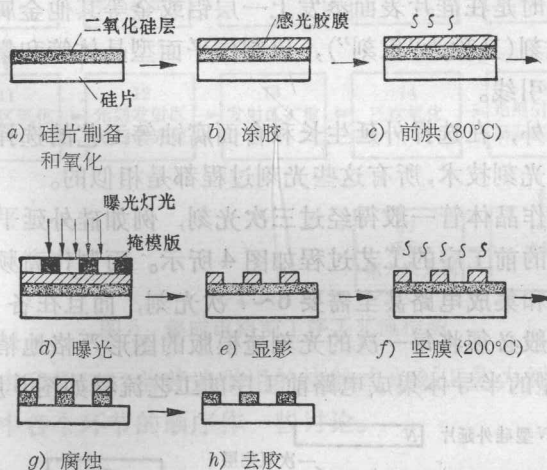


图3 光刻工艺过程

注: b)~e)步骤的操作应在暗室内进行

硅片表面应先生长一层厚度均匀、质地致密、无定形的二氧化硅氧化层,它在扩散时对扩散杂质起掩蔽作用,如图3a;然后在二氧化硅氧化层表面涂覆一层厚度均匀的光敏聚合物(光致抗蚀剂),如图3b;并烘干之,如图3c;再将其紧贴在光刻掩模版下,用紫外光线透过掩模版的透光部分,使光致抗蚀剂感光,如图3d;而后,使未感光的(即掩模版不透光部分)的光致抗蚀剂在显影时溶于有机溶剂中,形成凹坑,裸露出氧化层表面,以显现出掩模版上的图形,如图3e;

坚膜的目的是使感光的光致抗蚀剂形成坚固的抗腐蚀层，以保持氧化层表面不被腐蚀，如图 3f；最后，经过选择性腐蚀，将没有光致抗蚀剂保护而裸露出的氧化层腐蚀掉，如图 3g；再去除残存的感光胶膜，如图 3h。这样，就完成了—次光刻。

有时是在硅片表面蒸发—层铝或金等其他金属薄膜再进行光刻(又称为“反刻”)，以制作平面型晶体管和集成电路的电极引线。

此外，在选择外延生长和台面腐蚀等工艺的选择腐蚀中也采用光刻技术，所有这些光刻过程都是相似的。

制作晶体管一般得经过三次光刻，例如硅外延平面开关两极管的前工序的工艺过程如图 4 所示。而制作高频大功率晶体管和集成电路甚至需要 6~7 次光刻，而且在各次光刻中，一般必须将每一次的光刻掩模版的图形严格地精确地套准，典型的半导体集成电路前工序的工艺流程如图 5 所示。

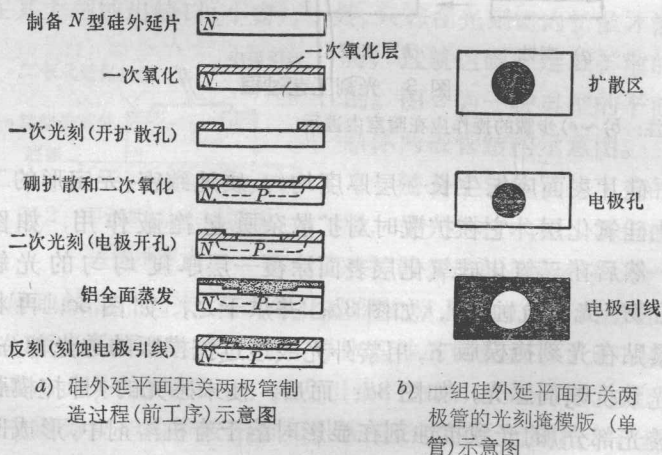


图 4 硅外延平面开关两极管工艺示意图

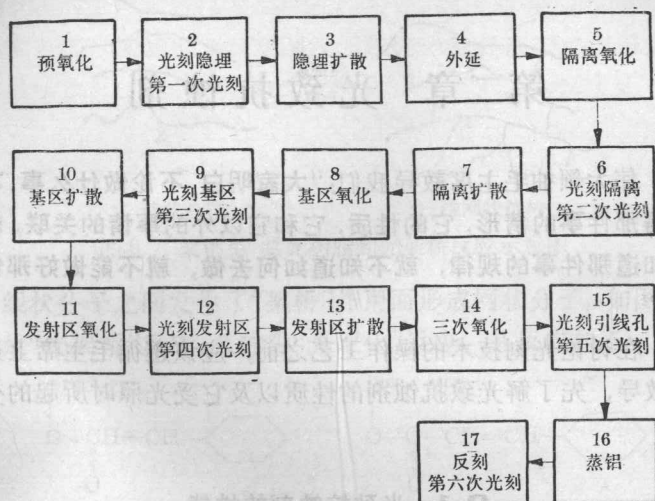


图5 集成电路前工序工艺流程图

本书我们以目前普遍采用的接触式光刻工艺为例，按光刻工艺中各个环节的顺序作一些讨论。

第二章 光致抗蚀剂

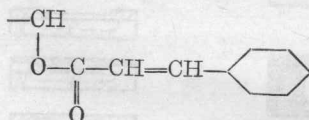
伟大领袖毛主席教导我们：“大家明白，不论做什么事，不懂得那件事的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不知道如何去做，就不能做好那件事。”

在讨论光刻技术的操作工艺之前，应该遵循毛主席上述的教导，先了解光致抗蚀剂的性质以及它受光照时所起的变化。

2-1 光致抗蚀剂的性能

光刻技术中采用的感光胶又称为光致抗蚀剂。目前常用聚乙烯醇肉桂酸脂（又称PVAC）与增感剂5-硝基苄 $[C_{12}H_9NO_2]$ 配制。

PVAC树脂是聚乙烯醇和肉桂酸脂经酯化反应后生成的一种高分子化合物，它是一种呈浅黄色的纤维状固体，其可溶于三氯甲烷、三氯乙烯、苯、环己酮、丁酮等有机溶剂中，在没有受光照射前，它的分子式是：



当外界给以适当的能量，尤其是经紫外光线照射时，其分子式中的双链（ —CH=CH— ）就被打开，使简单的直链分子结构产生二次聚合作用而引起交链，形成新的分子结构，即

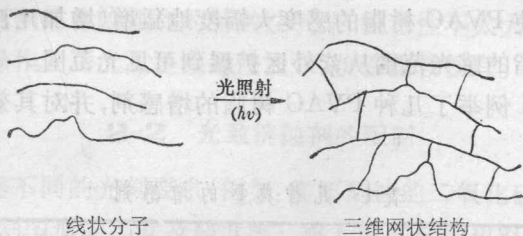
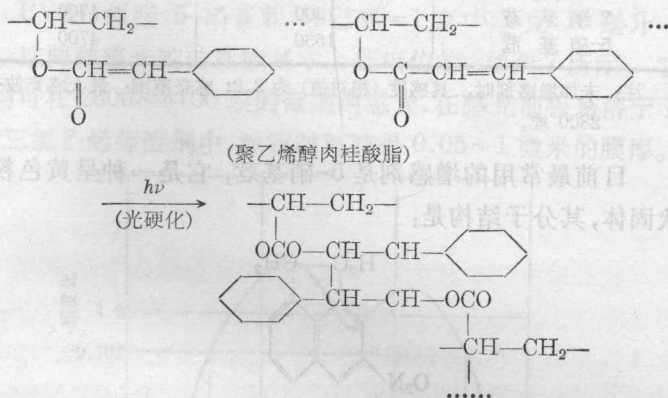


图6 “架桥型”感光树脂的光架桥反应示意图

在线状分子之间发生了“架桥”作用而形成网状分子，如图6，这是“光架桥”反应，又称为“光硬化”反应。其反应如下：



感光后的 PVAC 树脂不再溶于有机溶剂，并具有耐酸腐蚀的特性，我们就是利用这一特性来进行光刻的。

PVAC 树脂进行光聚合反应所需的光照射能量是很大的，光照时间一般需几分钟甚至更长些。

但是，如果在 PVAC 树脂中加以适量的 5-硝基萘 $[\text{C}_{12}\text{H}_9\text{NO}_2]$ 增感剂(或称为光聚引发剂)，则可大大加快树脂的光聚合反应速度。当光照射后它会产生游离基，促使聚乙烯醇肉桂酸脂中的双键迅速打开从而加快了二次聚合过程。它

不仅能使 PVAC 树脂的感度大幅度地猛增(增加几百倍),而且使树脂的感光范围从紫外区扩展到可见光范围。

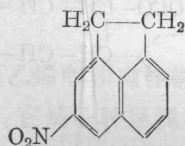
表 1 例举了几种 PVAC 树脂的增感剂,并对其效果加以比较。

表 1 几种典型的增感剂

增 感 剂	感度(相对值)	最大感光波长(埃)
P-硝基苯胺	110	3700
P-硝基二苯	180	3600
光 氏 酮	640	4200
1.9-苯蒽酮	1100	4700
2 硝 基 蒽	1300	4700
5-硝 基 蒽	1530	4700

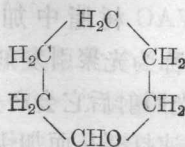
注:未加增感剂时,其感度(相对值)为 2.2;感光范围:最大感光波长为 2800 埃。

目前最常用的增感剂是 5-硝基蒽,它是一种呈黄色粉末状固体,其分子结构是:



将聚乙烯醇肉桂酸脂和 5-硝基蒽混合后溶解在有机溶剂中,即成感光胶了。

通常采用的有机溶剂是环己酮[C₆H₁₀O],它是一种无色透明的液体,其分子结构是:



环己酮具有较强烈的刺激性气味,但毒性不太大,可在通风橱内操作。其优点是溶解性能好,价格比较便宜。

2-2 光致抗蚀剂的配制

根据不同的光刻要求(例如:需要刻蚀的二氧化硅氧化层厚度,光刻图形的尺寸及精度等),感光胶的配方也略有不同,比较典型的二种配方如下:

PVAC 树脂:5-硝基苄:环己酮=1 克:0.08 克:
12~14 毫升

PVAC 树脂:5-硝基苄:环己酮=1 克:0.1 克:10 毫升

这两种感光胶的性能基本上是相仿的,如图 7 所示。它们均可在 2600~4700 埃的范围内感光,在感光前极易溶于丁酮、三氯乙烯等溶剂中,涂布时可获得 0.05~1 微米的膜厚。

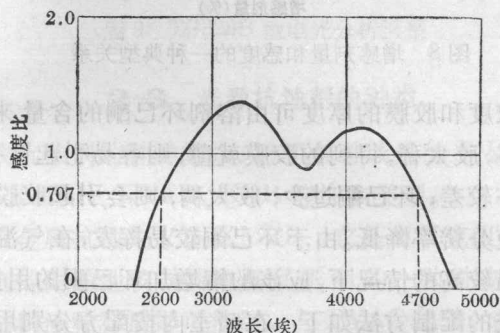


图 7 PVAC 光致抗蚀剂的感光特性

应该指出:增感剂 5-硝基苄的含量对感光胶的感度有很大影响。图 8 为增感剂量和感度的典型关系曲线。从图中可以看出:增感剂的含量增加到 10% 以上时,感度的增大就不甚明显了。反之,如果 5-硝基苄用量过多,则反而会使胶膜烘干后变脆。

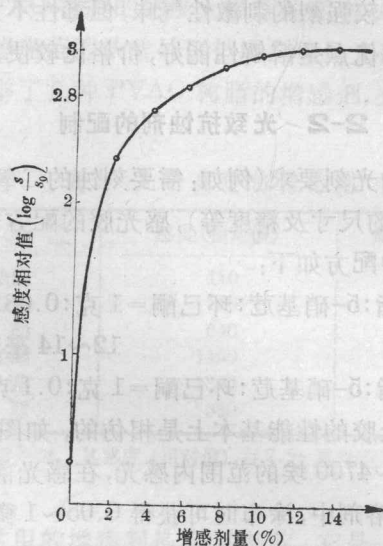


图8 增感剂量和感度的一种典型关系

胶的浓度和胶膜的厚度可由溶剂环己酮的含量来控制, 环己酮过多, 胶太稀, 得到的胶膜就薄, 则容易引起针孔, 而且抗蚀能力亦较差; 环己酮过少, 胶太稠, 则会引起胶膜厚度的不均匀而使分辨率降低。由于环己酮较易挥发, 在气温较高的夏季或室温较高的情况下, 应该酌情增加环己酮的用量。

感光胶的配制方法如下: 在暗室内按配方分别用分析天平称好 PVAC 树脂和 5-硝基苄增感剂, 将其混合, 并且须充分搅拌, 将其中较大的颗粒或结块充分捣碎, 然后, 倒入适量的环己酮, 再充分搅拌, 静置数小时即成。为了减少并尽可能消除针孔, 操作时环境应保持清洁无尘, 而且所用的光致抗蚀剂还应经过充分的过滤。图 9 为配称光致抗蚀剂用的一种国产 TG328B 型电光分析天平。

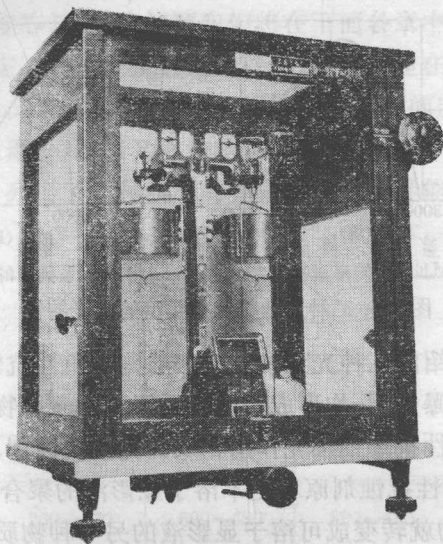


图9 TG328B 型电光分析天平

2-3 光致抗蚀剂的种类

光致抗蚀剂种类繁多,除了各种改进的 PVAC 抗蚀剂外,尚有 KMER、KTFR、KOR 等许多类型。

光致金属抗蚀剂又称 KMER,它是为了克服 PVAC 光致抗蚀剂的耐酸性较弱的缺点而研制的一种耐酸性感光剂。只需将粘稠液稀释后即可使用。与 PVAC 比较,它在溶剂中的溶解速度较小,而且析象能力也稍差,其感光特性如图 10a 所示。

KTFR 光致抗蚀剂则具有高分辨的特点。

这三种典型的光致抗蚀剂就分辨率而言,最高是 KTFR,其次是 PVAC,最差是 KMER;就耐酸能力而言,最高是 KMER,其次是 PVAC,最差是 KTFR。