

集成电路

J 工艺实验

ICHENG DIANLU GONGYI SHIYAN

谭永胜 方泽波 主编



电子科技大学出版社

集成电路

J 工艺实验

ICHENG DIANLU GONGYI SHIYAN

谭永胜 方泽波 主编



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

集成电路工艺实验 / 谭永胜, 方泽波主编. —成都:

电子科技大学出版社, 2015. 4

ISBN 978-7-5647-2906-6

I. ①集… II. ①谭… ②方… III. ①集成电路工艺—实验—高等学校—教材 IV. ①TN405-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 070018 号

内 容 简 介

本实验教材按一个完整的半导体集成电路工艺过程工艺作用来分配, 将各种集成电路单项工艺分为清洗、薄膜沉积、掺杂和图形转移等几类。各部分内容是以提取重要的、有重复性和代表性的工序排成的实验项目。学生真正掌握了这些实验的方法, 熟悉各大型设备的实际操作, 即可在工艺线上单独流片, 制造出合格的、结构较简单的集成电路芯片。

本书是为微电子科学与工程专业本科生编写的集成电路工艺实验教材, 也可作为太阳能光伏专业、光电子专业等相关专业的教材, 还可作为太阳能电池、LED 芯片制造等半导体分立器件行业相关工程技术人员的培训教材或参考工具书。

集成电路工艺实验

谭永胜 方泽波 主编

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 谢晓辉

责任编辑: 谢晓辉

校 对: 刘 愚

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 6 字数 150 千字

版 次: 2015 年 4 月第一版

印 次: 2015 年 4 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2906-6

定 价: 18.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

集成电路工艺实验是为微电子科学与工程专业本科生设置的一门专业实验课,目的是让该专业的学生了解和掌握半导体集成电路的工艺技术,使学生具有制造半导体集成电路的实际动手能力,为今后集成电路芯片及半导体分立器件的研究、设计与制造工作打下基础。

一个完整的半导体集成电路工艺过程共有几十道工序,我们不可能按照实际的工艺次序编排实验。按工艺作用来分,可以将各种集成电路单项工艺分为清洗、薄膜沉积、掺杂和图形转移等几类,因此,本教材提取重要的、有重复性和代表性的工序排成实验项目。应该说,学生如果真正掌握了这些实验的方法,熟悉各大型设备的实际操作,完全可以在工艺线上单独流片,制造出合格的、结构较简单的集成电路芯片。

作为一门实践性教学课程,集成电路工艺实验可在《电子薄膜技术》及《集成电路工艺原理》等先修课程的基础上,加深学生对工艺原理的理解。考虑到实际教学过程中,排课时可能出现学生在进行集成电路工艺实验课时理论课程还未上完的情况,本实验教材的原理部分写得较为详细些,给学生们做实验时学习和参考。

本书是为微电子科学与工程专业本科生编写的集成电路工艺实验教材,也可作为太阳能光伏专业、光电子专业等相关专业的教材,还可作为太阳能电池、LED 芯片制造等半导体分立器件行业相关工程技术人员的培训教材或参考工具书。

本书由绍兴文理学院谭永胜任主编,绍兴文理学院方泽波、李志彬、刘士彦任副主编。在编写过程中,还得到了学校领导和课程组成员的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限和时间仓促,书中难免有不妥和错误之处,敬请读者予以批评指正。

编 者

2015 年 1 月



目 录

概述	1
硅集成电路工艺简介	1
一、清洗工艺	4
二、氧化工艺	4
三、扩散工艺	5
四、离子注入工艺	5
五、光刻工艺	6
六、蒸发工艺	7
七、溅射工艺	8
八、等离子体化学气相沉积 (PECVD) 工艺	8
实验一 清洗工艺	9
一、引言	9
二、实验目的	9
三、实验原理	9
四、实验内容	15
五、实验步骤	15
六、思考题	16
实验二 硅的热氧化工艺	17
一、引言	17
二、实验目的	17
三、实验原理	17
四、实验内容	25
五、实验步骤	25
六、思考题	26
实验三 硼扩散工艺	27
一、引言	27
二、实验目的	27
三、实验原理	27
四、实验内容	32

五、实验步骤	33
实验四 离子注入工艺	34
一、引言	34
二、实验目的	34
三、实验原理	35
四、实验内容	37
五、实验步骤	37
六、思考题	41
实验五 真空蒸发工艺	42
一、引言	42
二、实验目的	42
三、实验原理	42
四、实验内容	49
五、实验步骤	50
六、思考题	51
实验六 溅射工艺	52
一、引言	52
二、实验目的	52
三、实验原理	52
四、实验内容	57
五、实验步骤	57
六、思考题	58
实验七 等离子体化学气相沉积 (PECVD) 工艺	59
一、引言	59
二、实验目的	59
三、实验原理	59
四、实验内容	64
五、实验步骤	64
六、思考题	65
实验八 光刻工艺	66
一、引言	66
二、实验目的	66
三、实验原理	66

四、实验内容	74
五、实验步骤	74
六、思考题	74
实验九 湿法腐蚀工艺	75
一、引言	75
二、实验原理	75
三、实验内容	80
四、实验步骤	80
五、思考题	80
实验十 化学机械抛光 (CMP) 工艺	81
一、引言	81
二、实验目的	81
三、实验原理	81
四、实验内容	84
五、实验步骤	84
六、思考题	84
参考文献	85

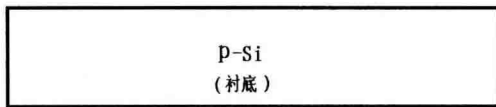
概 述

硅集成电路工艺简介

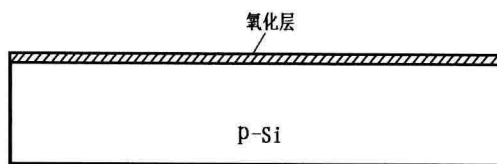
1947 年 12 月,美国贝尔实验室的肖克利等人研制出了世界上第一只晶体管,开启了电子技术领域的重大革命。与电子管相比,晶体管具有体积小、重量轻、耗电省和可靠性高等一系列优点,所以在短时期内,它就逐步取代了电子管的地位,并促进了电子计算机,收音机等电子设备的小型化。随着科学技术的发展,电子设备规模越来越大,电路越来越复杂,元件的焊接点数目也大量增加。在众多元件和焊接点中,只要有一个损坏,整个系统就会处于不正常的工作状态。所以人们设想把电子元件制作在一小块晶体上,取代由大量分立元件组成的电路系统,这样使设备体积大大缩小,更重要的是由于焊接点大量减少,整机的可靠性大大提高了。20 世纪 60 年代开始,随着硅的热氧化、扩散掺杂和腐蚀等关键工艺得到解决,硅基集成电路开始迅速地发展。集成电路的出现打破了电子技术中器件与线路分离的传统,使晶体管和电阻、电容等元器件以及它们之间的互连线都被集成在小小的半导体基片上,开辟了电子元器件与线路甚至整个系统向一体化发展的方向,为电子设备的性能提高、体积缩小、能耗和价格降低提供了新的途径。

目前,单片上的元件数目仍按照摩尔定律在不断增加,单个芯片中的元件数已超过 30 亿个;而集成电路最小特征尺寸也不断缩小,英特尔、三星等国外企业的 25nm 工艺线已经投产,14nm 工艺线也在研发中。近几年来,我国积极引进国外的先进技术,使集成电路的制造水平得到了迅猛发展,但与世界先进水平仍有很大的差距。由于集成电路是现代信息技术的核心,其制造技术的落后严重制约着我国的经济发展和产业升级,因此集成电路工艺技术的开发和人才的培养极为重要。

集成电路按结构形式可以分为半导体集成电路和混合集成电路两大类,硅基半导体集成电路是最常见的一种集成电路,按组成集成电路的晶体管类型可分为 MOS 集成电路、双极型集成电路和 BiMOS 集成电路等。实际生产过程中,可通过顺次运用不同的单项工艺技术,最终在硅片上实现所设计的图形和电学结构。本课程即让学生了解和掌握硅集成电路的主要工艺技术,图 1 所示为双极型集成电路制造的基本工艺流程。

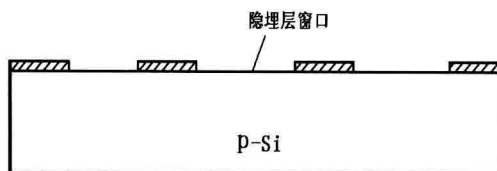


(1) 硅片准备

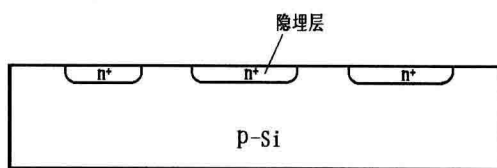


(2) 预氧化

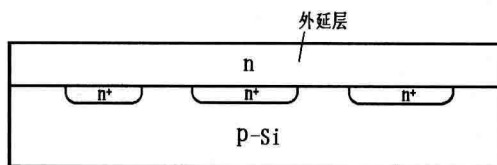
(隐埋氧化)



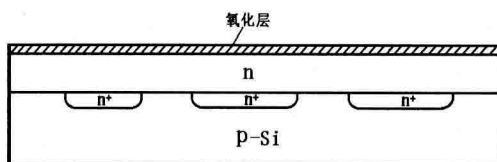
(3) 光刻隐埋区



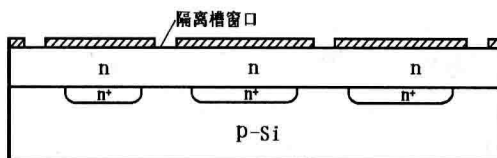
(4) 隐埋扩散



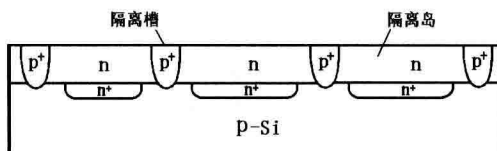
(5) 外延



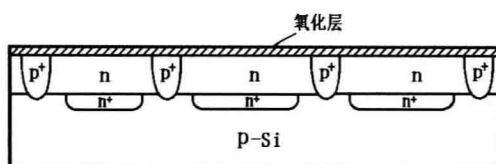
(6) 隔离氧化



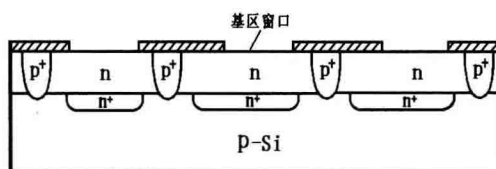
(7) 光刻隔离区



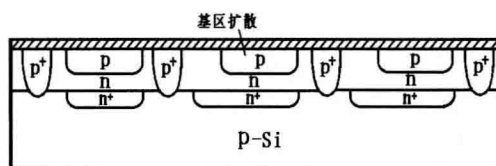
(8) 隔离扩散



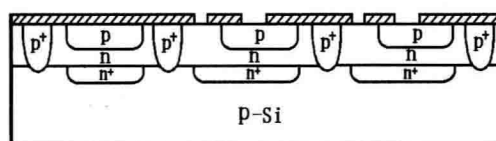
(9) 基区氧化
(一次氧化)



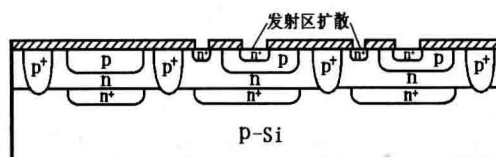
(10) 光刻基区



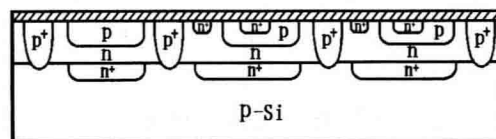
(11) 基区扩散



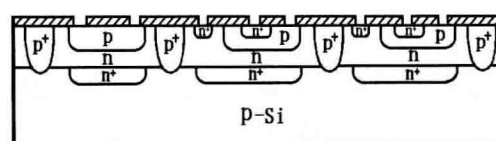
(12) 光刻发射区



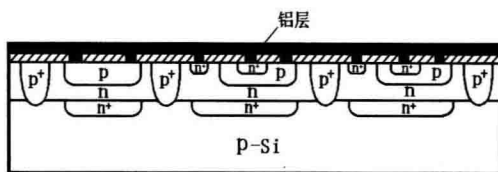
(13) 发射区扩散



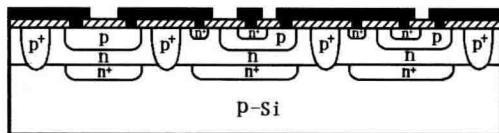
(14) 引线孔氧化
(三次氧化)



(15) 光刻引线孔



(16) 金属层沉积



(17) 光刻引线

图1 双极型集成电路制造的工艺流程图

从图1中可以看出,在双极型集成电路制造的工艺过程中,综合应用了清洗、氧化、扩散、外延、光刻及刻蚀、溅射等多项平面工艺。这些平面工艺技术是目前国内外经常碰到的集成电路制造技术,也被广泛应用于各种半导体分立器件的制备。在本实验课程中,涵盖了集成电路制造的基本工艺技术,通过本课程教学内容的学习,为学生从事微电子技术研究提供必需的基础。

为了使学生对工艺实验在集成电路制造中的作用以及集成电路制造的全过程有较直观的了解,在这里对重要的单项工艺先作一个简单的介绍,学生也可以参阅有关的理论教材或参考书,以期得到工艺实验前的预备知识。

一、清洗工艺

集成电路制造工艺对硅片表面的洁净程度要求极高,这是因为,一方面硅片表面的有机物、颗粒及自然氧化层等污染物会对工艺过程造成影响,增加光刻或外延层中的缺陷;另一方面 K^+ 、 Na^+ 等碱金属离子或 Fe、Cu、Ni 等过渡金属粒子进入硅及二氧化硅中,将严重影响器件的性能。因此集成电路工艺制造必须在专门的超净厂房里进行,制造过程中所使用的各种原材料都要求具有很高的纯度,而在光刻、外延等工艺环节之前,必须对硅片做专门的清洗,以去除上述污染物,保证硅片表面的清洁,提高产品良率。

清洗工艺可以简单分为湿法清洗和干法清洗,湿法清洗是传统的硅片清洗方法,其原理是通过化学溶液(酸或碱与氧化剂的混合物)与污染物的反应作用,并配以超声、加热、抽真空等物理措施,使杂质从被清洗物体的表面脱附,然后用大量高纯的去离子水冲洗。干法清洗是在气相环境中,利用具有化学活性的气体将污染物氧化来去除的,这一方法可以和现有的气相沉积工艺很好地兼容。

二、氧化工艺

集成电路中的氧化工艺是指采用热生长法制备二氧化硅薄膜,即将硅片放入高温氧化炉中,通入氧气、水汽等氧化剂,使硅片表面氧化生成二氧化硅薄膜。按照氧化剂的不同,可以将氧化方法分为干氧化,水汽氧化和湿氧化等。氧化工艺虽然操作简单,

但却是硅基平面工艺的基础，二氧化硅介质对集成电路的制造起着极其重要的作用：

1. 扩散及离子注入时对杂质起掩蔽作用；
2. 对集成电路元件的表面起钝化保护作用；
3. 作为集成电路中金属引线与元件或金属层之间的绝缘介质层；
4. 作为电容器中的介质层；
5. 作为器件之间的隔离介质；
6. 作为 MOSFET 器件的栅极电介质。

三、扩散工艺

扩散是微观粒子的一种热运动形式，运动的结果使得粒子在空间的浓度分布趋于一致。集成电路中的扩散是指在高温下将硼和磷等杂质原子掺到硅晶体中去，以改变硅晶体的电学性质，并使得掺入的杂质数量、浓度分布形式和深度等都满足要求。扩散是半导体中掺杂的重要方法之一，也是集成电路制造中的重要工艺。目前扩散方法已广泛用来形成双极型晶体管的基极、发射极、收集极，MOS 晶体管的源、漏等，并可用来对多晶硅进行掺杂。

在双极型晶体管的制造工艺中，根据杂质补偿原理，当 P 型杂质硼扩散区的杂质浓度高于 N 型外延层的杂质浓度时，该扩散区的导电类型就转化为 P 型，然后在此 P 型区内，通过局部的高浓度磷扩散又转化为 N⁺型，从而形成 N⁺-P-N 或 P⁺-N-P 的三层式结构。当加以相应的电极引线以后，就形成三极管的特性。一般来讲，各区域的杂质浓度差约为二个数量级，例如双极型逻辑电路的外延层杂质浓度约 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ ，P 型基区表面浓度约 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ，N⁺型发射区表面浓度约 $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 。

硼扩散工艺分为浓硼和淡硼两种。浓硼扩散（即图 1（8）隔离扩散）的作用是把 N 型外延层分割成许多 N 型隔离岛，周围被 P 型导电层所包围，使岛与岛之间存在着两个背靠背的 P-N 结。只要这两个 P-N 结不漏电，岛与岛之间在电学上是绝缘的。这样在每个岛上分别做二极管、三极管、电阻等元件，它们彼此是独立的，仅当表面通过电极铝引线相互连接才会形成具有一定功能的电路。淡硼扩散（即图 1（11）基区扩散）的作用是在 N 型隔离岛上形成一个 P 型区。它是在光刻基区工序的基础上，高温下使硼杂质原子从基区窗口中扩散进去，在有氧化层掩蔽处，硼原子被挡住，这样在基区窗口下面的 N 型层就被反型成 P 型区，P 型扩散层的厚度一般控制在 $2\mu\text{m}$ 左右。在大规模集成电路中，厚度仅在 $1\mu\text{m}$ 以内，薄的达到零点几 μm ，这个 P 型区将作为三极管的基区。

磷扩散目的是形成发射区，它是在淡硼区的发射区窗口内扩入浓磷，杂质浓度达 $10^{20} \sim 10^{21}/\text{cm}^3$ ，使原来杂质浓度为 $10^{17} \sim 10^{18}/\text{cm}^3$ 的基区内局部区域（发射区窗口下）由 P 型转化为 N⁺型。磷扩散是形成三极管的一道关键工艺，其扩散温度和时间需要操作人员灵活控制，为了防止基区陷落效应，磷扩散通常采用高温快扩散工艺，这对手工操作人员有比较高的要求。

四、离子注入工艺

随着集成电路集成度的提高以及电路传输速度的提高，要求集成电路中器件的结深

和基区宽度越来越小,还要求杂质分布有较高的均匀性,热扩散工艺已无法满足要求。除此以外,在一些低功耗超高速电路中,电阻值往往是在几十千欧至几百千欧,如果采用热扩散电阻,电阻所占面积很大,使集成电路的集成度难以提高,离子注入工艺就是针对上述困难提出的。目前已有采用全离子注入工艺制造超大规模集成电路,这项工艺是集成电路发展的方向。简单地说离子注入工艺就是把某些杂质的原子(如硼、磷、砷等)经离化后成为带电的杂质离子,然后用强电场加速使这些离子具有很高的能量(约几万到上百万 eV),并直接轰击硅片表面。当离子进入硅片表面后受到硅原子的阻挡而停留在硅片内,便形成一定的杂质分布。在不需要掺杂处,通常采用光刻胶作掩蔽层,从而达到定域掺杂的目的。离子注入硅片表面的深度依赖于离子束的能量,而掺杂浓度则依赖于离子束的剂量。离子束轰击硅片表面后,表面晶格及体内晶格将被大量破坏。注入离子所造成的晶格损伤,对材料的电学性质会产生重要的影响。例如,由于散射中心的增加,使载流子迁移率下降;缺陷中心的增加,会使非平衡少数载流子的寿命减少,P-N 结的漏电流也因此而增大。另外,离子注入的掺杂机理与热扩散不同,在离子注入中,是把欲掺杂的原子强行射入晶体内,被注入的杂质原子大多数都存在于晶格间隙位置,起不到施主或受主的作用。因此必须将注有离子的硅片在一定温度下经过适当时间的热处理(也称热退火),硅片中的损伤就可能部分或绝大部分得到消除,少数载流子的寿命以及迁移率会不同程度地得到恢复,掺入的杂质也将得到一定比例的电激活。退火温度通常控制在 900℃ 左右。

五、光刻工艺

光刻是一种图形复印和化学腐蚀相结合的精密表面加工技术,其构想来源于印刷技术中的照相制版技术。光刻是集成电路工艺中的关键性技术,近些年来,光刻技术的不断更新,有力地推动了集成电路工艺的高速发展。

图 2 是光刻过程示意图,在硅片上生长一层氧化层,再涂上一层光刻胶。上面放一块掩模版进行曝光,掩模版的图形同需要刻蚀形成的氧化层图形是对应的,对负性光刻胶而言,其中氧化层要刻掉的部份对应于掩模版上不透光的部份,要保留的部份对应于掩模版透光的部分。经过紫外光曝光后,光刻胶性质发生变化,其中未受光照的部份可以用显影液洗去,光照过的部份不溶解于显影液。留下来的光刻胶有耐酸腐蚀的特性,因此将硅片放在腐蚀液中,就可以使未被感光胶保护的氧化层腐蚀掉,而有光刻胶保护的氧化层,被保留下来(如图 2(a)所示)。负性光刻胶所获得的氧化层图形是掩膜版图形的负影像,相反,正性光刻胶经过光刻工艺流程后,氧化层上获得的图形是掩膜版图形的正影像(如图 2(b)所示)。利用氧化层对杂质的掩蔽作用,将光刻后的硅片进行扩散,则杂质只能从没有氧化层的区域扩散进去,从而达到了严格控制扩散 P-N 结尺寸和图形的目的。由图 1 可见,在一般的双极性工艺中,按次序有光刻隐埋区,光刻隔离区,光刻基区,光刻发射区,光刻引线孔、反刻等六次光刻,如果在超大规模集成电路和 CMOS 集成电路中光刻次数就更多了。从第二次光刻起,每次光刻都有同前面的图形对准的问题,这就是所谓的套刻。例如光刻发射区时,发射区的位置一定要套在基区中特定的部位上,否则对以后光刻引线孔带来困难。利用光刻工艺不但可以在硅片上制作复杂的几

何图形和严格控制尺寸，而且可以在一块硅片上同时做出几百个电路或几万只管子，因而给晶体管和集成电路的大批量生产带来了极大的方便。光刻工艺和氧化工艺的巧妙结合是集成电路诞生的基础。随着光刻设备精度的提高，使上百万乃至上千万个元件集合的单片超大规模集成电路的实现成为可能。

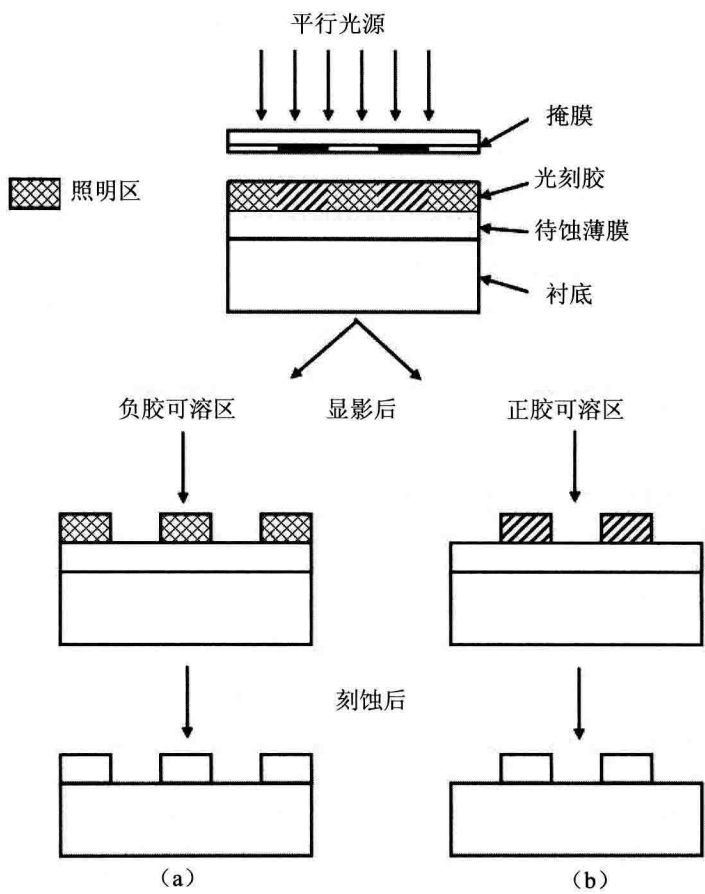


图 2 光刻过程示意图

六、蒸发工艺

通过氧化、扩散、光刻、外延等工艺，在一块单晶硅片上制成了集成电路中的晶体管、二极管和电阻等元件并实现了它们之间的隔离。但这些元件还必须按一定的要求连接起来，以便构成某一功能的电路，物理气相沉积技术（蒸发、溅射等）就是针对这个问题提出的。

真空蒸发法是最基本的一种薄膜制备方法，其原理是在真空条件下，加热蒸发源，使原子或分子从蒸发源表面逸出，气相的原子或分子入射到硅衬底表面，凝结形成固态薄膜。其应用如图 1（16）所示，采用真空镀膜的办法，在做好电路元件的硅片表面蒸上一层厚度 $1\sim1.5\mu\text{m}$ 的铝层，然后通过光刻刻出线条。这样就实现了电路中各元件间的互

连,以构成某一功能的电路。真空镀膜过去一般均采用钨丝电阻加热器,目前已较多采用高能电子束直接打到蒸发源表面,使其熔化蒸发,在硅片表面形成薄膜。这样可避免因钨丝加热器造成的蒸发源的沾污。

七、溅射工艺

具有一定能量的入射离子撞击到固体表面时,入射离子在与固体表面原子的碰撞过程中将发生能量和动量的转移,并可能将固体表面的原子溅射出来,这种现象称为溅射。溅射法是物理气相沉积薄膜的另一种方法,溅射法镀膜是利用辉光放电将工作气体离化,带电荷的离子(一般为 Ar^+) 在电场作用下加速撞击靶电极,使靶表面的原子溅射出来,沉积到硅衬底上形成薄膜。同蒸发法相比,溅射法制备薄膜的一个突出特点是,在溅射过程中,入射离子与靶材之间有很大的能量传递。因此,溅射出的原子在这一过程中获得了很大的动能,其数值可达 10eV 以上。相比之下,蒸发原子所获得的能量一般只有 0.1eV 左右。能量的增加提高了沉积原子在衬底上的迁移能力,因此溅射获得的薄膜膜层致密,与衬底之间有很好的粘附性。现在溅射工艺在大规模和超大规模集成电路制造中的应用极为广泛。

八、等离子体化学气相沉积(PECVD)工艺

等离子体化学气相沉积(PECVD)工艺除了生长氮化硅以外,还可以生长多晶硅,二氧化硅及磷硅玻璃等各种介质膜,用途非常广泛。氮化硅薄膜在集成电路制造过程中有二个作用:其一,氮化硅薄膜作为一种钝化膜,弥补了二氧化硅钝化作用的不足,其二,氮化硅薄膜的应力作用与二氧化硅薄膜的应力作用正好相反,在二氧化硅层上再沉积一层氮化硅薄膜可减少硅表面的界面态密度,从而提高器件的电性能。

等离子体增强化学气相沉积技术原理是利用低温等离子体作能量源,样品置于低气压下辉光放电的阴极上,利用辉光放电(或另加发热体)使样品升温到预定的温度,然后通入适量的反应气体,气体经一系列化学反应和等离子体反应,在样品表面形成固态薄膜。PECVD 方法区别于其他 CVD 方法的特点在于等离子体中含有大量高能量的电子($1\sim 20\text{eV}$),它们可以提供化学气相沉积过程所需的激活能。电子与气相分子的碰撞可以促进气体分子的分解、化合、激发和电离过程,生成活性很高的各种化学基团,因而显著降低 CVD 薄膜沉积的温度范围,使得原来需要在高温下才能进行的 CVD 过程得以在低温实现。由于 PECVD 方法的主要应用领域是一些绝缘介质薄膜的低温沉积,因而 PECVD 技术中等离子体的产生也多借助于射频的方法。

通过上述介绍,主要让同学们对集成电路制造的各道工艺有一个初步的了解,详细内容通过实验将会得到深入的了解。希望同学们在实验中一定要抱着认真、细致的态度做好每个实验,为今后研究和制造集成电路打下必要的基础。



实验一 清洗工艺

一、引言

清洗时集成电路制造过程中非常重要的工序。制造集成电路的硅晶圆以及它与它相接触的 Al、Cu 等金属材料、石英玻璃器皿（如石英管、石英舟、石英棒等）均要求有很高的清洁度，否则就不可能得到高质量、高良率的集成电路产品。除了必须保证超净的生产环境，使用高纯度的原材料及石英玻璃器皿等设备以外，要去除硅晶圆上的有害杂质，正确的清洗方法是降低成本、提高效率的重要保证。

二、实验目的

1. 了解去离子水的制备原理与工艺；
2. 掌握硅晶圆、金属材料和石英玻璃器皿的清洗原理，学会正确的清洗方法。

三、实验原理

清洗工艺可以简单分为湿法清洗和干法清洗，湿法清洗是传统的硅片清洗方法，其原理是通过化学溶液（酸或碱与氧化剂的混合物）与污染物的反应作用，并伴以超声、加热、抽真空等物理措施，使杂质从被清洗物体的表面脱附，然后用大量高纯的去离子水冲洗。

在半导体集成电路制造中，对清洗用水的纯度有比较高的要求，一定要用经过纯化的去离子水（超纯水）。高纯度的去离子水由原水经过预处理、预脱盐和深度除盐等步骤获得。

（一）去离子水的制备

1. 原水的预处理

原水通常有两类，一类是地面水，另一类是地下水。水是一种溶解能力很强的溶剂，在同外界的接触过程中，它不可避免地溶解或者混进各种杂质，因此原水是不纯的。实验室所用的自来水虽然经过水厂的处理，但仍然含有大量的杂质，远未达到集成电路工艺要求的水平。原水预处理的目的是使水质纯化，获得超纯净的去离子水。

（1）原水中杂质的特性

原水中含有各种杂质，这些杂质可分为三类：悬浮物、胶体和溶解物质。

水中的悬浮物：原水中凡是粒径大于 $0.1\mu\text{m}$ 的杂质统称为悬浮物，这类杂质有显著的混浊现象，在静止时会自行沉降，可以设置砂过滤器去除。悬浮物中以颗粒较重的泥沙类无机物质为多，还包括浮游生物及微生物。

水中的胶体杂质：胶体杂质的粒度小于悬浮物，它的大小为 $1\sim 100\text{nm}$ 。胶体具有吸

附离子的特点,使颗粒之间产生电性斥力而不能相互粘结。这些颗粒始终稳定在微粒状态而不能自行下沉。

水中的溶解杂质:这类杂质以低分子或离子状态存在于水中。其中低分子杂质的大小为 $5\sim 10\text{\AA}$,主要有有机碱、有机酸、氨基酸和碳水化合物等。无机离子的大小约为 $0.5\sim 8\text{\AA}$,主要的阳离子有: H^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等;主要阴离子有: OH^- 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等。

(2) 原水的预处理

水预处理的目的是为了保证后续水处理——反渗透系统的可靠运行。预处理的主要对象是原水中的悬浮杂质,胶体杂质以及自来水厂为抑制水中细菌及藻类生长所加入相当量的氯。原水处理一般包括:水的混凝、砂过滤、活性炭吸附等工艺。

① 混凝处理

水中带电胶体杂质由于相互间的电性斥力而处于稳定状态。混凝的目的是外加药剂来破坏这种稳定状态。混凝工艺可分为两个过程。

加药:在原水泵进水口(或出水口)以一定的流量比由计量泵加入混凝剂。

混合:混合的主要作用是让药剂迅速均匀地扩散到水中,使水中杂质微粒在短时间形成矾花,以提高砂过滤器的过滤效率。

② 砂过滤

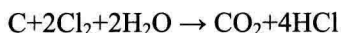
在滤料层中,砂粒表面是一种很好的接触介质。水通过滤料时,水中杂质与砂粒表面相互碰撞接触,由于分子间的引力作用,杂质颗粒便粘附在砂粒表面或悬浮物上。

③ 活性炭吸附过滤

对于粒度在 $10\sim 20\text{\AA}$ 的无机胶体、有机胶体和溶解性有机高分子杂质,选用吸附力极强的活性炭去除这类杂质。活性炭的表面积可达 $500\sim 2000\text{m}^2/\text{g}$,微孔的直径从几埃到几千埃。活性炭的表面吸引力与被吸附物质的分子大小有关,被吸附物质的分子直径越接近于微孔尺寸,表面吸附力就越大。活性炭对有机物的吸附最为有效。通常情况下,活性炭可去除水中 90%以上的有机物。

(3) 原水的脱氯

为了抑制细菌及藻类的生长,自来水厂必须在水中加入大量的氯来杀菌。原水在做软化的反渗透处理前必须脱氯。用活性炭过滤脱氯不会影响水质,其作用原理反应式如下:



2. 预脱盐处理

反渗透法除盐水处理系统是先进的预脱盐方法。反渗透是一项新型隔膜分离技术,它是通过反渗透膜把水分子和大的离子分离出来。

(1) 反渗透原理

用一种特殊性能的膜,将一个盛水容器分隔开。这种膜只允许水透过,而不允许溶质透过,所以此膜就称为半透膜。在膜的一侧注入稀溶液,而在膜的另一侧注入浓溶液,将这两种溶液置于大气压下,并且处于同一水平面上。通过观察发现,稀溶液一侧的液面逐渐下降,而浓溶液的一侧液面逐渐升高,这种现象称为渗透。经过一段时间,两液