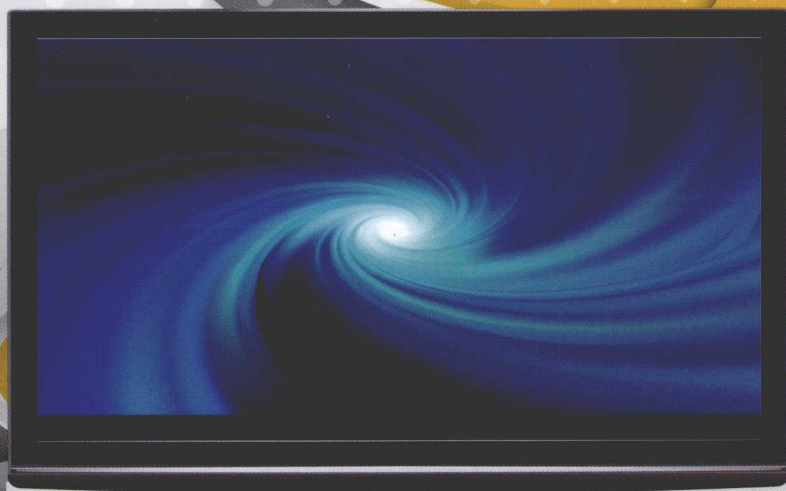


等离子体显示 (PDP)技术

赵坚勇 编著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

013032341

TN141
15

等离子体显示(PDP)技术

赵坚勇 编著



TN141
15

国防工业出版社

· 北京 ·



北航

C1641046

148880810 ..

内 容 简 介

本书是介绍等离子体显示(PDP)技术的通用基础教材。书中注重基本概念의阐述,深入浅出地讲解了等离子体显示技术的基本原理、电路和生产。

全书共7章,内容包括ADS技术、CLEAR方式、ALIS技术、ALIS + LR驱动技术、接口电路、双存储器架构、单存储器架构、视频处理电路、BCD工艺、SOI技术、RSDS传输、能量恢复电路和集成驱动芯片。书中还介绍了等离子体显示器产业链,包括玻璃基板、电子浆料、介质保护膜、荧光粉和电磁屏蔽膜的有关技术。此外,本书还介绍了一些等离子体显示方面的最新专利。

本书可作为高等学校电子类专业的“等离子体显示技术”课程教材或高职和中专相同专业的教材,也可作为从事等离子体显示技术工作的工程技术人员의参考书。

图书在版编目(CIP)数据

等离子体显示(PDP)技术 / 赵坚勇编著. —北京:
国防工业出版社, 2013. 2
ISBN 978-7-118-08545-7

I. ①等… II. ①赵… III. ①等离子体显示器 IV.
①TN141.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第017908号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本787×1092 1/16 印张7½ 字数166千字

2013年2月第1版第1次印刷 印数1—3000册 定价22.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

根据我国平板显示产业发展规划,到 2020 年,我国平板显示产业在国际市场的总体地位达到第一阵营水平,产业规模居于全球领先地位。在 PDP(Plasma Display Panel,等离子体显示)技术方面,完成关键材料和设备技术国产化,产品设计和开发、量产工艺技术和质量管控技术达到和超越国际先进水平,在高光效、低成本、高画质及人性化 PDP 技术上实现创新,建立具有国际知名度的 PDP 电视品牌。

PDP 是利用惰性气体放电产生紫外线(UV, Ultraviolet)激发三基色荧光粉发出基色光而实现彩色显示的,具有图像无闪烁、厚度薄、质量轻、色彩鲜艳、图像逼真、无辐射、健康环保等优点。

本书讨论 PDP 显示技术的基本原理与关键技术。

本书共 7 章。第 1 章等离子体显示,包括 PDP 的分类、AC PDP 基本制程、PDP 制程常用工艺。第 2 章 PDP 的灰度显示,包括 ADS 技术、CLEAR 方式、ALIS 技术。第 3 章 PDP 显示器,包括 PDP 显示器的组成、接口电路、双存储器架构和单存储器架构、视频处理电路。第 4 章 PDP 驱动电路,包括 BCD 工艺、SOI 技术、RSDS 传输、能量恢复电路和常用驱动芯片介绍。第 5 章对比度增强技术,包括结构的改进、波形的改进和算法的改进。第 6 章 PDP 显示器产业链,包括玻璃基板、电子浆料、介质保护膜、荧光粉和电磁屏蔽膜的有关技术。第 7 章 PDP 专利,介绍了一些等离子体显示方面的最新专利。

本书内容丰富、资料新颖、深入浅出、便于自学,既可作为高等学校电子类专业“等离子体显示技术”课程教材或高职和中专相同专业的教材,也可作为成人教育和培训班教材。为便于教学,本书编有相关教学课件,需要的老师可以向出版社责任编辑或作者索取。

在本书的编写、审定和出版过程中,得到国防工业出版社的大力支持与帮助。专家们认真审阅了本书,提出了很多宝贵的意见,在此表示深切的感谢。由于编著者水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

编著者

2012 年 11 月

于桂林电子科技大学

目 录

第1章 等离子体显示	1
1.1 PDP 的分类	1
1.1.1 ACPDP 和 DCPDP	1
1.1.2 表面放电式 ACPDP	2
1.2 AC 型 PDP 基本制程	3
1.2.1 上板制程	3
1.2.2 下板制程	4
1.3 PDP 制程常用工艺	5
1.3.1 物理溅镀膜法	5
1.3.2 电子束蒸镀膜法	6
1.3.3 化学气相沉积法	6
1.3.4 光刻与腐蚀	7
1.3.5 剥离 (Lift-off) 制程	9
1.3.6 丝网印刷	9
1.3.7 喷砂法	11
1.3.8 烧结	11
1.3.9 金属上低温共烧陶瓷	12
1.3.10 引线连接	13
思考题和习题	15
第2章 PDP 的灰度显示	16
2.1 ADS 技术	16
2.1.1 ADS 原理	16
2.1.2 ADS 法动态伪轮廓	17
2.1.3 动态伪轮廓消除	17
2.2 CLEAR 方式	20
2.2.1 CLEAR 法原理	20
2.2.2 CLEAR 法的改进	21
2.3 ALIS 技术	22
2.3.1 ALIS 原理	22
2.3.2 ALIS + LR 驱动技术	23
2.3.3 e-ALIS	25

2.4 PDP 的新技术	25
思考题和习题	26
第3章 PDP 显示器	27
3.1 PDP 显示器的组成	27
3.1.1 PDP 显示器的原理	27
3.1.2 PDP 显示器特点	28
3.2 常用接口	29
3.2.1 模拟信号接口	29
3.2.2 低压差分信号接口 LVDS	30
3.2.3 数字显示接口 DVI 和 HDCP	31
3.2.4 高清晰度多媒体接口 HDMI	34
3.2.5 DP 接口	36
3.2.6 数字音视频交互接口 DiiVA	37
3.2.7 Combo-PHY 接头	38
3.3 接口电路	39
3.3.1 视频解码	39
3.3.2 去隔行处理与图像缩放电路	40
3.3.3 显示控制芯片 PW328 简介	42
3.4 存储驱动控制电路	48
3.4.1 双存储器架构	48
3.4.2 单存储器架构	49
思考题和习题	52
第4章 PDP 驱动电路	53
4.1 PDP 驱动电路的特点	53
4.1.1 PDP 集成驱动芯片	53
4.1.2 BCD 工艺	54
4.1.3 SOI 技术	54
4.1.4 SOI LDMOS 结构	56
4.1.5 RSDS 传输	57
4.1.6 能量恢复电路	57
4.2 Y 电极驱动芯片	60
4.2.1 Y 电极驱动芯片的要求	60
4.2.2 扫描驱动芯片 STV7697A 介绍	60
4.3 A 电极驱动芯片	62
4.3.1 A 电极驱动芯片的要求	62
4.3.2 数据驱动芯片 STV7622 介绍	62
思考题和习题	66
第5章 对比度增强技术	67
5.1 结构的改进	67

140	5.1.1	黑条结构	67
140	5.1.2	色彩滤波	68
20	5.1.3	晶体发射层	69
70	5.2	波形的改进	69
70	5.2.1	用斜坡脉冲代替矩形脉冲	69
70	5.2.2	选择复位	71
80	5.3	算法的改进	71
001	5.3.1	分割低灰度子场	71
101	5.3.2	直方图均衡化	72
501	5.3.3	亮度自适应增强技术	73
501		思考题和习题	73
	第6章	提高 PDP 的发光效率	74
501	6.1	概述	74
801	6.1.1	能源之星计划	74
801	6.1.2	PDP 发光效率分析	75
801	6.2	提高发光效率常用方法	75
401	6.2.1	双点火放电电极	76
401	6.2.2	等离子体管阵列显示技术	76
401	6.2.3	纳米 PPS 电子发射源	77
401	6.2.4	无放电气体激发发光技术	78
201	6.2.5	快脉冲驱动提高 PDP 发光效率	78
201		思考题和习题	79
	第7章	PDP 显示器产业链	80
801	7.1	玻璃基片	80
801	7.1.1	玻璃基板的性能要求	81
701	7.1.2	玻璃基板的成分	82
801	7.1.3	玻璃基板生产工艺	83
111	7.1.4	玻璃基板新技术	84
	7.2	电子浆料	85
	7.2.1	电子浆料的组成	85
	7.2.2	电子浆料的制备	87
	7.2.3	PDP 工艺中的浆料	88
	7.2.4	国内外浆料生产情况	90
	7.3	介质保护膜	90
	7.3.1	保护膜技术要求	90
	7.3.2	掺杂不同材料的 MgO 保护膜	91
	7.3.3	新型材料 SrCaO 薄膜	92
	7.3.4	新型材料等离子聚合物薄膜	93
	7.4	荧光粉	94

7.4.1	PDP 用荧光粉的性能要求	94
7.4.2	PDP 荧光粉的种类及目前存在的问题	94
7.4.3	PDP 荧光粉的研发趋势	95
7.5	电磁屏蔽膜	97
7.5.1	屏蔽膜的技术要求	97
7.5.2	屏蔽膜的结构分析	97
7.5.3	屏蔽膜的测试	98
7.6	我国的等离子显示生产	100
	思考题和习题	101
第 8 章	最近的 PDP 专利	102
8.1	有关绝缘层的专利	102
8.1.1	绝缘层的氧化物配方	102
8.1.2	厚膜绝缘层	102
8.1.3	氧化锌氧化硼氧化硅绝缘层	103
8.2	有关荧光粉的专利	103
8.2.1	三色荧光粉厚度长度不同	103
8.2.2	荧光层反射层提高亮度	104
8.2.3	绿色荧光粉	104
8.3	有关电极专利	104
8.3.1	维持电极两组轮流放电	104
8.3.2	扫描电极和维持电极的形状容易放电	105
8.3.3	寻址电极在上基板	105
8.4	其他专利	106
8.4.1	电极间隙是障壁高的 0.4 倍~0.95 倍	106
8.4.2	防反射层	106
8.4.3	短波长荧光材料做下基板绝缘和障壁	107
	缩略词与名词索引	108
	参考文献	111

第1章 等离子体显示

彩色 PDP (Plasma Display Panel, 等离子体显示) 是利用惰性气体放电产生紫外线 (UV, Ultraviolet) 激发三基色荧光粉发出基色光而实现彩色显示的, 具有图像无闪烁、厚度薄、质量轻、色彩鲜艳、图像逼真、无辐射、健康环保等优点。

PDP 各个发光单元的结构完全相同, 屏幕亮度非常均匀, 没有几何变形。高亮度 ($700\text{cd}/\text{m}^2$), 高对比度, 可以在明亮的环境之下使用 (对比度 140:1); 视角高达 160° , 视野开阔, 可用于飞机场、火车站、展示会、监视系统和远程会议等公共场所的信息显示。

1.1 PDP 的分类

1.1.1 ACPDP 和 DCPDP

PDP 按电极间驱动电压可分为交流 PDP (ACPDP) 和直流 PDP (DCPDP) 两大类。ACPDP 在电极上涂敷介质层, 电极和气体不直接接触; DCPDP 电极和气体直接接触。

ACPDP 根据电极结构的不同又可分为双基板型和单基板型。双基板型的维持电极呈正交分布在上下两个基板上, 放电发生在两基板之间, 因此, 又称为对向放电式 ACPDP。单基板型的维持电极位于同一基板, 放电发生在维持电极所在基板的表面, 而荧光粉则在另一基板表面, 因此, 又称为表面放电式 ACPDP。

图 1-1 是彩色 PDP 的三种基本类型示意图。

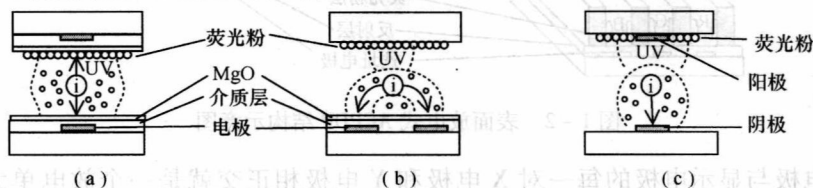


图 1-1 彩色 PDP 的三种基本类型示意图

(a) 对向放电式 ACPDP; (b) 表面放电式 ACPDP; (c) DCPDP。

ACPDP 运行时, 电极间始终加有维持电压 V_s , V_s 低于气体放电点火电压 V_F 。当需要点燃某像素时, 则对该像素施加大于点火电压的书写脉冲 V_{WR} , 使该单元放电, 放电产生的正离子 (ion) 和电子在电场作用下向瞬时阴极和瞬时阳极运动。积累到电介质表面形成壁电荷 Q_w 并产生壁电压 V_w 。 V_w 与外加电场方向相反, 并随时间而增大, 最终使放电停止。当维持电压 V_s 反相时, 则 V_s 和 V_w 方向相同, 如维持电压 V_s 大小合适, 可使 $V_s + V_w$ 大于 V_F , 再次产生放电, 并且不断地重复前述过程。如果要发光单元停止发光则施加一擦除脉冲 V_E , 产生一次微弱放电, 将 Q_w 中和掉, 使 V_w 变得很小。尽管此时仍然存在

交变的维持电压 V_s , 但是 $V_s + V_w$ 总是小于 V_F , 所以该单元停止放电和发光。由此可知, ACPDP 具有固有的记忆性和限流作用。

DCPDP 工作时电极间施加直流电压, 电极直接与放电气体接触, 它没有类似于 ACPDP 中的记忆机制, 但采用脉冲储存方式可使 DCPDP 获得记忆性。脉冲储存方式的工作机理是利用放电室产生一次放电后的消电离时间, 在此期间, 如果放电室重新加以电压, 由于尚未消电离的离子的引火作用, 将使气体正常点火电压下降, 这样就有可能采用低于气体正常点火电压的维持脉冲 V_s 将放电维持下去, 擦除时, 则产生一负脉冲叠加在维持脉冲上, 使其低于点火电压 V_F 。由于点火粒子随时间而减少, 下一个维持脉冲到来时, 气体点火电压已高于 V_s , 从而使放电停止。

1.1.2 表面放电式 ACPDP

表面放电式 ACPDP 具有结构简单、易于制作、放电效率高等优点。图 1-2 是表面放电式 ACPDP 结构示意图。前基板用透明导电层制作一对对平行的由 X 电极和 Y 电极组成的透明电极 (transparent electrode), 为降低透明电极的电阻, 在其上再制作一层金属电极 (如 Cr-Cu-Cr), 称为汇流电极 (bus electrode), 电极上覆盖透明介质层 (也称绝缘层) 和 MgO 保护层。后基板上先制作一组平行的选址电极, 其上覆盖一层白色介质层, 作反射之用。在白色介质层上再制作一组与选址电极相平行的条状障壁, 条状障壁可以防止各单元之间光电串扰。在障壁的两边和白色介质层上再分别依次覆盖 R、G、B 三基色荧光粉。两基板放置使得显示电极和选址电极正交, 四周用低熔点玻璃封接, 排气后充入 Ne + Xe 等混合气体即成显示器件。

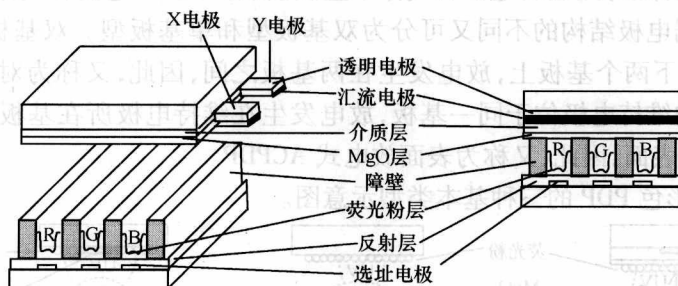


图 1-2 表面放电式 ACPDP 结构示意图

选址电极与显示电极的每一对 X 电极和 Y 电极相正交就是一个放电单元 (显示单元), 每三个连续排列的 R、G、B 三色显示单元组成一个彩色显示像素。所以像素数为 640×480 的 VGA 格式 PDP 应该有 X 电极和 Y 电极各 480 个, 选址电极 640×3 个。显示单元的维持放电是在其一对 X 电极和 Y 电极间进行的, 故称为表面放电式。后基板的选址电极仅作显示的选址之用, 该结构的主要特点是显示发光为反射式, 可以大大提高像素的亮度。气体放电为单基板表面方式而远离荧光粉, 降低了放电离子对荧光粉的轰击, 提高了使用寿命, 工作时在两组电极上施加交变的维持电压脉冲 V_s 。对被选的显示单元用一个书写脉冲 V_{wr} 进行放电着火, 并用 V_s 来维持其着火状态, 当要该单元熄火时, 可用一个擦除脉冲 V_E 停止该像素放电, 并用 V_s 维持其熄火状态, 这就是 ACPDP 的固有存储特性。

1.2 AC 型 PDP 基本制程

AC 型 PDP 的基本制程可简单分为上板(前基板)制程与下板(后基板)制程。

1.2.1 上板制程

图 1-3 是上板结构示意图,在上板制程中首先要在玻璃基板上制作透明电极。



图 1-3 上板结构示意图

1. 透明电极

透明电极材料有 ITO (Indium Tin Oxide, 氧化铟锡) 或 SnO_2 两种。ITO 耐热性与抗蚀性较差,成本较高,但透光率与导电性较好,ITO 导电膜用物理溅镀法制作,再以湿式蚀刻法将它蚀刻成所需要的透明电极图案。

SnO_2 透明电极则是以 CVD (Chemical Vapor Deposition, 化学气相沉积法) 制程为主,图案是以半导体剥离 (lift-off) 的制程制作,由于金属氧化物材料不易经由蚀刻的方式制作电路图形,所以利用剥离制程,得到突起的 (Overhang) 光阻图形,使金属在蒸镀过程中不会连续性满布在光阻剂上,再用去光阻剂的方式将未遭金属布盖的光阻部分剥离,完成金属电极的图案。剥离制程使用负型光阻剂 (negative photoresist),负型光阻剂照到光的部分不会溶于光阻显影液,而没有照到光的部分会溶于光阻显影液。对于正型光阻剂,在光学曝光方式下,光阻剂上层接受能量较下层光阻高,使得正型光阻剂成像大部分图形为上窄下宽,无法经一次曝光方式即得到 Overhang 的图形,而负型光阻剂的成像恰好与正型光阻剂图像相反,所以是剥离制程的最佳选择。

剥离制程的蚀刻特性不易掌握,因此大多数 PDP 面板制造商以购买 ITO 玻璃基板,再蚀刻 ITO 图案为主。

2. 汇流电极

PDP 面板在放电产生等离子体时会有大量的热产生,造成透明电极阻值升高,因而会影响气体放电电压值。为了保持稳定的气体放电电压,所以在透明电极层上制作金属辅助电极(汇流电极)以增加导电度。材料一般采用 $\text{Cr}-\text{Cu}-\text{Cr}$ 、 Al 和 $\text{Cr}-\text{Au}$ 或是用银 (Ag) 电极。前者是以溅镀法或电子束蒸镀法在附有透明电极层的基板上依次镀上三层金属,再以湿式蚀刻 (Wet Etching),利用化学溶液和薄膜间产生化学反应蚀刻制程依次将金属蚀刻成所需的图案。后者是以厚膜印刷的方式将银电极浆料透过有图案的网版直接印刷在透明电极上。此外,也可将银材料制成带状光敏干膜,利用压合机将干膜压合在透明电极上,再用黄光制程将其蚀刻成需要图案。或者是将银电极浆料制成光敏浆料,用印刷的方式将浆料整面印刷到附有透明电极的玻璃基板上,再用黄光制程将其蚀刻成需要图案。几种方式中,从成本上考虑金属镀膜方式最高,直接印刷银电极浆料最低而从图案精密度上考虑则是蚀刻的方式较印刷的方式为佳。

3. 绝缘层

透明绝缘层主要是以平面印刷的方式,将透明介电玻璃材料印刷在整面电极与黑色对比层上。它要求透明度应达到 85% 以上、表面平整度应小于 2mm、不能有气泡产生并具有较高的耐压性等性质。

4. 保护层

保护层主要目的有两个,一是防止等离子体中的离子撞击蚀刻透明绝缘层与电极,增加 PDP 之寿命;二是材料本身具有较高的二次电子发射率,可以降低气体放电时的启动电压。保护层材料要求透明度高、材料本身可使 PDP 面板具有较宽的操作电压范围。经过各种实验研究和运用实践证明,氧化镁是最耐离子撞击材料之一且具有很高的二次电子发射效率与透光率 ($>90\%$),因此 PDP 一般是以氧化镁作为保护层材料,其制程以电子束蒸镀法为主。

图 1-4 是上板组装工艺流程图。

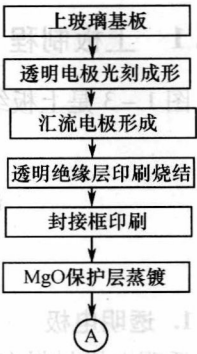


图 1-4 上板组装
工艺流程图

1.2.2 下板制程

图 1-5 是下板结构示意图。下板制程首先在下玻璃基板上制作寻址电极。

1. 寻址电极

寻址电极是以银作为电极材料,一般是以印刷法将银材料印刷至玻璃底板上为主。也有用感旋光性的银电极材料经黄光蚀刻制程制作的。后者制作的地址电极分辨率很高,但有 50% 的银材料被浪费而使其成本过高。此外还可利用无电解电镀的方式将电极制作在玻璃基板上,但这种方式容易产生工业废液。

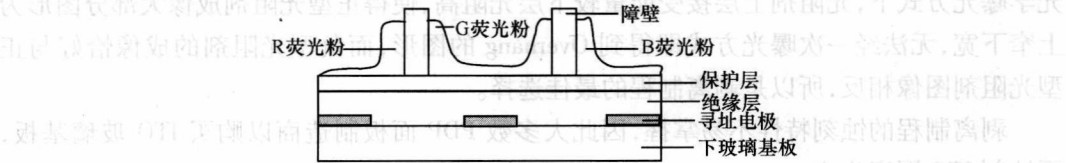


图 1-5 下板结构示意图

2. 反射绝缘层

反射绝缘层的主要目的是提高可见光反射率以增加亮度,提供高平坦度平面,同时降低等离子管之间障壁的制作难度。目前的生产方式是以印刷法为主。

3. 障壁

障壁主要目的有两个,一是作为上、下玻璃基板之间的支撑,二是防止荧光粉混色。随着对 PDP 亮度、对比度的更高要求,目前障壁已分为上下两种颜色,上层为黑色,目的是增加画面对比度,下层为白色,目的是增加画面亮度。障壁制作时要求顶端平整度高度一致,因此制作困难,是目前急需突破的一项关键技术。

4. 荧光层

荧光层涂覆在障壁两侧以及各障壁之间,相邻两色间不能有混色。该层一般采用印刷方式将不同颜色的荧光浆料分别填入各隔板之间,这是目前生产的主要方式。

图 1-6 是下板组装工艺流程图。

5. 排气、充气与封合组装

图 1-7 是排气、充气与封合组装流程图。其中,所用封合材料为低熔点玻璃粉,混合惰性气体成分大多为 He 和 Xe 或是 Ne 和 Xe,混合的比例与封入的量则是各生产厂商的关键技术。

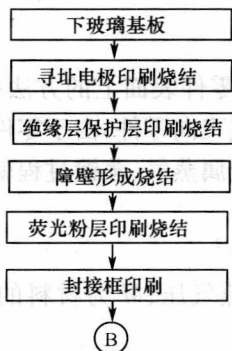


图 1-6 下板组装工艺流程图



图 1-7 排气、充气与封合组装流程图

1.3 PDP 制程常用工艺

1.3.1 物理溅镀法

1. 真空溅镀

在真空中,用高能离子轰击材料靶从其表面溅射出原子并沉积在工件表面上形成薄膜的方法叫做真空溅镀法。

真空室抽到 10^{-5} 托 $\sim 10^{-4}$ 托高真空后再充入一定量的惰性气体(常用氩 Ar),真空度即降为 10^{-3} 托 $\sim 10^{-2}$ 托。在阴极、阳极间加上高电压惰性气体即辉光放电而部分电离,在阴极前面形成阴极暗区。阴极暗区中的 Ar^+ 离子被阴极负高压加速以高速轰击材料靶,从靶面飞溅出来的原子以足够高的速度飞向阳极工件并沉积在其表面上,形成牢固的镀层。

从材料表面溅射出来的原子数与轰击靶的离子数之比叫溅射率,溅射率 S 的大小主要取决于轰击离子的能量 E ,当 $E < 500\text{eV}$, S 与 E^2 成正比;当 $E = 500\text{eV} \sim 400\text{eV}$ 时, S 与 E 成正比;当 $E = 400\text{eV} \sim 5000\text{eV}$ 时, S 与 $E^{1/2}$ 成正比。实践表明,用能量为 $200\text{eV} \sim 500\text{eV}$ 时的离子进行轰击时,其溅射效率最高。溅射率还受 Ar^+ 等轰击离子的质量、靶材料的原子序、离子轰击靶的角度、残余气体、氧气等反应气体、靶的温度等因素的影响。

2. 磁控溅射

为了降低工件基体温升,加一个与材料靶表面平行的磁场,从靶面溅出的高速电子被偏转而不冲击工件,这就克服了由电子冲击工件引起的温升,同时也促进了惰性气体的离

子化。因而可以在 10^{-3} 托低真空、工件处于 100°C 条件下进行溅射。

3. 离子束溅射

离子束溅射 (Ion Beam Sputtering, IBS) 采用把离子室和溅射室分开的方法, 避免荷电粒子和惰性气体冲击镀层表面, 能更严格地控制镀覆条件和保证镀层的质量。离子束法有下列优点: 高速电子完全不冲击工件, 可以确保工件处于低温; 能严格控制溅射条件, 故再现性好; 能溅射任意构造的镀层, 以及单晶质膜、高质量光学膜等。

1.3.2 电子束蒸镀法

1. 真空蒸镀

在真空中, 使金属、合金或化合物蒸发并凝固、堆积在零件表面上的方法称为真空蒸镀法。当蒸镀材料在真空中加热到一定高温变成饱和蒸气飞向零件, 由于零件温度低, 蒸气就在零件表面凝固成膜。控制蒸发源按一定比例供给金属蒸气, 蒸镀过程就连续进行, 并在零件上得到所需厚度的连续镀层。

$$\text{材料的蒸发速度} \quad V = 5.85 \times 10^{-2} \cdot P \cdot (M/T)^{1/2} \quad (1-1)$$

式中: V 为蒸发速度, $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$; P 为材料在 TK 时的饱和蒸气压; M 为材料的克分子量; T 为绝对温度 K 。

铝的熔点为 650°C , 在 1300°C 时其饱和蒸气压为 10^{-1} 托。根据式 (1-1), 当铝加热至 1300°C 时 V 为 $10^{-3} \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$, 在实际蒸镀时所需要的 V 值为 $10^{-5} \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \sim 10^{-2} \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 。

蒸镀材料加热方法有电阻加热、高频感应加热、激光加热、电子束加热等方法, 电子束加热设备构造简单、小巧, 操作容易, 应用范围广泛。

2. 电子束加热蒸镀

电子束加热常用磁场偏转型电子枪, 电子束聚焦之后冲击蒸镀材料 (其电位与阳极相同), 使之熔融蒸发。电子束的点径只要有 $2\text{mm} \sim 3\text{mm}$ 就足够了, 点径太小效果不好。由于电流较大, 故加速电压在 15kV 以下, 没有产生 X 射线的忧虑。由于电子束受 $10\text{kV} \sim 20\text{kV}$ 高压加速, 仅对蒸镀材料表面加热, 热效率非常高, 因而即使是高熔点的 Ti 、 Be 、 Mo 、 W 等金属, 亦可用电子束法蒸镀。

3. 活性反应蒸镀

活性反应蒸镀 (Activated Reactive Evaporation, ARE) 法就是在真空室中通入反应气体, 并使它和蒸发金属原子一起离化, 促使它们进行化学反应, 用这种方法可以获得各种陶瓷镀层。例如当 Ti 在 C_2H_2 气氛中蒸镀时气压在 10^{-4} 托左右, 活化针状电极电压引起反应气体 (C_2H_2) 和快速蒸发的金属放电, 再加之蒸发材料表面附近的一部分入射电子束和二次电子吸向针状电极, 激励反应气体产生电晕放电使之离化, 促进 Ti 和 C_2H_2 反应产生 TiC 。

很明显, 改变 Ti 和 C_2H_2 的分压即可改变镀层的组成, 这是 ARE 法的优点。用该法可以得到 SiO_2 、 Al_2O_3 等绝缘膜和 TiC 、 SiC 等耐磨镀层。

1.3.3 化学气相沉积法

化学气相沉积法是利用气态物质在固体表面上进行化学反应, 生成固态沉积物的过程。具体地说就是: 挥发性的金属卤化物或金属有机化合物等与 H_2 、 Ar 或 N_2 等载气混

合后,均匀地传输到反应室的高温衬底上,通过化学反应生成薄膜。CVD 沉积必须满足以下基本条件:

- (1) 在沉积温度下,反应物必须具有足够高的蒸气压;
- (2) 反应生成物,除了所需的沉积物为固态外,其他都必须为气态;
- (3) 沉积物本身的蒸气压应足够低,以保证在整个沉积过程中能使其保持在加热的衬底上;
- (4) 衬底材料本身的蒸气压在沉积温度下也应足够低。

CVD 沉积分两类:一是单晶衬底上气相外延单晶外延层;二是衬底上沉积薄膜,包括多晶和非晶薄膜。根据所用原气体的种类不同,分为卤素输运法和金属有机化学气相沉积(Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)。按照反应室内的压力,分为常压 CVD(Atmospheric Pressure CVD, AP CVD)、低压 CVD(Low Pressure CVD, LPCVD)和超高真空 CVD(Ultra High Vacuum CVD, UHV CVD)三种类型。CVD 通常还采用能量增强辅助方法,常见的有等离子增强 CVD(Plasma Enhanced CVD, PECVD)。

1.3.4 光刻与腐蚀

1. 光刻

光刻的本质就是图形转移的一个过程。这些电路结构首先以图形形式制作在名为掩模版的石英模板上。紫外光透过掩模版把图形转移到硅片表面的光敏薄膜上。通常的光刻是这样进行的:光刻显影后图形出现在硅片上,然后通过化学刻蚀工艺把薄膜图形成像在下面的硅片上,或者被送到离子注入区来完成硅片上图形区中可选择的掺杂。转移到硅片上的各种各样的图形确定了器件的众多特征,如通孔、器件各层间必要的互连线以及掺杂区等。

光刻工艺是一个复杂过程,有很多变量会影响光刻线条的质量,如硅片表面清洁度、对准偏差等。一般来说,光刻工艺主要可以分为 8 个步骤,在硅片制造厂中,一般都是按照这 8 个步骤来进行操作的。

1) 气相成底膜处理

光刻的第一步是清洗、脱水和硅片表面成底膜处理。硅片清洗一般在光刻工艺之前进行,目的是去除硅片表面的沾污物。脱水是在一个封闭腔内完成,以除去吸附在硅片表面的大部分水汽。脱水烘焙以后硅片立即要用六甲基二硅胺烷(HMDS)进行成膜处理,它起到了黏附促进剂的作用。增强硅片和光刻胶之间的黏附性。

2) 旋转涂胶

成底膜处理后,通常情况下,采用旋转涂胶的方法给硅片涂上光刻胶材料。硅片被固定在一个真空台上,采用真空吸附固定硅片,一定量的光刻胶滴在硅片上,然后电机带动真空台旋转,在硅片上得到一层均匀的光刻胶涂层。

不同的光刻胶要求不同的转速来进行甩胶,例如,最初慢速旋转,如 500r/min,接下来跃变到 3000r/min 或者更高。光刻胶应用的重要质量指标为均匀性、厚度以及光刻胶缺陷等。

3) 软烘

光刻胶在硅片上成膜后要经过软烘,目的是去除光刻胶中的溶剂,使光刻胶和硅片的

黏附性更好,并提升光刻胶的均匀性,以便在刻蚀中更好地对线宽进行控制。

4) 对准和曝光

硅片软烘之后,将掩模版和涂胶后的硅片上的标准位置对准,通常情况下,在硅片上有一层事先确定了的图形。对准后,将硅片曝光,把掩模版上的图形转移到硅片上。对准和曝光的重要质量指标是对准精度以及分辨率。

5) 曝光后烘焙

硅片曝光之后,要在 $100^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 的热板上进行烘焙。通过曝光后烘焙,可以大大减少光刻胶中的剩余溶剂,从曝光前的 $7\% \sim 4\%$ 减少到了 $5\% \sim 2\%$,曝光后烘焙,可以对曝光过程中的缺陷进行很好的控制。

6) 显影

显影是在光刻胶中产生光刻图形的关键步骤。光刻胶上的可溶解区域被显影剂溶解,将掩模版图形转移到硅片表面。最通常的显影方法是旋转、喷雾,然后显影,显影后的硅片用去离子水冲洗并甩干。

7) 坚膜烘焙

坚膜烘焙指的就是显影后的热烘。坚膜烘焙的目的是挥发掉存留的光刻胶溶剂,提高光刻胶对硅片表面的黏附性。正胶的坚膜烘焙温度为 $120^{\circ}\text{C} \sim 140^{\circ}\text{C}$,温度不能太高,否则,光刻胶中溶剂的过量蒸发会对图形精度产生不好的影响。

8) 显影后检查

显影之后的硅片要在显微镜下进行检查,以确定光刻图形的质量。对于图形有缺陷的硅片,可以去胶并进行返工。

2. 腐蚀

光刻后采用液态化学去除多余材料,常被称为湿法刻蚀,所用的设备较为简单,控制参数单一,对器件的损伤也较为轻微。但是由于湿法刻蚀工艺的各向同性,会对电极线条的侧面产生腐蚀,导致线条边缘不够光滑,而且,湿法刻蚀工艺对衬底表面的光洁度要求很高,粗糙度高的薄膜表面而很容易造成线条脱落。

干法刻蚀主要采用纯化学作用的等离子腐蚀及纯物理作用的离子腐蚀,具有各向异性的特点,可实现亚微米的微细加工,并能得到较为垂直的侧壁。干法刻蚀包括等离子体刻蚀(Plasma Etching, PE)、离子束刻蚀(Ion Beam Etching, IBE)和反应离子刻蚀(Reaction Ion Etching, RIE)。

低温等离子体刻蚀主要采用低压真空系统,在等离子体的作用下,材料表面的一些化学键被打断,断裂成小分子产物或被氧化成 CO 、 CO_2 等,这些产物被抽气过程抽走,使材料表面变得坑坑洼洼,从而达到刻蚀作用。

离子束刻蚀以惰性气体离子与材料原子的动量交换为机理形成物理溅射,是一个对材料原子层的连续去除过程。

反应离子刻蚀是一种物理作用和化学作用共存的刻蚀工艺,兼有离子溅射刻蚀和等离子化学刻蚀的优点,不仅分辨率高,而且刻蚀速率快。其刻蚀机理为:射频辉光放电,反应气体被击穿,产生等离子体。等离子体中包含正、负离子,长短寿命的游离基和自由电子,可与刻蚀样品表面发生化学反应;同时离子在电场作用下射向样品表面,并对其进行物理轰击。物理和化学同时作用,完成对样品的刻蚀。

1.3.5 剥离(Lift-off)制程

剥离工艺是一种简单、易行的薄膜图形化方法，其最大的优点是对基底晶格结构的损伤远没有干法刻蚀严重，避免了对衬底造成损伤和沾污，而且图形分辨率仅取决于光刻，更容易控制线宽，减小了线条的不均匀性。但在制备过程中具有一定的要求：

- (1) 薄膜沉积过程中，衬底温度应尽可能低，以避免光刻胶烧灼；
- (2) 薄膜与衬底材料一之间要具有良好的附着力；
- (3) 溶解光刻胶的液体能够很好地润湿所要沉积的薄膜。

剥离工艺对薄膜质量要求不是太高，但由于光刻胶在整个沉积过程中会不断地扩散，有可能影响所沉积的薄膜质量。

剥离工艺与传统的湿法腐蚀工艺相比，最显著的区别是沉积金属层和光刻胶的先后顺序不同，图1-8是两种工艺的对比示意图。

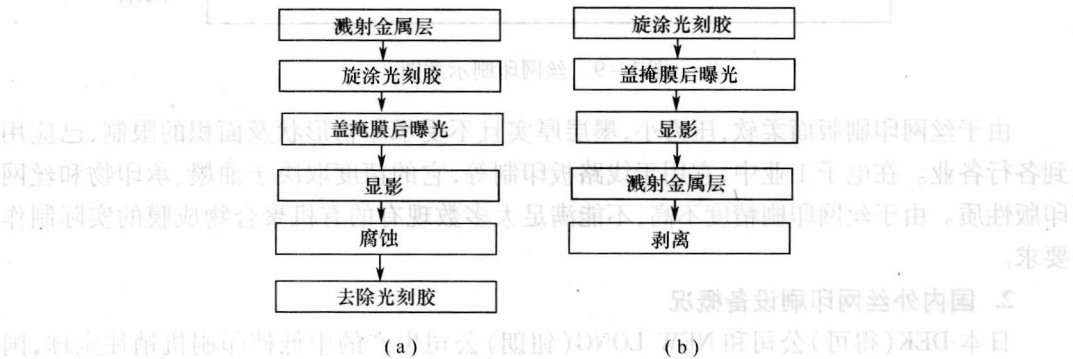


图1-8 剥离工艺与传统的湿法腐蚀工艺对比示意图
(a)湿法腐蚀流程图；(b)剥离工艺流程图。

光刻剥离技术的关键同光刻胶层的剖面形状有着极重要的关系，如果光刻胶层剖面呈“倒梯形”，则使得光刻胶层侧壁上没有膜层或者膜层非常薄，从而使光刻胶层能较快地溶解，并且容易将其上面膜层剥离掉。

1.3.6 丝网印刷

20 世纪 60 年代丝网印刷(Screen Printing)就被广泛地应用于印制线路板、厚膜集成电路、太阳能电池、电阻、电容、压电元件、光敏元件、热敏元件、液晶显示元件等的制造中，特别是 20 世纪 80 年代以来，各种新型材料和新技术的不断应用，与国外不断开展的技术交流，以及高精度自动化新设备的不断发展，大大提高了丝网印刷技术水平。目前，电子器件向高精度、高密度、薄型轻量化方向发展，对丝网印刷工艺提出更高的要求。长期以来，国内对丝网印刷的研究工作做得相对较少，产品质量与印刷业发达的西欧、美国、日本相比还有很大差距。丝网印刷技术虽然正逐步向数据化方向发展，但目前实际生产与市场需求还有很大发展空间。

1. 传统丝网印刷

丝网印刷是一种简单印刷技术。现代丝网印刷利用感光材料通过照相制版的方法制作丝网印版。丝网印版上图文部分的网孔为通孔，非图文部分的网孔被堵住。印刷时通