

基于半导体的工艺线设备配置及选型技术

胡伟, 蔡颖岚, 邓学文, 赖忠良, 唐代飞

(重庆声光电有限公司, 重庆 400060)

摘要: 半导体工艺根据产品采用不同的工艺路线, 分析小规模特殊器件的工艺路线。根据产品器件需求配置相应的设备, 满足生产适用性、技术先进性和经济合理性原则。

关键词: 半导体工艺; 设备配置; 设备选型; 光刻机

中图分类号: TN30 文献标识码: B DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2018.05.57

0 引言

根据产品的用途, 半导体工艺有基材、设计、流程和工艺条件的差别。针对不同的专业方向, 不同的产品, 半导体工艺线有不同的选择, 其中设备的配置和选型最关键。一种设备实现一种工艺, 完整的工艺需要相应的设备构建工艺线。由于半导体行业投入较大, 科研院所通常采用建设一条小规模工艺线来实现某一类产品的开发, 并逐步小规模量产的方法。工艺线要满足未来若干年的生产和研制需要。以6英寸硅工艺线大尺寸器件为例, 研究工艺线设备配置及设备选型技术。

1 工艺路线

硅作为半导体材料的一个重要原因是其具有表面自然生长氧化硅 SiO_2 的能力, SiO_2 是一种高质量、稳定的电绝缘材料。而且能充当优质的化学阻挡层以保护硅不受外部油污^[1]。半导体工艺就是在晶片上执行一系列复杂的化学或者物理操作, 制作能实现各种需要的器件, 如二极管、三极管、集成电路及 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, 互补金属氧化物半导体) 器件等。这些工艺基本可以分为四大基本类^[2]: 薄膜工艺、刻印工艺、刻蚀工艺和掺杂工艺。在几大类工艺上进行技术及工艺参数的增减和变换, 并在有限的工艺流程中重复循环, 并最终形成产品。

1.1 光刻

光刻是工艺线核心, 也是衡量工艺线的标准。随着大规模集成电路需求的不断增加, 促进了微细加工的发展, 满足特殊需要的大面阵器件大规模集成化已有了显著的突破。如果产品器件综合各项要求的情况下, 最细线条设计为 $(0.7\sim 1)\mu\text{m}$, 考虑一定的冗余度, 光刻应选取最小分辨率 $0.5\mu\text{m}$ 既 $0.5\mu\text{m}$ 生产线。大尺寸器件还受到光刻曝光视场的限制。受制于物镜尺寸, 一般光刻机的视场通常为 $(22\times 22)\text{mm}$ 或 $(22\times 27)\text{mm}$, 如果大于这个数, 就可以称为大视场光刻机, 目前光刻机最大的视场为 $(50\times 50)\text{mm}$, 但仍不能满足尺寸达到 $(100\times 100)\text{mm}$ 左右的大尺寸器件的科研和生产要求。大视场会牺牲分辨率指标, 不符合高度集成化的要求。解决光刻视场小于器件尺寸的办法只能采用拼接技术^[3]。假设研制的器件结构由4个区组成, 在制作掩模版时分成4个独立的区域, 然后采用4次曝光的方式逐次选择区域曝光, 一次显影形成所需要的图形。图1为光刻拼接过程示意图。

光刻拼接方案工艺试验验证, 用4英寸 $2\mu\text{m}$ 分辨率光刻机进行拼接试验, 如图2所示。拼接技术是光刻套刻技术的延伸。采用拼接技术, 需要掩模版

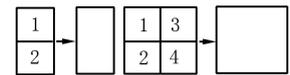


图1 光刻拼接示意图

设计人员做更多的考虑, 为了满足大尺寸器件的工艺制作, 必须采用较高的拼接工艺技术, 并要求光刻机的套准精度 $\leq 100\text{nm}$ 。

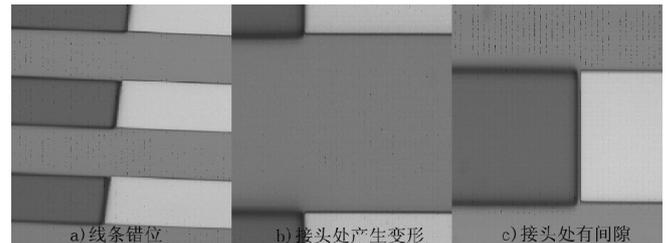


图2 光刻拼接试验图片

1.2 金属化

金属化工艺的选择直接关系到诸多设备的配置。根据先进的 IC (Integrated Circuit, 集成电路) 制造工艺, 选用金属铜作为引线, 可大幅度提高器件的性能。铜布线与铝布线, 在工艺路线和工艺设备的选择上, 存在较大差异。尽管铜的电导率优于铝, 但腐蚀铜一直是个工艺难点。图3为金属工艺后的切面照片及多种材料的电导率。

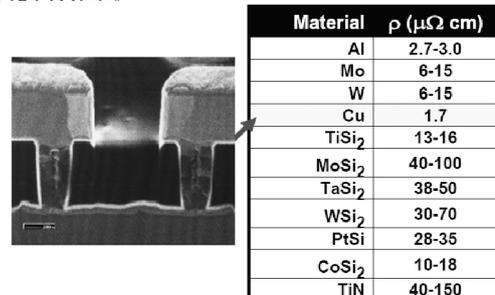


图3 金属切面照片及材料电导率

金属钨常用作接触孔或通孔材料。由于钨薄膜较难刻蚀平坦,会产生介质覆盖问题,需要增加淀积工艺设备和等离子刻蚀工艺设备。工艺接触孔的大小决定工艺设备的配置,设计孔的尺寸 $>0.7\ \mu\text{m}$,钨可以满足工艺要求。如果购进钨工艺相关设备,又可以不用钨工艺,将造成巨大的设备和固定资产浪费。

除刻印工艺和薄膜工艺,复杂的半导体器件制作方案涉及上百个工艺过程,每一个工艺过程都需要事先规划工艺路线。另外,还要考虑保障工艺线完整及可靠运行的在线测试及封装工艺。将这些工艺路线集成后形成一种半导体器件的工艺线建设方案。

2 设备配置

工艺流程不同,设备的配置情况也不同。设备的配置除保障工艺线的基本需要,还要根据情况适当兼顾未来数年能满足科研及生产的需要。图4为硅工艺线大尺寸器件工艺流程。

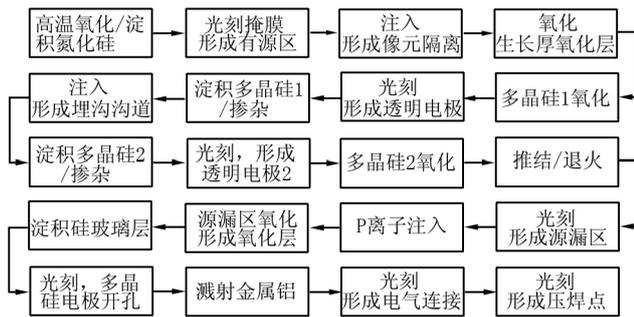


图4 大尺寸器件工艺流程

按生产流程和设备工艺情况,可以分为热工序、薄膜工序、光刻工序、刻蚀工序、离子注入工序、在线检测工序、中测工序和封装工序。以关键工序光刻和离子注入为例,说明设备配置情况。

2.1 光刻设备

光刻工序主要包括涂胶工艺、曝光和显影,根据工艺路线可以确定主要设备及基本性能参数(表1)。光刻工序根据需要配备烘箱和坚膜机,并做相应的参数设置。光刻工艺需要严格的质量控制,用显微镜就能发现各种缺陷,诸如曝光量、显影时间和套刻精度等情况。如果要求更高,还可以配置扫描电镜、颗粒度测试仪、线宽测试仪和缺陷测试仪。

表1 光刻工序主要设备技术参数

设备名称	工艺用途	主要技术指标
涂胶机	涂胶	胶膜厚度的非均匀性 $<0.3\%$,涂胶转速(500~8000)r/min,前烘温度非均匀性 $<0.4\ ^\circ\text{C}$,光刻胶种类4
光刻机	曝光工艺	最小条宽 $\leq 0.5\ \mu\text{m}$,接触孔 $0.7\ \mu\text{m}$,套刻精度50 nm,光强非均匀性 $<1.5\%$,视场(22 \times 27)mm
显影机	显影	显影液温度控制 $\pm 0.2\ ^\circ\text{C}$,显影非均匀性 $<3\%$

2.2 离子注入设备

离子注入工序是通过高压离子轰击将杂质引入硅片晶体结构中。在晶片制造中,有两种方法可以向硅片中引入杂质元素,即热扩散和离子注入。随着特征尺寸的不断减小和相应的器件

缩小,现代半导体制造中几乎所有掺杂工艺都采用离子注入方式实现。根据工艺路线可以确定主要设备及基本性能参数(表2)。完成注入工序还需要配备快速退火炉,并做相应的参数设置。注入工艺需要严格的质量控制,需要配置颗粒度测试仪、四探针、C-V测试仪和Hall测试仪。

表2 离子注入工序主要设备技术参数

设备名称	工艺用途	技术指标
中能注入	中束流注入	能量范围(5~200)keV(单电荷), $(10\sim 400)\text{keV}$ (双电荷),最大束流 $B+700\ \mu\text{A}$, $P+1700\ \mu\text{A}$,注入剂量均匀性:片内 $\leq 0.3\%$,注入角度(0~7) $^\circ$ 编程
大束流注入	大束流注入	能量范围(5~160)keV(单电荷),最大束流 $B+5\ \text{mA}$, $P+12.5\ \text{mA}$,注入剂量非均匀性:片内 $\leq 0.3\%$,注入角度 7° (由靶盘决定)

3 设备选型

设备的选型是通过技术性与经济性的分析、评价及比较后,从可以满足相同需求的多种型号设备中选择最佳的决策。依据设备选型理论的指导,在半导体设备选型过程中应遵循3个基本原则:生产适用性原则、技术先进性原则和经济合理性原则。在半导体设备选型时,要将上述三大原则统一权衡,根据具体情况赋予各原则不同的权重以获得最合适的设备。

光刻机的选型

扫描步进投影光刻机是6英寸工艺线主流,应该首先从技术上论证。光刻最关键的两项技术指标是光刻分辨率和套刻精度。一般用分辨率 R 和焦深 DOF 描述,若投影光刻物镜的曝光波长为 λ ,数值孔径为 NA ,则这2个量可用公式(1)和公式(2)表示^[4]。

$$R=K_1\lambda/NA \quad (1)$$

$$DOF=K_2\lambda/NA^2 \quad (2)$$

式中 λ 为投影光源波长, K 为工艺系数因子, NA 为投影光刻物镜数值孔径。从式(1)可以看出,提高光刻分辨率可以通过缩短激光波长、降低工艺系数因子 K_1 和提高投影光刻物镜数值孔径 NA 实现。但提高分辨率是以牺牲焦深为代价,而焦深也是制约光刻工艺的重要因素。从光刻线宽与焦深的关系曲线(图5)可以看出 $0.5\ \mu\text{m}$ 工艺线宽对应焦深 $1.1\ \mu\text{m}$ 左右,焦深 $>0.95\ \mu\text{m}$ 的器件工艺台阶高度,满足设备选型要求。

对科研院所而言,建立半导体工艺线主要用于研发和小规模生产,力求稳打稳扎地逐步升级,只要工艺线能满足产品要求,并不追求一步到位的采用最新的12英寸线。6英寸线二手翻新光刻机是很好的选择,6英寸线步进光刻机的主要生产厂家有Nikon,Canon和ASML家。由于ASML光刻机能够原厂翻新,后续维护可以得到保证,只需要在价格合适的情况下选择具体的型号。不同型号采用不同的技术,性能和价格也不同,在资金预算内选择能满足产品工艺要求的型号,同时还要兼顾未来发展的需要。

其他设备的选型还要考察设备厂家的实力,后续维护能力以及设备在世界范围的销售情况和用户使用情况。

4 结束语

半导体行业中有部分企业有些设备本身没有问题,因不能

国内隧道喷射混凝土施工作业设备使用成本分析

尹军辉

(中交二公局东萌工程有限公司 陕西西安 710000)

摘要:依据现场使用情况,对比目前国内隧道喷射混凝土施工作业中常用的3种喷浆设备(喷浆机(潮喷)、自卸喷浆车(潮喷)和喷浆机械手(湿喷)各自的优缺点,通过详实数据核算出各类设备的使用成本,指出各类设备不同特点和适用情况。

关键词:自卸喷浆机;喷浆机械手;喷浆机

中图分类号:U455 文献标识码:B DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2018.05.58

0 引言

浙江省杭新景高速公路TJ6标项目标段内共有3座隧道,分别为西岙岭特长隧道(全长5970 m,其中6标段施工长度3130 m)、小净距隧道2座(杨梅岗隧道(单洞长241 m)、珠头隧道(单洞长134 m))。其中,西岙岭隧道是目前浙江省第五长公路隧道,TJ6标项目承担西岙岭隧道开化方向出口段(K167+900~K171+030段)施工任务,分左右线2个主作业面,项目工期36个月,喷射混凝土设计量为3.6万t。

隧道施工,喷射混凝土(锚杆、量测)一直被业内认为是新奥法的3大要素之一,其中喷射混凝土工序的及时施工是有效防止因水和风化作用造成围岩的破坏和剥落,制止膨胀岩体的潮解和膨胀,保护原有岩体强度的重要环节。为提高实际施工效率,降低成本,喷射混凝土设备的选型需要进行综合对比、理性分析。根据现场施工需要,西岙岭隧道喷锚支护工序施工中右洞选用自卸喷浆车1台,左洞选用耿立喷浆机2台。经过10个月的使用比较,并对目前市场上的喷浆机(潮喷)、自卸喷浆车(潮喷)和喷射机械手(湿喷)进行了市场调查,得出以下对比分析结果。

1 喷浆机、自卸喷浆车及喷射机械手的市场现状

一直以来国内隧道施工中多使用小型喷浆机,近年来有部

分厂家对小型喷浆机进行了升级:在2台喷浆机之间加装行走平台及上料斗,形成自行式自卸喷浆车。自行式自卸喷浆车解决了小型喷浆机转移困难、人工上料工效低、浪费大的问题。工作效率比原来2台单机喷浆机有了明显提高,加装的自卸料斗装置,很大程度上减轻了喷浆机上料的人工强度,提高了操作人员转移设备的便捷性。尽管有上述优点,自卸喷浆车并没有从本质上解决喷浆机回弹率高、粉尘大的弊病,工作面除尘所需的用风、用电成本也未能降低。虽然造成这些缺点的原因是多方面的,但工程师们还是在不断寻求解决上述问题的有效途径。经过不断的研究,业内普遍认为,克服上述缺陷的根本出路在于使用喷浆机器人、喷浆机械手^[1]。

国外从20世纪60年代初开始采用机械手喷浆,经过多年改进,目前已有成熟的喷浆机械手设备。虽然我国也从20世纪60年代中后期开始投入研制喷浆机械手,但由于种种原因,虽经数十年的努力,并未形成质量可靠、大规模投入使用的产品。国内市场上现有的国产品牌喷浆机械手,不同程度上都存在结构不合理、自动化水平低、质量可靠性差的问题,主要表现为操作复杂、动作难以适应地下工程的恶劣环境^[2]。因此国内施工中普遍采用进口喷浆机械手,保障施工需要的同时,价格也比较高,且维修和配件供应相对困难。

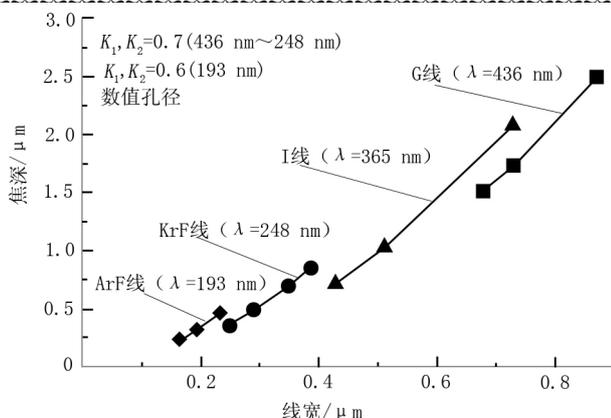


图5 光刻线宽与焦深关系曲线

满足产品研发和生产的需要而闲置,是工艺线设备配置和选型工作做得不够造成的。半导体设备有其特殊之处,只有把握好每一个细节,才能使设备配置和选型获得成功。无论工艺线规模大小,无论是哪种工艺,都需要针对产品和设备做深入的研究。

参考文献

- [1] F.Seitz and N.Einspruch, Electronic Genie:The Tangled History Of Silicon Urbana,(University Of Illinois Press ,1998) P.175.
- [2] Michael Quirk, 韩邦生,等译.半导体制造技术[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [3] 李佳,高健威,袁安波,等.大阵列 CCD 光刻图形拼接技术研究[J].半导体光电,2015(6):936-938.
- [4] 姚汉民,胡松,邢廷文.光学投影曝光微纳加工技术[M].北京:北京工业大学出版社,2006.

[编辑 李波]