

集成电路制造工艺的质量管理研究

王云辉

(中国电子科技集团公司第二十四研究所, 重庆 400060)

摘要 我国集成电路产业经过十多年发展, 已形成较为完善的产业链, 包括芯片设计、芯片制造、封装测试、原材料生产、设备生产等方面, 但是与西方发达国家相比, 我国集成电路产业层级仍然处于末端, 其中集成电路制造工艺与质量管理水平是重要的因素。本文以集成电路制造工艺的质量管理为研究重点, 全面介绍集成电路制造工艺与质量管理理论, 分析集成电路制造工艺技术, 并提出集成电路制造工艺的质量管理策略, 为我国集成电路产业健康发展提供可供参考的建议。

关键词 集成电路; 制造工艺; 质量管理

中图分类号: TN4

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)02-0001-03

1 集成电路制造工艺与质量管理概述

1.1 集成电路制造工艺的概述

集成电路(Integrated Circuit, IC)制造工艺是指将电子器件(晶体管、电容、电阻等)和电路元件(电感、滤波器等)按照设计图样制造、组装和封装成一个集成电路芯片的过程。集成电路制造工艺是现代电子技术的基础, 是电子信息产业的关键技术之一^[1]。

集成电路制造工艺主要包括晶体管制造工艺、半导体工艺、封装工艺和测试工艺四个部分。其中, 晶体管制造工艺是制造集成电路的基础工艺, 主要包括晶体管的生长、掺杂、光刻、蚀刻、沉积、扩散、离子注入等工艺过程。半导体工艺是指在晶体管的基础上, 通过蚀刻、沉积、刻蚀等工艺加工形成电路元件和电路层的过程。封装工艺是将制造好的芯片封装在塑料或陶瓷封装体中, 以保护芯片、提高可靠性和便于使用。测试工艺是对制造好的芯片进行测试, 保证其满足设计要求和质量要求^[2]。

在集成电路制造工艺中, 制造工艺的精度和稳定性非常重要, 其制程容差常常只有几纳米, 而且制程工艺具有高度的复杂性和重复性。因此, 制造工艺需要高质量的设备、原材料和严格的操作规范。同时, 集成电路制造工艺需要经过多道工序, 因此需要完善的流程控制和质量管理体系, 以确保制造出的芯片具有高度的一致性和可靠性^[3]。

当前, 集成电路制造工艺在不断地发展和创新。随着工艺制程的微缩化和集成度的不断提高, 集成电路的功耗、速度、成本等方面也得到了显著的改善。同时, 集成电路制造工艺还在不断探索新的技术和材料, 如新型半导体材料、三维堆叠技术、纳米光学等,

以推动集成电路技术的不断发展和进步。

1.2 质量管理的定义和方法

质量管理是指在生产、服务等过程中, 通过系统化的方法和手段, 以满足客户需求为导向, 不断提高产品和服务的质量水平, 降低成本, 提高效率, 以达到提高市场竞争力的目的。在质量管理中, 定语和方法是非常重要的两个方面。

质量管理的定语是指将质量管理中的关键要素进行明确、具体化的过程。常见的质量管理定语包括“客户需求导向”“全员参与”“过程管理”“数据分析”“持续改进”等。其中, “客户需求导向”是质量管理的核心, 通过对客户需求的理解和满足, 可以提高客户满意度, 从而提高产品和服务的质量水平。“全员参与”是指企业中每个员工都应该对质量管理负有责任和义务, 形成全员参与的质量管理体系。“过程管理”是指从全过程的角度, 对质量进行控制和管理。“数据分析”是通过采集和分析数据, 识别问题和改进机会, 以提高生产过程的稳定性和质量水平。“持续改进”是指质量管理应该是一个不断改进的过程, 持续提高产品和服务的质量水平^[4]。

质量管理的方法是指在质量管理过程中应用的方法和工具。常见的质量管理方法包括“PDCA 循环”“六西格玛”“质量功能部署”“统计过程控制”等。其中, “PDCA 循环”是质量管理的基本方法, 它包括计划、执行、检查和改进四个环节, 通过不断地循环反馈, 实现质量的不断改进。“六西格玛”是一种以数据和事实为基础的质量管理方法, 通过对过程的测量、分析、改进和控制, 以达到产品和服务质量的提高。“质量功能部署”是一种通过将客户需求转化为产品

和服务的具体特性,并将其传递到生产过程中去的质量管理方法。“统计过程控制”是一种通过采集和分析生产过程中的数据,实现对生产过程的控制和改进,从而提高生产过程的稳定性和质量水平^[5]。

1.3 集成电路制造工艺和质量管理的关系

集成电路制造工艺和质量管理的存在着密切的关系。在集成电路制造过程中,质量管理是确保产品质量的重要手段。

集成电路制造过程中存在大量的工艺流程,每一个环节都会影响到最终产品的质量。因此,在每个工艺流程中都需要质量管理的支持,以确保产品的质量能够满足客户的需求。例如,在晶圆制备过程中,质量管理可以通过监控晶圆的表面平整度、表面缺陷、厚度等指标,以确保晶圆的质量满足要求。在晶圆上的电路制造过程中,质量管理可以通过采用良好的布局设计、设备检测和产品测试等方法,确保每个电路元件的制造质量,从而确保整个电路的质量。

质量管理对集成电路制造过程中出现的问题进行监测和控制,以确保产品的质量。通过采用SPC(统计过程控制)等方法,实时监测生产过程中的各项指标,如电路制造中的线宽、线距、氧化层厚度、掩模对准精度等,以确保生产过程中各项参数均处于控制范围内,从而确保最终产品的稳定性和一致性。

质量管理还可以通过不断优化生产流程和改进生产方法,以提高产品的质量水平。例如,在晶圆制备过程中,采用新型的晶圆切割机,可以提高晶圆的表面平整度和表面质量,从而提高最终产品的质量。在电路制造过程中,通过改进设备的参数设置和优化加工工艺,可以提高电路元件的加工精度和一致性,从而提高产品的可靠性和性能。

质量管理是集成电路制造过程中不可或缺的环节,它可以确保产品的质量,提高产品的可靠性和性能,减少生产成本,提高生产效率,从而增强企业的市场竞争力。在集成电路制造过程中,质量管理需要根据生产过程中的实际情况,采用不同的方法和手段,以确保产品的质量和生产过程的稳定性。

2 集成电路制造工艺技术

2.1 微细加工技术

集成电路微细加工技术是指在微米级别上对晶圆进行加工处理,制造出尺寸更小、性能更强的芯片,是当今半导体技术领域的热门研究方向。其发展趋势是制造更小、功耗更低、速度更快、更具可靠性的芯片。

微细加工技术的主要方法包括:

光刻技术:光刻技术是制造微细芯片必不可少的

工艺之一,它通过利用光的干涉、衍射和吸收等原理,将光刻胶上的图案转移到晶圆表面,制造出微细结构。

离子注入技术:离子注入技术是一种将离子注入晶体材料中,控制材料中的杂质浓度和电学性能的方法。它可以在材料表面或者深层区域制造出有序的电子元器件。

氧化技术:氧化技术是通过在晶圆表面形成一层氧化层,实现对材料的控制,常用于制作MOSFET(金属氧化物半导体场效应晶体管)。

退火技术:退火技术是一种在高温下将晶圆加热处理,以改变材料的结构和性能的方法,常用于提高材料的电学性能和稳定性。

2.2 电路互连技术

集成电路互连技术是将晶圆上不同区域的电路元件连接起来,以形成完整的电路系统的技术。电路互连技术可以直接影响集成电路的性能、功耗和可靠性。其发展趋势是实现更高速率、更低功耗、更高密度的电路互联。

电路互连技术的主要方法包括:

金属互连技术:金属互连技术是将金属线路通过氧化物层连接到晶圆上的电路元件,实现电路互联的方法。常用的金属互连材料包括铜、铝等。

三维堆叠技术:三维堆叠技术是将多个晶圆进行垂直堆叠,形成三维结构的技术。它可以将更多的电路元件和互联线路集成在同一芯片中,提高电路密度和性能。

集成光通信技术:集成光通信技术是一种通过利用光信号进行数据传输的技术,它可以提高数据传输速率和减少功耗,同时可以实现更高密度的电路互联。

2.3 蚀刻技术

集成电路制造是一种高度精密的技术,其中蚀刻技术是制造过程中不可或缺的一部分。蚀刻技术指的是将涂有光刻胶的硅片放入蚀刻液中,将未被覆盖的部分蚀刻掉的过程。这种技术可以在硅片上制造出微小的电路元件,使其可以执行各种功能。蚀刻技术是集成电路制造过程中的一个关键步骤,可以帮助创造出复杂的电路。这个过程的第一步是将硅片涂上一层光刻胶,这种胶可以防止化学反应对硅片的不必要部分产生影响。然后,使用一台光刻机将电路图案投射到光刻胶上,产生一个反向的图案,这个过程称为光刻。接下来,硅片被浸泡在蚀刻液中,蚀刻液可以腐蚀掉未被光刻胶保护的硅片表面,这样在一定的时间内,蚀刻液会将硅片上的材料逐渐蚀刻掉,直到电路图案被完全形成。在这个过程中需要控制蚀刻液的浓度和

温度,以确保它们能够产生正确的蚀刻速度和深度。蚀刻技术有许多不同的类型,包括湿法蚀刻和干法蚀刻。湿法蚀刻是最常用的蚀刻技术,它使用化学溶液来蚀刻掉硅片上的材料。这种技术具有较高的选择性和控制性,可以实现非常高的精度。干法蚀刻则使用等离子体将硅片表面的材料去除,这种方法通常用于制造深的凹槽或小孔等复杂结构。

3 集成电路制造工艺的质量管理策略

集成电路制造工艺是一项复杂的生产过程,需要对每个环节进行严格的管理和监控,以确保产品的质量。因此,在集成电路制造过程中,质量管理策略至关重要。质量管理策略是指通过制定一系列的管理措施,来保证产品的质量满足客户的需求,同时提高生产效率和降低成本。本文将介绍集成电路制造工艺的三个主要质量管理策略。

3.1 过程控制

过程控制是指通过监测和控制生产过程中的各项参数,以确保产品的质量满足客户要求。集成电路制造工艺过程控制可以分为两个方面:第一,对于集成电路生产过程中的各项参数,通过数据采集和分析,实时监控各项参数的变化情况,从而确保各项参数处于控制范围内,避免过程变异,提高生产效率和降低成本。第二,对于出现问题的生产过程,通过采用控制图、散点图等方法,找出问题的原因,加以解决,避免出现同样的问题。

过程控制的具体方法有:SPC(统计过程控制),SPC是通过收集和分析数据,监控过程变异的统计方法。它可以帮助生产工人在集成电路制造生产过程中实时发现和纠正问题;FMEA(故障模式及影响分析),FMEA是一种对产品或过程进行风险评估的方法。它可以帮助生产过程中的工作人员在发现问题时迅速处理,降低生产成本;6 σ (六西格玛),6 σ 是一种用于测量过程变异的统计方法,它可以通过减少过程变异,提高产品质量,并最终提高生产效率和降低成本。

3.2 持续改进

持续改进是指通过不断地改进生产过程和产品设计,提高产品质量和生产效率,并降低成本。持续改进的具体方法有:设计实验,在集成电路产品设计阶段,通过设计实验,确定最佳的工艺流程和参数设置,以提高产品的质量;优化工艺,通过对集成电路制造生产过程的不断观察和分析,找出影响产品质量的主要因素,并进行改进,以提高生产效率和降低成本;周期性审核,定期进行内部审核和外部审核,通过发现问题和优化流程来持续改进生产过程。

持续改进可以通过 PDCA(计划、执行、检查和行动)模型来实现:

计划阶段:确定集成电路制造工艺改进的目标和计划。

执行阶段:实施集成电路制造工艺持续改善计划并对其进行监控和数据收集。

检查阶段:对集成电路数据进行分析和评估,以确定改进的效果。

行动阶段:根据数据分析的结果,采取相应的行动,改进集成电路制造工艺。

3.3 质量保证

质量保证是指通过一系列的措施,确保产品的质量符合标准和客户的要求。质量保证的具体方法有:过程审核,通过对集成电路制造生产过程的审核,确保所有操作符合标准要求;产品检验,对集成电路产品进行检验,确保产品符合标准要求;培训,对员工进行必要的技能培训,确保员工熟悉集成电路制造工艺流程和要求,保证生产质量;供应商管理,确保供应商提供的材料和零部件符合标准要求。质量保证的主要目标是确保产品的质量符合客户的要求,达到零缺陷的标准。质量保证可以通过 ISO 9001 等质量管理体系来实现,这是一种基于客户满意度和不断改进的质量管理体系。

4 结语

集成电路制造工艺的质量管理策略包括过程控制、持续改进和质量保证。通过采用这些策略,可以确保产品的质量满足客户的要求,确保产品的质量和生产过程的稳定性,并提高生产效率和降低成本,不断提升我国集成电路制造工艺水平。

参考文献:

- [1] 宋秦中,陈伟元.沪苏集成电路产业创新合作的路径分析[J].中国集成电路,2023,32(Z1):36-40.
- [2] 谢元禄,张坤,霍长兴,等.用于3D打印喷头的温控集成电路架构与设计[J].太赫兹科学与电子信息学报,2023,21(01):119-124.
- [3] 刘丹.集成电路设计中的EDA仿真技术应用[J].信息技术与信息化,2023(01):139-141,145.
- [4] 傅启国,曹坤,李腾,等.江苏集成电路产业发展现状及高质量发展策略研究[J].科技和产业,2023,23(01):52-57.
- [5] 李文辉,冼楚盈.集成电路技术创新能力的时序演变与区域分布[J].广东水利电力职业技术学院学报,2023,21(01):84-88.