

多晶硅制备工艺及发展趋势

宗佰利 霍海洋

陕西有色天宏瑞科硅材料有限责任公司, 陕西 榆林 719200

[摘要] 多晶硅作为半导体材料的主要组成部分, 在电子行业中有着广泛的应用。其制备工艺的不断改进和创新对于提高产品质量、降低生产成本至关重要。文章将对多晶硅制备工艺的发展趋势进行深入研究, 以期为该领域的技术进步提供一定的指导。

[关键词] 多晶硅; 制备工艺; 发展趋势

DOI: 10.33142/ect.v2i2.11349

中图分类号: TB332

文献标识码: A

Preparation Process and Development Trend of Polycrystalline Silicon

ZONG Baili, HUO Haiyang

Shaanxi Nonferrous Tianhong Ruike Silicon Materials Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719200, China

Abstract: Polycrystalline silicon, as the main component of semiconductor materials, has a wide range of applications in the electronics industry. The continuous improvement and innovation of its preparation process are crucial for improving product quality and reducing production costs. This article will conduct in-depth research on the development trend of polycrystalline silicon preparation process, in order to provide certain guidance for technological progress in this field.

Keywords: polycrystalline silicon; preparation process; development trends

引言

多晶硅的制备工艺一直以来都是电子材料领域的研究热点, 其品质直接影响到半导体器件的性能和稳定性^[1]。在过去的几十年里, 多晶硅制备技术经历了多次革命性的改进, 不断适应着电子产业对更高纯度、更大晶体尺寸和更低成本的要求。随着电子产品的迅猛发展, 半导体行业对多晶硅的需求也呈现出不断增长的趋势, 集成电路、太阳能电池、光伏发电等领域对多晶硅的高质量要求推动了相关制备工艺的不断创新。在这一背景下, 对多晶硅制备工艺的深入研究不仅是为了满足市场需求, 更是为了推动整个电子产业链的升级。因此, 深入了解多晶硅制备工艺的技术现状和未来发展趋势, 对于推动电子产业的可持续发展至关重要。

1 多晶硅制备工艺概述

多晶硅制备工艺对半导体产业至关重要, 其品质直接关系到半导体器件的性能和稳定性。常见的多晶硅制备工艺主要包括气相深度还原法和区域熔融法。在气相深度还原法中, 硅源气体通过化学反应, 在高温下与硅片表面发生深度还原, 生成多晶硅, 该方法生产的多晶硅具有较高的纯度和均匀性, 适用于集成电路等高要求领域; 区域熔融法是通过将硅片暴露在高温区域, 使其表面部分熔化形成多晶硅, 这种方法的优势在于能够实现大面积的多晶硅生长, 适用于太阳能电池等大面积电子器件的制备, 区域熔融法的工艺条件相对较温和, 有利于大规模生产。在整个多晶硅制备过程中, 温度、气氛、硅源纯度等因素都对最终产品的质量产生重要影响。因此, 工艺参数的准确控制是确保多晶硅质量的关键^[2]。

随着科技的进步, 一些先进的生产工艺也逐渐应用于多晶硅制备, 例如流态化床反应器和物理法工艺体系。流态化床反应器利用气流将硅源粉末悬浮在反应器内, 使其能够更均匀地与反应气体发生反应, 从而提高生产效率和产物质量。此外, 物理法工艺体系采用的先进晶体生长技术, 如等离子体增强化学气相沉积 (PECVD) 等, 能够精确控制晶体的生长过程, 生产出更高质量的多晶硅。

2 当前多晶硅生产的技术现状

当前多晶硅生产技术在国际范围内呈现出多样化的发展趋势, 各个公司和地区采用不同的工艺路线, 以满足日益增长的电子产业对高质量多晶硅的需求。国际知名公司, 如西门子, 一直在多晶硅制备领域保持领先地位, 西门子采用的制备工艺不断进行改进, 通过优化反应条件、更新设备等手段, 提高了多晶硅的生产效率和产品质量, 使其在市场上具有竞争力。

在国内, 随着电子产业的迅猛发展, 一些公司也在多晶硅制备技术方面取得了显著进展。国内企业通过引入国际先进技术、自主创新等方式, 逐渐提高了多晶硅的制备水平, 包括对反应设备的优化, 工艺参数的精细控制, 以及对原材料质量的更高要求。在技术现状方面, 流态化技术方法逐渐成为多晶硅生产中的关键技术, 通过流态化床反应器等设备, 硅源粉末可以更均匀地与反应气体接触, 从而实现更高的反应效率和产品质量, 这不仅提高了多晶硅的生产效率, 还降低了生产成本, 对于大规模生产具有重要意义。此外, 物理法工艺体系也在多晶硅生产中得到广泛应用, 如等离子体增强化学气相沉积 (PECVD), 可以

实现对晶体生长过程的更精确控制,从而生产出更高质量、更均匀的多晶硅。这种物理法制备的多晶硅通常在电子器件中表现出优越的性能^[3]。

总体而言,当前多晶硅生产技术在不断创新和进步,国际上的知名企业通过不断改进传统工艺,引入先进技术,提高生产效率;国内企业通过自主创新,逐步缩小与国际先进水平的差距;流态化技术和物理法工艺体系的不断发展与应用,为多晶硅制备提供了更多可能性,将推动这一领域朝着更高效、环保、可持续的方向迈进,随着电子产业的不断壮大,多晶硅生产技术的进步将为半导体行业的可持续发展提供有力支持。

3 多晶硅制备工艺发展趋势分析

3.1 西门子工艺的不断改进

西门子作为多晶硅制备领域的重要参与者,一直在不断致力于工艺的改进与创新,其制备工艺的不断优化体现在多个方面,包括反应条件的精细控制、设备的更新升级、原材料的优化选择等,旨在提高多晶硅的生产效率、降低生产成本,并在保证产品质量的同时满足不断增长的市场需求^[4]。首先,西门子通过对反应条件的深入研究和调控,实现了多晶硅制备过程的更加精确控制,优化的反应条件不仅有助于提高反应效率,使得硅源更充分地参与深度还原反应,还能够降低不必要的能耗和资源浪费,不仅提高了生产效率,还有助于降低对环境的影响,符合可持续发展的理念。其次,西门子不断进行设备的更新升级,采用先进的制备设备和技术,包括流态化床反应器等新型设备的引入,使硅源粉末在反应器中更加均匀地悬浮,提高了反应的均匀性和稳定性。通过引入自动化控制系统,实现对生产过程的实时监测和调整,进一步保障了产品的一致性和品质稳定性。另外,西门子在原材料选择方面也进行了深入研究,致力于寻找更优质的硅源材料。选择高纯度的硅源材料对于提高多晶硅的纯度和晶体质量至关重要,通过对原材料的优化选择,西门子可以更好地满足电子产业对于高性能半导体材料的需求,并确保多晶硅在不同领域的应用中都能够发挥最佳性能。此外,西门子对能耗进行了优化,致力于实现更加环保的制备过程。通过改进反应条件、提高设备利用率等手段,降低了生产过程中的能源消耗,减少了对环境的负面影响,这与全球范围内对清洁生产和可持续发展的呼声相一致,体现了企业在追求经济效益的同时对社会和环境负责的责任感。最后,西门子通过与其他领域的合作,如材料科学、先进制造等,不断吸收前沿科技成果,推动多晶硅制备工艺的创新。与其他领域的合作使得西门子能够更全面地理解多晶硅制备的各个环节,并在不同领域的交叉应用中找到新的突破口,这种跨界合作有望带来更多的创新思路和技术突破,推动整个多晶硅制备领域朝着更高水平迈进。总的来说,西门子在多晶硅制备工艺方面的不断改进体现了企业对技术

创新的执着追求和对市场需求的敏锐洞察,通过精细控制反应条件、更新升级设备、优化原材料选择、降低能耗、跨界合作等手段,西门子不仅提高了多晶硅的生产效率和产品质量,也在可持续发展和环保方面贡献了积极力量,同时为多晶硅制备工艺的未来发展指明了方向,提供了更为可靠的高性能半导体材料。

3.2 流态化技术方法的不断完善

流态化技术方法在多晶硅制备领域的发展备受关注,其不断的完善和改进为提高生产效率、降低成本、提高产品质量提供了新的可能性,流态化技术的核心是通过气流将硅源粉末悬浮在反应器中,使其更均匀地与反应气体发生反应,从而实现更高效的多晶硅生长,这一方法在实现大面积生产和提高反应均匀性方面具有独特的优势^[5]。第一,流态化技术的不断完善体现在对反应器结构和设计的优化。通过对反应器内部结构的合理设计,使气流能够更均匀地流过硅源粉末,确保反应过程的均匀性。随着先进制造技术的发展,新型反应器的设计越来越精细,能够更好地满足多晶硅制备的需求,这种结构上的改进有助于提高反应的均匀性,从而提高了多晶硅的生产效率和产品质量。第二,流态化技术的完善还表现在对气氛控制的更为精细化。在多晶硅制备的过程中,反应气氛的控制对于晶体的质量至关重要,通过对反应气氛中各种气体比例和流速的调整,可以更精准地控制反应过程的温度、压力等参数,从而影响晶体的生长速率和晶格结构,流态化技术的不断完善使得气氛控制更为灵活,更加符合多晶硅制备的特定要求。第三,流态化技术在温度控制方面也有了显著的进展。通过先进的加热和冷却系统,反应器内的温度可以更加精确地控制,这对于多晶硅的生长速率和晶体质量的控制至关重要,不仅有助于提高产品的一致性,还可以优化生产过程,降低能源消耗,从而提高生产效率和经济效益。第四,流态化技术方法的不断完善还表现在对反应物料的选择和处理上,通过对硅源粉末的表面处理、粒度控制等手段,可以更好地适应流态化床反应器的要求,提高硅源的活性,进而提高多晶硅的生长速率和质量,这种对反应物料的精细处理对于实现高效流态化反应具有重要的意义。第五,随着流态化技术的不断完善,流态化床反应器的引入使得多晶硅的制备不再受到反应器尺寸的限制,有望实现更大规模的生产,对于满足日益增长的电子产业对多晶硅的需求,特别是在太阳能电池等大面积电子器件制备方面,具有重要的意义。第六,流态化技术的不断完善离不开先进的监测和控制系统的支持。通过引入先进的传感器技术、实时监测系统等,可以对流态化反应过程进行全面监控,并及时调整反应条件,不仅有助于提高生产效率,还可以最大程度地保证多晶硅的一致性和稳定性。总体而言,流态化技术方法的不断完善为多晶硅制备提供了更多的技术手段,通过对反应器结构、气氛控制、

温度控制、反应物料处理等方面的优化, 流态化技术不仅提高了多晶硅的生产效率和产品质量, 还使得制备工艺更加灵活和可控, 为多晶硅在电子产业中的广泛应用提供更为可靠的支持, 推动整个行业朝着更高效、更环保、更可持续的方向迈进。

3.3 物理法工艺体系的不断完善

物理法工艺体系在多晶硅制备领域的不断完善展示了科技创新对材料科学的深刻影响, 为生产高性能半导体材料提供了先进而可行的途径。物理法工艺体系包括一系列先进的晶体生长技术, 如等离子体增强化学气相沉积(PECVD)、物理气相沉积(PVD)等, 使得多晶硅的制备变得更加精密、可控, 为半导体产业的不断发展提供了有力支持。第一, 物理法工艺体系的不断完善体现在对等离子体增强化学气相沉积技术的深入研究。PECVD技术通过在反应气体中引入等离子体, 使得硅源气体更容易沉积在硅片表面, 从而实现了对多晶硅生长过程的更精确控制。随着对等离子体物理特性的深入理解和技术的不断升级, PECVD技术 在多晶硅制备中的应用变得更为高效、稳定, 这种技术的不断完善提高了多晶硅的纯度和均匀性, 满足了电子产业对高性能材料的不断提升的需求。第二, 物理法工艺体系在晶体生长技术方面的不断进步是多晶硅制备的关键。通过引入先进的晶体生长技术, 如液相外延(LPE)等, 实现对多晶硅晶体结构的更精确控制, 使得多晶硅的结晶更为均匀, 缺陷更少, 从而提高了晶体的质量和性能, 物理法工艺体系通过对晶体生长技术的不断改进, 为多晶硅在半导体器件中的应用打下坚实基础。第三, 物理法工艺体系的不断完善还表现在对薄膜技术的深入研究。薄膜技术 在多晶硅制备中的应用广泛, 其中包括涂覆、溅射等多种技术, 通过对薄膜沉积工艺的改进, 物理法工艺体系实现了对多晶硅薄膜的更均匀沉积, 提高了薄膜的质量和稳定性, 这对于半导体器件中对薄膜质量的高要求具有重要意义, 为多晶硅在微电子制造中的应用提供了可靠的技术支持。第四, 物理法工艺体系在工艺参数控制方面也有了显著的进展, 通过先进的监测和控制系统,

实现对反应条件、温度、气氛等参数的实时监测和调整, 不仅有助于提高生产效率, 还确保多晶硅制备过程中的一致性和稳定性, 满足半导体产业对材料质量的高要求。第五, 物理法工艺体系还通过与其他领域的交叉创新, 如纳米技术、光电子学等, 为多晶硅的应用拓展提供了新的思路。通过引入先进的纳米材料和光学技术, 物理法工艺体系为多晶硅在光电子器件、传感器等领域的应用带来了更多可能性, 这种跨界合作将推动多晶硅在不同领域的更广泛应用, 为半导体产业带来新的发展机遇。总体而言, 物理法工艺体系通过对等离子体增强化学气相沉积技术、晶体生长技术、薄膜技术等方面的深入研究和改进, 物理法工艺体系提高了多晶硅的生产效率、产品质量和应用范围, 为半导体产业提供更高性能的材料, 推动电子产业朝着更先进的方向不断发展。

4 结束语

多晶硅制备工艺的不断发展与创新是推动半导体产业前进的重要动力。本文简要概述了多晶硅制备工艺的现状, 并分析了其未来的发展趋势, 其中包括西门子工艺的改进、流态化技术的完善以及物理法工艺体系的进展, 这将为多晶硅制备技术的未来提供有益的启示, 推动相关产业朝着更为环保、高效和可持续的方向发展。

[参考文献]

- [1]王美娟, 慕道炎, 侯海波, 等. 国内多晶硅生产工艺发展探讨[J]. 四川化工, 2023, 26(5): 5-8.
- [2]杨伟强. 太阳能级多晶硅生产工艺研究现状[J]. 中国氯碱, 2023(2): 31-36.
- [3]孙墅娃, 陈波, 王庆江, 等. 多晶硅制备关键设备用ENiCrMo-2焊条抗裂性[J]. 焊接, 2023(5): 18-23.
- [4]杨伟强, 王宁, 李良. 流化床法制备颗粒多晶硅的研究现状[J]. 中国氯碱, 2023(3): 32-37.

作者简介: 宗佰利(1989.8—), 男, 单位名称: 陕西有色天宏瑞科硅材料有限责任公司; 毕业学校: 西北大学。
霍海洋(1993.3—), 男, 单位名称: 陕西有色天宏瑞科硅材料有限责任公司; 毕业学校: 延安大学。