

电子级多晶硅的生产工艺探讨

霍海洋 宗佰利

陕西有色天宏瑞科硅材料有限责任公司, 陕西 榆林 719200

[摘要] 电子级多晶硅是半导体制造中至关重要的材料, 其质量和纯度直接影响半导体器件的性能。文章探讨了电子级多晶硅的生产工艺, 着重分析了多晶硅技术的特殊性及其在我国这一领域的差距, 通过对电子级多晶硅生产工艺的详细讨论, 包括还原技术、提纯技术、耦合生产技术和清洁生产技术等方面的分析, 旨在为提高我国电子级多晶硅生产水平提供参考。

[关键词] 电子级多晶硅; 生产工艺; 还原技术; 提纯技术

DOI: 10.33142/sca.v7i2.11235

中图分类号: TQ426.95

文献标识码: A

Discussion on the Production Process of Electronic Grade Polycrystalline Silicon

HUO Haiyang, ZONG Baili

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

Abstract: Electronic grade polycrystalline silicon is a crucial material in semiconductor manufacturing, and its quality and purity directly affect the performance of semiconductor devices. The article explores the production process of electronic grade polysilicon, with a focus on analyzing the particularity of polysilicon technology and the gap in this field in China. Through a detailed discussion of the production process of electronic grade polysilicon, including reduction technology, purification technology, coupled production technology, and clean production technology, so as to provide reference for improving the production level of electronic grade polysilicon in China.

Keywords: electronic grade polycrystalline silicon; production process; restoration technology; purification technology

引言

电子级多晶硅在半导体制造中具有关键作用, 其质量和纯度直接影响半导体器件性能。随着科技的迅猛发展, 对电子级多晶硅的需求不断增加, 这使得对其生产工艺的研究变得至关重要^[1]。基于此, 本文旨在深入探讨电子级多晶硅的生产工艺, 并分析其在全球范围内的技术特殊性, 以及我国在这一领域的发展状况, 揭示电子级多晶硅生产过程中的关键技术问题, 为未来技术创新和产业升级提供方向, 以期为我国电子级多晶硅产业的可持续发展贡献力量。

1 电子级多晶硅的特殊性

1.1 制备过程的复杂性

电子级多晶硅的特殊性首先体现在其制备过程的极高复杂性。在高温炉中, 多晶硅原料经过熔炼和晶体生长的过程, 需要高度控制的温度、压力和气氛条件。这复杂的过程不仅需要高端的生产设备支持, 还要求生产操作的高度精准性。制备过程的复杂性直接影响到电子级多晶硅的质量和性能, 使其成为半导体产业中不可或缺的关键材料。

1.2 对材料纯度的极高要求

电子级多晶硅的特殊性还在于对材料纯度的极高要求。微小的杂质和非晶相都可能对半导体器件的性能产生负面影响。为了达到这一高标准, 生产过程中采用了一系列高效的提纯技术, 如气相深度还原法、区域熔融法等, 这些技术不仅需要先进的设备, 还需要科学的操作方法,

以确保电子级多晶硅的最终产品具备极高的纯度^[2]。

1.3 晶格结构的复杂性和敏感性

电子级多晶硅的特殊性还表现在其复杂的晶格结构和晶体生长的敏感性上。晶格结构的完整性对电子级多晶硅的性能至关重要。任何微小的变化都可能对晶格结构产生重大影响, 影响最终产品的性能。因此, 在生产过程中需要极为严格的控制, 确保每个晶体都具备规定的晶格结构和无瑕疵的质量, 这对生产工艺和技术水平提出了更高的要求, 增加了电子级多晶硅生产的挑战性。

2 电子级多晶硅生产工艺

2.1 原材料准备

电子级多晶硅的生产工艺始于原材料的准备, 这一步骤对最终产品的质量起着决定性的作用。原材料通常选用高纯度硅砂, 因为硅是半导体工业中最为重要的原材料^[3]。硅砂的获取通常通过矿石提取和多道精炼工序, 以确保在生产初期即达到相对高纯度的状态。首先, 高纯度硅砂的选择直接影响到后续生产过程中杂质的含量, 因此, 生产商通常选择经过严格筛选的硅砂原料, 这些原料要符合一系列国际标准, 确保在制备过程中尽可能减少不必要的杂质引入。其次, 对原材料进行前处理, 包括去除金属杂质、非晶质结构和其他有害成分, 提前处理确保在原材料输入制备过程之前, 其纯度已经得到有效提升, 这些前处理方法可以包括化学浸出、溶解和高温处理等技术手段。最后,

原材料的准备也涉及到粉碎和磨碎过程,旨在将硅砂原料加工成适合后续处理的形态,通常以粉末或颗粒的形式存在,提高原材料在后续气相深度还原法和区域熔融法等工艺中的反应效率。

2.2 气相深度还原法

气相深度还原法是电子级多晶硅生产工艺中一项关键而复杂的提纯技术,它在确保硅材料高纯度方面发挥着关键作用,其核心思想是利用化学反应在气相环境中去除杂质,从而提高硅材料的纯度。首先,该法的开始阶段涉及将高纯度硅砂原料与氢气进行反应,在高温条件下,硅气体与氢气反应生成气相中的六氢化硅,必须在严格控制的气氛环境中进行,确保高度纯净的气氛环境,以防止外部杂质进入反应体系。随后,生成的六氢化硅被导入到另一个反应室中,进行深度还原反应。在这个过程中,六氢化硅分解,硅被还原回到固体状态,而氢气则被释放出来,这对反应条件的控制要求极高,包括温度、气压等参数,以确保反应的高效进行,同时最大限度地去除杂质。另外,气相深度还原法的关键在于反应温度。过高或过低的温度都可能导致不完全的反应,影响产物的纯度。因此,生产中需要细致地调控反应温度,在保证高效反应的同时,避免不必要的能量浪费。最终,通过气相深度还原法得到的硅材料具有极高的纯度,适用于半导体行业的高要求,并使得电子级多晶硅能够在半导体制造中发挥出色的性能,推动了现代电子技术的发展。

2.3 区域熔融法

区域熔融法是电子级多晶硅生产工艺中的重要步骤,它采用高温区域熔融的方式,通过晶体的生长来制备高质量的电子级多晶硅。首先,原料经过前期处理和提纯步骤,以确保原材料的高度纯净,这些高纯度的硅原料被置于石墨坩埚或其他合适的容器中,并通过加热至高温状态,使硅原料熔化,通常需要精确的温度控制,以确保硅原料在液态状态下,而不产生非晶质结构或杂质。其次,在硅原料熔化的状态下,通过引入适当的种子晶体,可以启动晶体生长过程,这个种子晶体通常是高纯度的硅晶体,作为起始点,帮助形成均匀、有序的晶格结构,在区域熔融法中,温度梯度和其他参数得到仔细控制,以促使硅原料沿着种子晶体逐渐结晶,形成高质量的电子级多晶硅。最后,精密控制晶体生长过程是关键的,以确保最终产物具有一致的结晶结构和高度纯净度,即便微小的变化也可能导致晶格缺陷或杂质引入,对半导体器件性能产生负面影响^[4]。

2.4 晶体生长

晶体生长是电子级多晶硅生产工艺中的关键步骤,其质量和均匀性直接影响到最终电子级多晶硅产品的性能,旨在通过精密的温度和压力控制,使硅原料逐渐形成具有良好晶格结构的大型晶体。首先,在晶体生长的初始阶段,高纯度的硅原料被熔化,形成液态硅,这通常置于石墨坩

埚或其他合适的容器中,并通过高温加热实现。其次,引入种子晶体作为起始点,通过逐渐降低温度的方式启动晶体生长,这个种子晶体通常是高纯度的硅晶体,起到模板的作用,帮助形成均匀、有序的晶格结构,晶体生长过程需要细致的温度梯度控制,以确保硅原料沿着种子晶体逐渐结晶,形成单晶或大晶粒的电子级多晶硅。再次,在整个晶体生长的过程中,维持均匀的温度分布非常重要,以避免晶格缺陷的产生。此外,还需要对气氛环境进行严格控制,以减少杂质的引入,这涉及到高度精密的生产设备和自动控制系统,确保晶体生长过程中的各项参数处于理想状态。最后,晶体生长完成后,通过适当的冷却和固化过程,形成具有高度纯净、均匀结构的电子级多晶硅,该产物可用于制备半导体器件,其高质量的晶体结构和低杂质含量使其成为半导体工业的关键原材料。

3 电子级多晶硅生产技术分析

3.1 还原技术

还原技术在电子级多晶硅生产中扮演着至关重要的角色,主要通过还原反应去除硅原料中的杂质,提高硅的纯度。气相深度还原法是其中一项主要的还原技术。在这个过程中,高纯度硅原料首先与氢气反应,形成六氢化硅,然后通过深度还原反应,将六氢化硅分解为硅和氢气,这一过程在高温、高真空的条件下进行,确保反应的高效性和杂质的有效去除。另一项重要的还原技术是区域熔融法。在这个工艺中,硅原料被加热至熔化状态,随后通过引入适当的种子晶体,利用高温区域的熔融,使硅逐渐结晶。在这个过程中,硅原料中的杂质分布均匀,并随着晶体生长逐渐被排除,从而提高了硅的纯度。这两种还原技术均注重对反应条件的精密控制,包括温度、气氛和反应时间等参数,并确保反应的高效进行,杂质在还原过程中得以充分去除,从而保证最终产物的高纯度^[5]。在电子级多晶硅生产中,还原技术的选择不仅与纯度要求有关,还与生产效率和成本等因素密切相关。气相深度还原法适用于小规模、高纯度的生产,而区域熔融法则更适用于大规模硅晶体的生产,这有助于在不同需求下达到最佳的生产效果。

3.2 提纯技术

提纯技术在电子级多晶硅生产中是至关重要的步骤,其主要目标是进一步降低硅原料中的杂质含量,确保最终产品达到半导体工业对极高纯度要求。气相深度还原法通过将硅原料在高温气相环境中反应,有效去除杂质,尤其是氧化物和金属杂质。这个过程要求极高的反应温度和精密的气氛控制,以确保提纯效果;区域熔融法通过逐渐降低温度、控制晶体生长速率,可以使杂质在晶格中有序排列,从而提高硅的纯度。通过合适的种子晶体和精密的温度梯度控制,确保硅原料在晶体生长的过程中,杂质能够逐渐被排除,形成高质量的电子级多晶硅。此外,区域熔融法中还涉及凝固和冷却过程,通过适当的冷却速率和温

度控制,可以防止晶格缺陷的形成,保障晶体的高度纯净度。最后,提纯技术还牵涉到晶体生长的关键环节,通过优化晶体生长的条件,如温度、压力和种子晶体的选择,可以确保硅原料在晶体生长的过程中维持高纯度,从而形成具有良好结晶质量的电子级多晶硅。总体而言,提纯技术在电子级多晶硅生产中是一个综合而关键的过程,通过对气相深度还原法和区域熔融法等技术的协同运用,实现对硅原料的高效提纯,为半导体工业提供了高品质的原材料,推动着先进电子技术的不断发展。

3.3 耦合生产技术

耦合生产技术在电子级多晶硅制备中是一项复杂而关键的步骤,它将多个生产技术有机结合,以确保最终产品在纯度、晶体结构和均匀性等方面达到高标准。这种综合技术的应用在提高生产效率和优化生产成本的同时,确保了电子级多晶硅的卓越品质。首先,耦合生产技术同样涉及到气相深度还原法和区域熔融法的有机结合。气相深度还原法通过高温气相环境,去除硅原料中的杂质,特别是氧化物和金属杂质。而区域熔融法则在高温熔融状态下,通过晶体生长的方式进一步提高硅的纯度,这两种技术的有机耦合,使得杂质在不同的阶段得到有效去除,为后续的步骤奠定基础。其次,耦合生产技术还包括了提纯技术的综合运用。在提纯阶段,通过对气相深度还原法和区域熔融法中的反应条件进行优化,进一步提高了硅原料的纯度,包括反应温度、气氛控制等参数的细致调整,以确保提纯效果最大化。此外,耦合生产技术还注重晶体生长过程的优化。通过合理设计晶体生长的条件,如温度梯度、种子晶体的选择等,使得硅原料在晶体生长的过程中更加有序,有效排除杂质,提高晶体的均匀性和结晶质量。最后,综合考虑耦合生产技术对于设备和工艺,包括高温反应器、真空系统、自动控制系统等设备的协同工作,确保整个生产过程的高效稳定运行。综合而言,耦合生产技术在电子级多晶硅生产中是一项综合性的技术体系,通过有机整合气相深度还原法、区域熔融法和提纯技术等多个关键步骤,确保了电子级多晶硅的高纯度和高质量,为半导体制造提供了可靠的原材料基础,推动着现代电子技术的不断发展。

3.4 清洁生产技术

清洁生产技术在电子级多晶硅制备中是一项关键而前瞻性的技术,旨在最大程度地减少生产过程中对环境的影响,提高资源利用效率,同时确保产品的高质量,这一

技术注重整个生产链的可持续性,从原材料采集到最终产品的制备,都着眼于减少能源消耗、废物排放和对环境的负面影响。首先,在清洁生产技术中,关键的一步是绿色原料选择。通过选择可再生、环保的原材料,降低生产过程对自然资源的依赖,减少对生态系统的破坏。此外,优选低碳排放的生产工艺,采用清洁能源,如太阳能和风能,降低生产过程的碳足迹,实现对气候变化的积极响应。其次,清洁生产技术还强调资源回收与再利用,在电子级多晶硅制备中,废料的合理回收和再利用对于减少环境负担至关重要,通过建立高效的废物处理系统,将废弃物转化为可再利用的原材料,不仅减少对自然资源的依赖,还降低了对环境的污染。最后,清洁生产技术关注生产过程中的能源利用效率。通过引入先进的节能技术、优化生产流程,以及采用高效设备,可以降低生产过程中的能源消耗,提高生产效率的同时,减少对非可再生能源的依赖,实现对环境的双重保护。总体而言,清洁生产技术在电子级多晶硅生产中是一项全面而重要的技术,通过绿色原料选择、资源回收与再利用、能源利用效率提升以及排放物控制等多方面的手段,实现对环境友好的生产方式。

4 结束语

多晶硅技术的特殊性不仅表现在其复杂的制备过程,还体现在对材料纯度和晶格结构的极高要求。本文总结电子级多晶硅的生产工艺探讨,强调我国在这一领域的发展方向和提升空间,鼓励进一步加强科研力量,提高生产技术水平,促进电子级多晶硅产业的可持续发展。

[参考文献]

- [1]赵云,陈辉.电子级硅料清洗质量影响因素分析[J].绿色矿冶,2023,39(6):49-52.
- [2]袁庆波,马启坤,任玫阳.电子级多晶硅除硼工艺研究及应用[J].云南冶金,2023,52(1):158-161.
- [3]闫可欣,姜洪涛,高维群,等.电子级多晶硅原料中痕量硼磷杂质的脱除研究进展[J].化工学报,2010(1):1-24.
- [4]杜斌功,刘虎.电子级多晶硅清洗工艺探讨[J].山西化工,2023,43(7):61-63.
- [5]潘文杰,马彦春.电子级多晶硅的清洗液选择[J].清洗世界,2023,39(4):28-30.

作者简介: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;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。