

纳米气泡浮选技术与混凝工艺经济有效地处理化学机械抛光废水 - ScienceDirect

 sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586607003140



抽象的

通过实验室和中试规模的实验，研究了纳米气泡浮选技术（NBFT）与混凝/絮凝工艺强化处理化学机械抛光（CMP）废水的可行性。作为前驱体，使用实验室规模的浮选反应器确定了活化剂/捕收剂的有效组合。结果表明，聚合氯化铝（PAC）/油酸钠（NaOI）分别是最佳的活化剂/捕收剂组合，其应用于混凝工艺的NBFT中，与传统混凝/絮凝工艺相比，废水澄清效率提高40%。在中试规模浮选实验中观察到超过 95% 的浊度、总固体和总二氧化硅去除效率。结果发现，混凝工艺的NBFT在最佳PAC浓度为50-60 mg/L（以Al计）、NaOI浓度为5-10 mg/L、循环比为10-20的情况% 和 1 小时水力停留时间 HRT。成本和绩效评估表明，使用本方法可以以最低成本有效处理 CMP 废水。

介绍

半导体产业是台湾制造业最重要的组成部分之一。化学机械抛光（CMP）工艺是半导体制造工艺的重要工序，通常被用作集成电路（IC）制造微芯片的平坦化技术[1]。它需要大量的超纯水（约40%）来去除晶圆表面的废弃CMP浆料和小颗粒，从而产生大约等量的废水[2]、[3]。由于严格的废水处理环境法规，废水管理已成为行业中的一个重要问题。一般来说，CMP废水含有5%~10%的纳米颗粒（如 SiO_2 、 CeO_2 或 Al_2O_3 ）、氧化剂（如 H_2O_2 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 CuSO_4 、 KIO_3 等）、pH缓冲剂（如KOH、 NH_4OH 等）和表面活性剂[4]、[5]、[6]。CMP废水因其固含量高、浑浊度高、碱度高而受到人们的重视。许多研究人员强调应用常规处理方法，包括混凝/絮凝[1]、气浮[7]、电沉/电凝[6]、[8]、微滤/超滤[9]和电滤/电渗析[2]来治疗CMP废水。其中，台湾大部分半导体制造厂均采用混凝/絮凝法。它需要大量的混凝剂/化学品，同时需要较高的运行成本。此外，混凝产生的高含水污泥在处置前需要引起高度重视[10]。因此，开发合适且经济可行、固液分离效率更高的处理技术对于减少上述问题具有重要意义。

浮选是一种从废水中分离污染物的物理化学方法，具有操作快速、空间要求低、应用灵活和成本适中等独特优点[11]，[12]。尽管气浮有不同的类型，但溶气气浮（DAF）在水和废水处理中的应用已有 30 多年的历史 [10]、[13]。在 DAF 中，气泡的尺寸和数量被视为重要的操作参数。通常，有效的分离过程需要微气泡（小于 100 μm ），因为它们与颗粒的碰撞率很高[14]、[15]。颗粒和气泡之间的电荷相互作用对于颗粒与气泡的附着非常重要。当颗粒的 zeta 电位为零时，实现最大浮选速率。这可以通过添加合适的混凝剂（即活化剂）和表面活性剂（即捕收剂）来实现[14]、[16]。许多研究报道，表面活性剂通过减小 DAF 中的气泡尺寸来提高集体效率 [12]、[17]。虽然DAF技术在许多市政和工业处理装置中取得

了令人满意的处理效果，但很少有研究人员专门研究与优化总絮凝物分离有关的混凝/絮凝过程[13]。许多研究人员报告说，小气泡在层流条件下以刚性球体形式上升并遵循笔画定律，而较大的气泡则具有较高的上升速度，并以椭球体（1-10 mm）或球帽（>10 mm）形式存在[14]。因此，典型 DAF 系统中的气泡尺寸保持在 40 μm 左右[18]、[19]、[20]。通常，将一部分加压循环水注入浮选槽中，以增加气泡体积和气泡数浓度。据报道，较小的气泡尺寸会增加回收体积中气泡浓度的数量，并相应地有助于提高处理效率[14]。然而，没有研究人员尝试研究纳米气泡的使用及其在浮选系统中的性能。

在本研究中，我们特别关注通过实验室和中试规模的实验来测试混凝/絮凝工艺的 NBFT 强化处理 CMP 废水的可行性。滞留时间、溢流率、循环比和饱和器压力等设计参数是浮选系统中的重要参数。为了应对这样的多参数系统，已经使用了实验的统计设计，例如用于筛选重要参数的因子设计[21]、[22]、[23]。因此，本研究采用二阶中心组合设计来研究混凝剂/絮凝剂剂量和 pH 值对除浊度的影响。

章节片段

化学品

用于混凝/絮凝的三种活化剂，即硫酸铝($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)、三氯化铁(FeCl_3)和聚氯化铝(PAC)以及两种捕收剂，即十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)和油酸钠(NaOI)工艺均购自当地市场。用于化学分析的其他试剂均为 HPLC 级。实验中使用的所有玻璃器皿在每次实验前均用蒸馏水清洗并在 110 $^\circ\text{C}$ 下干燥。

化学机械研磨废水

浓缩后的 CMP 废水为

选择有效的活化剂/捕收剂组合

作为研究的初始阶段，使用实验室规模的浮选反应器在不同的活化剂和捕收剂组合下进行了 24 项实验。CMP 废水的初始 pH 值为 9.4 ± 0.1 ，并且在整个实验过程中不控制系统的 pH 值。选择除浊度来评价处理效果。结果表明，与其他组合相比， $\text{FeCl}_3/\text{NaOI}$ 、 PAC/NaOI 和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CTAB}$ 组合在去除浊度方面更有效。

结论

使用实验室和中试规模的浮选反应器研究了 CMP 废水处理的成本效益。混凝工艺的 NBFT 在 PAC 浓度为 50–60 mg/L（以 Al 计）、NaOI 浓度为 5–10 mg/L、回收率为 10–20%、HRT 1 h 的条件下有效运行。使用 PAC 作为活化剂时，无需任何 pH 调节即可处理 CMP 废水。具有混凝工艺的 NBFT 所需的操作成本和化学品成本为

致谢

作者感谢中华民国台湾环境保护局（根据赠款 EPA-92-E1U4-04-003 和 EPA-93-U1U4-04-003）对这项工作的财政支持。

Cited by (76)

- **Efficient purification of graphite industry wastewater by a combined neutralization-coagulation-flocculation process strategy: Performance of flocculant combinations and defluoridation mechanism**

2023, Separation and Purification Technology

- **Effects of micro-/nanobubble on membrane antifouling performance and the mechanism insights**

2022, Journal of Cleaner Production

- **Functionalized boron nitride ceramic nanofiltration membranes for semiconductor wastewater treatment**

2022, Separation and Purification Technology

- **Separation of emulsified crude oil from produced water by gas flotation: A review**

2022, Science of the Total Environment

Citation Excerpt :

Basic research and applications of nanobubbles (NBs) are a growing area of research, including their applications in flotation (Calgaroto et al., 2014). In the early 21st century, nanobubbles were widely studied and applied to gas flotation to improve the flotation efficiency of mineral particles (Fan et al., 2010a, 2010b, 2013; Schubert, 2005; Tsai et al., 2007). In recent years, some scholars have begun to use DGF to generate NBs and apply them to remove oil droplets from water (Etchepare et al., 2017; Oliveira et al., 2017).

- **Microalgae removal technology for the cold source of nuclear power plant: A review**

2022, Marine Pollution Bulletin

Citation Excerpt :

The combination of these two methods increased the wastewater clarification efficiency by 40 %, and the removal efficiency of turbidity and total solid matter was about 95 %. Additionally, its cost was significantly lower than the traditional single technology (Temesgen et al., 2017; Tsai et al., 2007), but the use of flocculants will bring secondary pollution. On the contrary, the electrochemical removal method is based on chemical flocculation without precipitation and physical flotation.

- **Investigation of fluoride and silica removal from semiconductor wastewaters with a clean coagulation-ultrafiltration process**

2022, Chemical Engineering Journal

Citation Excerpt :

In industrial application, the total cost would be significantly reduced as energy cost and investment cost decreased with increased processing capacity. Currently, precipitation-coagulation-flocculation [5,17,19,45,46], electrocoagulation [54,55], ion-exchange [56], membrane [10,57] and adsorption [58] have been widely applied for fluoride-containing wastewater and CMP wastewater treatment. Precipitation was the significant treatment technology for fluoride-containing wastewater [8].

➤ [查看 Scopus 上的所有施引文章 ↗](#)