

等离子体刻蚀工艺的优化研究

王晓光¹ 朱晓明² 尹延昭¹

(1、中国电子科技集团公司第四十九研究所 芯片与微系统工程中心,黑龙江 哈尔滨 150001 2、黑龙江工程大学,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:本文基于对硅的等离子体刻蚀(RIE)工艺参数的研究,得出了刻蚀速率与射频功率、刻蚀气体压强和刻蚀气体流量之间的关系曲线,优化了刻蚀硅的工艺条件。通过台阶仪的测量,实验结果表明优化工艺条件下的硅化物的刻蚀具有较高的刻蚀速率和较高的选择比。

关键词:等离子体;干法刻蚀;刻蚀速率;均匀性

前言

干法刻蚀技术是一个非常广泛的概念。所有不涉及化学腐蚀液体的刻蚀技术或者材料加工技术都是干法,刻蚀则代表材料的加工是从表面通过逐层剥离的方法形成事先设计的图形或结构。在所有的干法加工技术中,等离子体刻蚀(reactive ion etching, RIE)技术是应用最广泛的,也是微纳加工能力最强的技术。它是在等离子体中发生的,等离子体是在电场作用下产生的。对气体通电,使气体被电离,随着气体分子的大量电离,气体有最初的绝缘状态变为导电状态,有电流通过,形成电场。同时空间的自由电子也会不断与气体离子碰撞复合,恢复为气体原子。最终电离与复合达到平衡态,在空间形成等离子体。气体离子恢复到原子态会以光子形式释放能量,产生辉光,所以产生等离子体的过程又称为辉光放电过程。

如上所述,等离子体刻蚀过程是一个非常复杂的物理与化学过程,有多种可调控的参数,例如气体流量、压力和放电功率等。每一个参数都会在某种程度上影响最后的刻蚀结果。一次成功的刻蚀取决于如何调整上述参数以实现所需要的抗蚀比、刻蚀速率和均匀性。

1 实验方案

本实验利用等离子体干法刻蚀机对硅的氧化物进行刻蚀,以 TEGAL 903 型刻蚀机为实验平台,刻蚀机参数变化范围如表 1 所示,以 He、SF₆、CHF₃ 作为刻蚀气体进行了刻蚀实验,实验目的是研究射频功率 W、自偏压 V 和气体流量等参数对刻蚀速率的影响,验证刻蚀结果的好坏主要考察选择比(抗蚀比)、刻蚀速率和均匀性。我们以加工相应的二氧化硅、氮化硅和正负胶片的样片来进行实验。

表 1 设备稳定运行工艺参数变化范围

Pressure	CHF ₃	He	SF ₆	Power
2000~2500	20~60	130~150	3~9	300~500

2 实验结果分析

2.1 气体流量

被刻蚀材料表面的原子与反应气体离子或自由基相互反应生成气体产物是反应离子刻蚀的主导过程,因此刻蚀速率直接与反应气体供给的速率有关。在压强不变的条件下,流速太快将导致反应气体分子在反应室停留时间缩短,

因为维持压强不变意味着必须增加抽气速度。如果等离子体放电功率不变,则能够产生的反应气体活性离子减少,导致刻蚀速率下降。反之,如果流速太低,被消耗掉的反应气体得不到及时供给,也会导致刻蚀速率降低。

2.1.1 改变 CHF₃ 流量

在其他条件不变的情况下,只对 CHF₃ 进行更改,结果表明随着 CHF₃ 流量的增加,刻蚀速率呈现先升高后下降的走势,但对刻蚀均匀性的影响不大,基本都维持在 2% 至 4% 之间。

2.1.2 改变 SF₆ 流量

随着 SF₆ 流量的增加,刻蚀速率升高,刻蚀均匀性变差。均匀性变差是因为 SF₆ 流量增加,边缘的刻蚀速率变慢。

2.1.3 改变 He 流量

随着 He 流量增加,刻蚀速率逐渐下降,但变化不是很大,刻蚀均匀性变化不大。这说明尽管卤素气体化合物是等离子体刻蚀的主要气体,但实验发现在卤素气体中加入少量非卤素气体如氧气或者氮气会在不同程度或不同方面改进刻蚀效果,如增加刻蚀速率或提高、维持较好的均匀性。

2.2 压力

等离子体刻蚀一般都工作在低气压条件下。在低气压下,气体分子密度降低,电子自由度增加,因而电子在每两次碰撞之间的加速度能量增加,使电离几率增加。低气压的另一个好处是离子之间、离子与原子之间碰撞减少,离子对材料表面刻蚀的方向性改善,即横向刻蚀降低,使刻蚀的各向异性增强。低气压也有利于挥发性产物迅速离开刻蚀表面,增加反应速率,从而增加刻蚀速率。在低气压条件下,化学活性分子数目降低,离子能量增加,使离子轰击刻蚀占主导地位。反之则化学活性分子数目增加,化学反应刻蚀占主导地位,刻蚀趋于各向同性。但如果气压太低,辉光放电无法维持。随着气压降低,气体分子数目减少,空间离子数目也降低,同样导致刻蚀速率的降低。因此反应离子刻蚀存在一个最佳工作气压,在这一气压可获得最高的刻蚀速率。

在其他条件不变的情况下,只对压力进行拉偏实验,随着压力升高,刻蚀速率下降,刻蚀均匀性先后好差。压力对均匀性产生的这种影响是因为,压力低时,刻蚀速率中间快边缘慢,压力高时,刻蚀速率中间慢边缘快。

2.3 功率

输入的放电功率增加将导致电子能量增加,使电离几率增加,所以增加放电功率一般会增加刻蚀速率。增加放电功率使刻蚀速率增加的另一机理是离子对阴极表面即样品材料表面的轰击增加,因为阴极区的电场是由放电空间电子积累产生的,是对离子加速的电场。电离几率越高,空间电子越多,阴极区的负电场就越强。离子轰击不但可以增加刻蚀速率,而且可以增强刻蚀的各向异性,因为离子垂直轰击样品表面,几乎没有横向刻蚀效果。但由于离子轰击过程是物理溅射,对掩模材料和被刻蚀样品没有选择,因此离子轰击会增加掩模损失,降低掩模的抗刻蚀比。

在其他条件不变的情况下,只对功率进行拉偏实验,结果显示功率增加,刻蚀速率中间增加比边缘快,均匀性先变差后变好,总刻蚀速率增加。

通过上述实验结果的分析,最终确定出优化方案为:SF₆=6、He=130、CHF₃=40;PRESS=2000MT;RF=500。通过对二氧化硅、氮化硅和正负胶的刻蚀速率的比对,测试出优化后的对胶的选择比均大于 3:1,符合正常的工艺要求。

3 结论

作为干法刻蚀手段的一种,等离子体刻蚀诞生于 20 世纪 70 年代,距今已有几十年的历史。在这几十年里,不断有新的刻蚀方法涌现,但等离子体刻蚀并没有因此而退出历史的舞台,基于它具有良好的刻蚀性能,且对金属和介质都能实现刻蚀,等离子体刻蚀仍然广泛地应用于半导体工业和微细加工领域。

本文通过对等离子体刻蚀机理和工艺的研究,从实验室和科研应用的角度,提出了一种等离子体刻蚀机的优化方案,该优化方法可以实现较高的刻蚀速率和较好的刻蚀均匀性,具有良好的性价比。

参考文献

- [1]Chen K S, Ayón Arturo A, Zhang Xin, et al. Effect of process parameters on the surface morphology and mechanical performance of silicon structures after deep reactive ion etching (DRIE)[J]. Journal of Micro-Electromechanical Systems, 2002, 11(3): 264-274.

性造成的误差,使保护上下级配合更加可靠,避免越级跳闸等现象。

传统开关柜保护、控制是通过电磁继电器触点组合来实现的,接线、接点较多,继电器机械可动部分,机械调节部分较多,功能简单,体积庞大,故障率高,抗展能力差,调试维护工作量大。

智能开关柜保护、控制功能是通过程序实现的,可实现复杂的保护控制功能,可在线用笔

记本电脑或通过主站后台计算机维护调整,维护调整工作量少,甚至免维护。

智能开关柜的智能监控模块通过标准计算机接口与总控制室实现通讯,消除了传统的总控方式中因柜体与控制室之间线缆太多造成故障隐患,降低了投资,安装工艺更简单,维修工作量大大降低。

智能化开关柜各智能保护、控制模块,通过其自身的标准计算机接口和内里丰富的通讯规

约与主站配合实现三遥,为变电所实施无人值守,降低运行成本创造了条件。

4 结束语

随着智能化开关柜在变配电系统的可靠、经济、安全运行,其越来越受到业内人士的关注,在各种变电站建设中,得到日益推广。

参考文献

- [1]黄睿,张波,张继承.变电站 10kV 开关柜动因素探讨[J].四川电力技术,2007-12-20.