

向 65 nm 工艺提升中的半导体清洗技术

童志义

(中国电子科技集团公司第四十五研究所, 北京东燕郊 101601)

摘要: 由于器件尺寸由 90 nm 技术节点向 65 nm 节点的缩进, 在前道工艺的湿法清洗中去除 0.1 μm 及更小尺寸的污染粒子正在成为一种新的技术挑战。评价了在向 65 nm 技术节点的迈进中, 器件的新结构、新材料对于清洗设备提出的各种技术挑战及应对无损伤和抑制腐蚀损伤的清洗技术。指出了单片式清洗技术的应用前景及干法清洗与湿法清洗技术共存的可能性。

关键词: 污染控制; 圆片清洗; 单圆片清洗; 低 k 材料; 高深宽比结构; CMP 后清洗; 干法清洗

中图分类号: TN305.97 文献标识码: A 文章编号: 1004-4507(2005)07-0015-03

Semiconductor Cleaning Technology for Rising to 65 nm Node

TONG Zhi-yi

(The 45th Research Institute of CETC, Beijing East Yanjiao, 101601 China)

Abstract: As the IC devices size reduce from 90 nm to the 65 nm node generations, it is becoming a new challenge to remove the particles 0.1 μm or smaller in FEOL. In this paper, the Various technology challenges and cleaning technologies against damage-free and restrain corrosion damage for cleaning equipment used in the 65 nm device generations new structures and materials was evaluated. And finally, the apply prospect of single-wafer cleaning and the probability both for drying cleaning and wet processing coexist were pointed out.

Keywords: Particle Management; Wafer cleaning; Single-wafer cleaning; Low- k Insulators; High Aspect Ratios; Post-CMP Cleaning; Drying cleaning

随着半导体器件制造工艺的不断提升, 全球已经迎来了 90 nm 工艺、 ϕ 300 mm 圆片大生产时代。在 ϕ 300 mm 圆片、90 nm 铜工艺的技术驱动下, 2004 年全球半导体设备市场比 2003 年增长了 67.1%, 达 370.8 亿美元。其中半导体清洗设备市场比 2003 年增长 61.2%, 达 16.73 亿美元。单片式清

洗设备市场的份额正在快速增大, 预计到 2008 年将达整个湿法清洗设备市场的 40%, 达 6.3 亿美元。

半导体清洗工艺主要是去除硅片上的粒子和金属污染、有机物、在刻蚀、布线工序中的抗蚀剂去胶, 去除化合物以及 CMP 后的清洗。

收稿日期: 2005-06-25

作者简介: 童志义 (1952-), 男, 甘肃平凉人, 高级工程师, 现主要从事半导体设备技术信息研究及管理工作。

向下一代 65 nm 技术节点迈进中,新结构、新材料对于清洗设备不断提出了新的挑战。对硅片表面各种污染物的控制提出了更高的要求,根据国际半导体技术发展路线图(ITRS)要求,当半导体器件从 90 nm 工艺提升到 65 nm 工艺时,必须将清洗过程单晶硅和氧化硅的损失量从 0.1 nm 减小到 0.05 nm(表 1)。这样便对新一代清洗设备提出了采用无损伤和抑制腐蚀损伤的新要求。其中利用药液循环过滤来提高清洗效率,提供快速供给、回收和各种溶液,在一个槽内将多种药液完全置换的单槽式设备,在氮气环境自然抑制氧化膜产生的设备正在成为发展方向。同时,针对单片式清洗设备中超声波清洗所出现的微细化栅图形倒塌和缺陷的问题,新型的仅采用纯水清洗的无损伤喷雾式清洗技术正在受到众多厂家的青睐。为避免湿法清洗后干燥工艺的缺陷,无溶液的干法清洗技术正在开发中。

表 1 硅片表面各种污染物的控制要求(ITRS 2003)

生产年代	技术节点/ nm	DRAM1/2 节距/nm	硅片直径/ mm	颗粒直径/ nm	颗粒数量/ 枚
2003		100	300	50	59
2004	90	90	300	45	75
2005		80	300	40	97
2006		70	300	35	64
2007	65	65	300	32.5	80
2008		57	300	28.5	54
2009		50	300	25	68
2010	45	45	300	22.5	86
2012		35	450	17.5	155
2013	32	32	450	16	195
2015		25	450	12.5	155
2016	33	22	450	11	106
2018		18	450	9	168

1 单圆片清洗技术

随着 ϕ 300 mm 圆片和 90 nm 工艺时期的到来,传统的批处理清洗技术在诸多工艺因素的驱动下已难以适应湿法清洗,制造工艺过程需要引入新型清洗工艺,以确保重要的器件规格、性能以及可

靠性不会因污染的影响而下降。此外,湿法批处理技术也无法满足如快速热处理(RTP)等工艺的关键扩散和 CVD 技术。

驱使清洗设备向单片式发展的主要因素有:

- (1)降低大圆片批处理中成品率损失的风险;
- (2)批处理中工艺中硅片传递的交叉污染;
- (3)硅片的背面、斜面、边缘清洗要求;
- (4)在金属高 k 材料的清洗中,抑制新药液和材料产生的交叉污染;
- (5)减少薄膜材料的损失;
- (6)铜 CMP 后的刷洗;
- (7)适用于多品种小批量产品。

为满足上述要求,单圆片清洗技术得到了半导体业界更多的认同,众多的晶圆代工和 IDM 企业都逐步倾向于单圆片湿法清洗技术,以降低批处理清洗中交叉污染的风险。然而,向单圆片清洗技术转移的最大难题便是单圆片清洗的生产效率必须

与批处理清洗技术相匹配,每小时应具备 150~200 只圆片的产能。此外,单圆片清洗技术还必须能适应新的技术标准,与新材料和工艺过程兼容,从而降低用户的设备使用成本。

2 单圆片清洗技术的应用

在半导体的前道工艺和后道工艺中,圆片需要经过多次的清洗工序,清洗的次数取决于圆片的设计和互连的层数。此外,由于清洗工艺过程不仅要去除圆片表面的光刻胶,同时还必须去除复杂的刻蚀残渣、金属粒子以及其它污染物,因此需要更新、更精细的化学品,而这些工艺过程和化学品必须与铜/低 k 材料和其它新材料相兼容。

在单圆片清洗的同时也为整个制造周期提供了实现更好工艺控制的机会,改善了圆片内及片间的均一性,提高了成品率。圆片的大直径化和器件尺寸的进一步缩小均加快了半导体制造工艺对单圆片湿法清洗技术的应用,从而减少了苛刻的清洗工艺中的交叉污染,显著地提高了清洗的质量和成品率。而且单圆片清洗技术也更适用于向铜/低 k 材

料的过渡。虽然在前道工艺的清洗中,特别是氮化物和氧化物的去除,抗蚀剂去胶以及高 k 材料的应用等方面,批处理清洗技术仍然占主流。但背面清洗则以单圆片清洗为主,这在后道清洗市场中占50%的份额。随着整个半导体行业向65 nm节点的过渡和单圆片清洗设备的占用成本的进一步改进,逻辑器件制造商均期望在前道工艺中利用单圆片清洗技术,而在不久的将来存储器芯片供应商也将利用单圆片清洗方式。

3 低 k 材料的挑战

对于45 nm工艺来说,最大的挑战在于抗蚀剂的去除和多孔低 k 材料的清洗。与高 k 电介质和金属栅极的清洗不同,低 k 介质的清洗变得十分复杂和困难,例如在后道工序中,在保证不腐蚀铜引线和不改变低 k 材料的介电常数的前题下,有效去除抗蚀剂。由于低 k 材料在清洗中,其表面会形成一些OH键,使介电常数明显升高。这是因为如果低 k 材料被损伤后进行溶液清洗时,它会与水反应形成SiOH键,使介电常数变得非常高,致使低 k 材料变成了高 k 材料,而且在后续的溶液清洗中很容易受到进一步的损伤。

在低 k 材料中,甲基和硅原子之间的化学键最弱,同时又是维护低介电常数所必须的。如果受到任何外界能量的作用,其化学键极易受破坏。因此必须对其进行保护。可选用的低 k 材料清洗方法有:

(1)采用氧等离子体,但要在室温或低于室温的环境下去除,以防止甲基的快速损耗。同时在抗蚀刻去除时应加强离子的轰击作用,利用其各向异性特性保护低 k 膜,防止侧壁低 k 材料受到离子轰击。通常部份反射粒子对侧壁的损伤程度约为10 nm,与传统方法相比有了明显改善。

(2)采用氢原子或质子进行抗蚀剂去除,虽然效果不是最佳,但氢原子或质子对低 k 电介质之间的反应程度很低。此方法也会造成20~30 nm的损伤。

(3)Axcelis公司正在尝试用热分解的办法去除抗蚀剂。将抗蚀剂加热到分解温度,然后将它暴露在活化氢环境中。据说该方法不会造成任何低 k 材料的损伤。

4 高堆叠式和深沟槽式结构的清洗

无论是高堆叠式还是深沟槽式的高深宽比结构都是清洗的难题。例如堆叠式电容是又高又窄的结构,清洗过程中该结构很容易被破坏和损伤。又如深沟槽结构,包括深沟槽式电容或嵌入式结构,清洗时清洗液和漂洗去离子水很难进入结构底部,或者很难被清洗出来。高堆叠式和深沟槽式结构清洗后的干燥过程也是很关键的问题。必须将液体从深沟槽结构中除掉,而且不留任何水印。干燥时又深又窄的结构很容易互相粘在一起,因此在干燥过程中防止发生粘接现象十分重要。

在45 nm以下工艺的前道工艺中,器件结构将会出现垂直晶体管等新的结构,例如,薄膜场效应晶体管。在现有的工艺中,关键区域仅清洗一次或两次,而垂直晶体管的关键区域则需多次清洗,通过多次清洗的方法减轻每次清洗的强度,使结构损伤变得更小。

对于45 nm工艺,最大的挑战在于抗蚀剂去除和多孔低 k 材料的清洗。传统的氧等离子去除法会通过化学反应消耗碳原子,导致介电常数增大和薄膜结构的损伤。为此需开发氢等离子体去除工艺,用于超低 k 多孔材料的去除。同时,多孔低 k 材料的孔隙容易聚集湿气,使光刻胶去除后的溶液清洗过程变得更加困难。为此,开发新的抗蚀剂去胶工艺,且去胶后无需溶液清洗的工艺是当前面临的挑战。此外,取消后续的溶液清洗还将为生产线节约大量的制造成本。

5 CMP后清洗

CMP后清洗主要用于清除图片表面残留研磨液的粒子和金属离子在CMP工艺之后若对这些残留粒子和金属离子不立即进行清洗,即会在片子表面继续腐蚀。从而导致了CMP设备由干进湿出改变为干进干出形式。

成功的CMP后清洗工序是CMP整体工艺的一个组成部份,刷洗技术正在成为CMP后清洗的一种选择。它对于去除由CMP工艺产生的研磨液粒子和其它污染物十分有效。在刷子擦洗过程中,化

(下接第55页)

们的市场优势,寻求更大的发展。我们可以根据国内 IC 及器件厂家的特殊要求设计开发相应的 $\phi 200\text{ mm}$ 探针测试台,产品适应性强,再加上适中的价格及快捷完善的售后服务赢得广大用户。为国内的 IC 及器件制造商提供质优价廉的高端产品将是长期的努力方向。

现在国内也有部分大的生产线引进国外 $\phi 200\text{ mm}$ 探针测试台,其用户主要是国内大型圆片生产线,如:首钢 NEC、上海华虹等,随着国内 $\phi 200\text{ mm}$ 硅片生产线的不断增多,对 $\phi 200\text{ mm}$ 全自动探针测试台的需求量越来越大, $\phi 200\text{ mm}$ 全自动探针测试台将成为国内探针测试台技术发展的主流。大力发展 $\phi 200\text{ mm}$ 全自动探针测试台是市场发展的必

然趋势,是我国探针测试台生产技术发展的主流,也是提高探针测试台生产厂家自身市场竞争力的基础和保证。

参考文献:

- [1] 耿连发,田立竖,吴延忠. 交流伺服系统的发展概况[J]. 微电机,1994(4):24-29.
- [2] 谢譽耀. 自动探针测试速度的提高方法与实现途径[J]. 电子工业专用设备,2000(3):19-22.
- [3] 朱贻玮. 中国各地 IC 芯片线建设分布现状及其展望[J]. 电子工业专用设备,2004(12):1-4.
- [4] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 北京:科学出版社,2004.

(上接第 17 页)

学试剂可以引入到片子表面来提高清洗性能。在某些应用中,需要一定的专用化学试剂,例如对于典型的 W-CMP 清洗,为了去除 W 粒子和防止刷子粘料,需要在第一个刷子位置稀释 NH_4OH

由于刷洗技术的最佳粒子去除能力,现已广泛用于 CMP 后清洗工艺,采用去离子水擦洗的氧化物浆料粒子去除的机械机构已经用于生产工艺,虽然机械不能单一地满足 CMP 后清洗技术的全部要求,但刷洗过程化学试剂的应用解决了刷洗填料和去除表面金属的污染问题,这种化学增强型刷洗技术成为 CMP 后清洗片子有效的方法

6 干法清洗

干法清洗采用气相化学法去除晶片表面污染物,气相化学法主要有热氧化法和等离子清洗法等。清洗过程是将热化学气体或等离子态反应气体导入反应室,反应气体与晶片表面发生化学反应生成易挥发性反应产物被真空抽出。

等离子清洗采用激光、微波、热电离等措施将无机气体激发到等离子态活性粒子,活性粒子与表面分子反应生成产物分子,产物分子进一步解析形成气相残余物脱离表面。

干法清洗的优点在于清洗后无废液,可有选择

性地进行局部处理。此外,干法清洗刻蚀的各向异性有利于细线条和几何图形的形成。但气相化学法无法有选择性地只与表面金属污染物反应,不可避免地会与硅表面发生反应。各种挥发性金属混合物蒸发压力不同,在低温下各种金属挥发性不同。所以在一定的温度、时间条件下,不能将所有的金属污染物完全去除,因此干法清洗不能完全取代湿法清洗技术。因此,在清洗工艺中通常采用干、湿法相结合的清洗方式。

7 结束语

传统的 RCA 批清洗技术由于在生产效率、批生产中的稳定性乃至在 $\phi 300\text{ mm}$ 工艺中与批处理炉子的兼容性方面具有一定的优势,因此更适用于类似存储器器件的大批量生产。由于图形尺寸的缩小和小批量生产的逻辑器件制造要求将成为 90 nm 和 65 nm 工艺前道湿法清洗的技术驱动力,单生式清洗工艺将在 90 nm 和 65 nm 工艺中不断增长。高 k 介质和金属栅类新材料可望在 45 nm 技术节点采用,届时湿法清洗工艺将有较大变化。然而由于目前最频繁采用的新材料是 SiGe 及 NiSi,近期内前道清洗工艺仍能保持使用传统的 RCA 型清洗技术。