

工艺环境日趋细微化

## 半导体清洗技术面临变革

FSI International 市场副总裁 Scott Becker 博士专访

台文

在晶圆制造的过程中，包括蚀刻、氧化、淀积、去光刻胶以及化学机械研磨等每一个步骤，都是造成晶圆表面污染的来源，因此需要反复地进行清洗。

伴随着工艺的细微化发展，不仅仅是晶圆制造、芯片设计企业，包括晶圆生产相关设备产业也都面临了严苛的考验，因为栅极氧化厚度缩小之后，更对晶圆表面的洁净要求严苛。所以在晶圆的蚀刻清洗方面，如何满足客户在技术与工艺上的支持更是重要的课题。不可否认的是，接下来面对 45 纳米的工艺，更是一项巨大的挑战，而且关心的是更新的技术已经陆续现身，为此带来革命性的影响。居于半导体洁净相关设备技术领先地位的 FSI International 的市场副总裁 Scott Becker 博士分析了此变化，Becker 认为确实是如此，想要达到令人满意的成果已经是越来越困难了，因为越小的晶体管线宽就意味着对其残留物越敏感，同时不断被开发出来的新型材料会更难适应目前现有的晶圆洁净技术，对于半导体洁净相关设备来说，也是必须不断地改善，或者研发出更新一代的技术来因应此发展。举例来说，面对被光刻胶遮盖的部分，传统的等离子灰洗(Plasma Ash)技术应用在高浓度离子注入层时，普遍上会造成 6 - 8Å 不等的硅材料损耗，因此面向客户的需求下，FSI International 便开发出了全新免等离子灰化的光刻胶去除技术——ViPRTM 湿式光刻胶去除技术以期达到最少的硅材料损耗，此外为了不损坏和蚀刻到脆弱的逻辑门聚集，FSI International 也针对微粒清洗技术进行了相当程度的改进。

利用稀酸清洗来取代传统工艺

就晶圆洁净的层面而言，传统以来都是采取强酸材料作为清洗的溶剂，但是强酸及强碱极易伤害铜导线及低介电材料，但随着晶圆厂降低灰化后清洗应用成本，半导体制造企业也被开始寻找其它的溶剂做为替代品，所以在溶剂的使用上，已经有企业陆续开发出稀酸清洗的工艺，稀酸混合溶液最近已被证明能在有效去除灰化后残留物，并且能够将氧化蚀刻减至最少，以及不太会造成金属导线腐蚀，所以目前许多晶圆的生产企业成功地导入了稀酸清洗工艺。

传统的前段工艺清洗技术使用 1 份过氧化氢、1 份盐酸(或氢氧化氨)和 5 份水。Becket 表示，目前 FSI International 有很多的顾客，把水从 5 份加到甚至超过 100 份的，根据 FSI 的经验，这样的作法会严重地减弱化学功效，因而出现微尘粒子去除功效会下降到 20 倍之多。此外还有一些顾客，会除去 SC-2 清洗液中的过氧化氢。当然，我们希望所采用的稀酸清洗液，可以在 45 纳米技术工艺中成为标准，但是另一方面，用于 FEOL(前段工艺)清洗的稀硫酸液，无论是现在还是不久的将来都无法实现，虽然利用臭氧水代替这种溶液也有成功地例子，但是由于稳定性极差，相信应用将会受到约束。不过，FSI International 已经提供一些顾客，在后段工艺中应用了稀酸清洗的技术，在成果的部分，显示出可以大幅度地降低成本，因此，致力于稀酸清洗的这一方面所代表的意义是，将会有着巨大的成本节约和减少对环境的影响。

企业对于臭氧技术的期待

相比于有机及金属污染物，微粒的去除比较困难。就如前述，由于臭氧的 redox potential 比  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HCl}$ 、能及  $\text{H}_2\text{O}_2$  都高，因此用  $\text{O}_3$  - UPW 去除有机物及金属的效率比 SPM、HPM 等传统

方法都来的好，所以目前已经有部分晶圆企业开始评估或少量利用臭氧(Ozone)来进行晶圆的清洗，但是，因为臭氧之特性为不稳定气体，具强烈腐蚀性及氧化性，所以，Becker 指出，臭氧是一种十分危险的气体，所以生产设备必须设计合理以保证没有人员暴露在气体中。这同样意味着，晶圆厂必须装备传感器以防泄露的发生。因为臭氧反应性强，它能腐蚀一些常用于排气设备中的材料，所以晶圆厂必须采用暴露在臭氧中不会腐蚀的排气排水材料。

不过就今天技术而言，似乎还存在着效率及金属材质的问题。关于这一方面，Becker 认为，就过去的基础而言，臭氧是一种与金属表面无法兼容的高度氧化的分子，另外，金属表面促进了臭氧分子的分解，并会伴有剧烈的溶液降解反应，所以需要特殊的应用技术。在这一方面，FSI International 最新研发的臭氧溶液，似乎可以和金属表面兼容，这个结果让很多人都相当振奋，目前 FSI International 正在积极寻求合作伙伴，能够在晶圆设备上对此进行评估。

因此许多企业便开始出现对于臭氧技术的期待。甚至于有些企业认为在未来强酸清洗的技术会因为臭氧技术的影响而逐渐衰退，但是 Becker 表示，就今天的技术而言，这有点多虑了，因为多年来，FSI International 在生产过程中，已经开始采取了与臭氧有关的清洗技术，但却没有发现臭氧取代很多传统的化学清洗制品。

因为臭氧并没有像传统硫酸溶液那样应用广泛，如果不结合其它的化学程序的话，臭氧的用处十分局限。此外，还有很多客户更是认为臭氧产生器的价钱，与节省下的化学制剂的费用相比高出很多，因为一套典型的晶圆洁净系统每天要花费 80 升至 240 升的硫酸(价值 160 ~ 500 美元)，而一部臭氧产生器则需要花费高达 20 至 35 万美元，这样的成本投资需要 1 ~ 5 年才有可能收支平衡。

#### 晶圆新材料出现 挑战清洗技术

当然，例如从现有的 cu 延伸到 Pt 等材料，或者因为期望减低信号延迟而采用较脆弱的 Low K 材料等。Becker 也同意已经出现这样的变化，因为无论是在前段工艺还是后段工艺都有很多不同的挑战。

不过在前段工艺中，多年来一直在使用的化学制品相信仍会继续使用，然而，FSI International 一直致力于改进溶液，以协助客户达到降低成本和材料耗损的目标，就像金属栅极使用了钨等材料，这就代表了一个巨大的挑战。很多金属栅极与过氧化氢并不兼容，在这方面，一些不含过氧化氢的溶液，在灰化后的清洗工艺仍然十分有效。不过，对于未来的技术演进，客户还是希望能够发展新的化学制剂 / 溶剂以作为灰化步骤后清洗工艺。

而在后段工艺中，下一代的 LowK 材料的多孔隙特性在 Trap water 与化学品这方面，便成为了一个难题，因为微尘物在蚀刻 / undercutting，或者在外力的作用下会被去除，由此产生的物理动量也会变得无法接受，因为材料的特性和尺寸的小型化，这些材料的机械强度会更低。除此之外，灰化后清洗的后段工艺溶剂的花费十分昂贵。相信我们会见到更多稀酸清洗方法的使用，其价格相对便宜，对于有机体更有选择性。相信蚀刻与灰化加工工艺将会适当地共同发展，因此它们会产生能轻易被这种化学品去除的残渣。

#### ViPR 技术提高光刻胶去除效率

光刻胶的去除也经常困扰着晶圆生产企业，与微尘物去除相比并不轻松，甚至于去除的效率也严重地影响了工艺的合格率与速度。就这方面，Becker 认为，当前的光刻胶去除工艺，每进行一掩模层所花费的时间就占整体 36 小时中的 2 小时，当然如果可以减少这个时间，相信就能对整个晶圆厂带来更大的效益，这也是全湿式光刻胶去除法能够取代灰化步骤的原因之一，在这方面 FSI International 可以提供利用 ViPR 技术进行的相关资料。

就目前而言，FSI International 正在使用全湿法光刻胶去除法技术 ViPR，来开发出 65 纳米的生产设备。就效率而言，例如传统的灰化晶圆洁净法平均需要 105 分钟，而如果采用 FSI International 的 ViPR 法的话，则只要 35 分钟。如果每个掩模流程的时间，我们缺省为 1.2 天的话，那么使用这个技术就能把时间缩短超过 4%，2007 年 4 月初，在韩国的 KSS 会议上，三星显示在

采用 FSI International 的 VIPR 技术之后，发现与他们过去的晶圆洁净方法相比，减少了 50% 的表面蚀刻材料损耗。我们相信这个技术对于 80% 的掩模层都十分有效，所以现阶段 FSI International 也正在努力扩展它。

#### 单芯片处理即将迈入成熟阶段

不管对于哪一方面，效率一直是最重要的话题，所以与工艺相关的技术以及设备也都积极地开发出高效率的方式，目前的晶圆处理技术已经被讨论相当久，不过就处理技术而言，开始出现利用 SWW(Single wafer wet，单芯片式清洗)来取代目前批次式的晶圆处理技术的呼声，因此吸引着众多的设备企业积极地开发出符合 SWW 的技术。当然，FSI International 也相当积极进行 SWW 发展计划，根据 Becker 的说明，事实上 FSI International 已经在—个顾客的晶圆厂中，运行 SWW 系统将近—年之久。当然市场上有很多的 SWW 系统供应商，面对竞争的环境，FSI International 的策略是：“在进入市场之前会完成不同技术的发展”。然而，因为商业机密的原因，FSI International 将对 SWW 技术的细节保密，不过 Becker 透露，在今年晚些时候，FSI International 的新产品就会对外公开发布。

当然，单芯片式的干燥相关技术，FSI International 也是正在积极的开发之中，Becker 表示，干燥技术的质量对于所有的晶圆洁净工艺都有着至关重要的影响。所以确实对于 SWW 来说十分重要，许多 SWW 系统是单芯片旋转蚀刻。但是这样的系统无法应用烘干技术中最广为使用的 Marangoni 式的烘干法。一些 SWW 系统使用氮气旋转烘干法，或者是一种叫做 Rotogoni 的 IMEC 发展技术，当然这些技术在许多案例中有一些成效，相对的也有缺陷。这就是为什么 FSI International 会花巨资来发展 SWW，我们相信将被证明为最好的 SWW 烘干技术。关于这一部分，FSI International 同样对技术有所保留，至年底才会正式发布产品。

#### 用新工艺技术减轻对环境影响

地球环保话题已经被全球所关心，而环境负担不仅仅是在生活上，甚至于在半导体生产的领域方面，由于对环境影响的理由，污染性工艺的改善已经被开始检讨，所以对于未来低污染的清洗技术，已经开始有专家提出利用激光来进行晶圆的清洗。关于这方面，Becker 认为，由于效率、成本和生产量的种种考虑因素，事实上激光清洗技术很难投入生产。当然对于半导体生产企业来说，在环境影响方面已经有相当的进展，同时通过更多稀溶液的使用、去除  $sc_2$  中的过氧化氢、改进冲洗技术和在后段工艺中稀酸晶圆洁净的采用，来使得成本能降得更低。这方面 FSI International 也积极开发出低污染的技术——ANTARES 系统，这是一种粒子去除技术，会比激光技术更加优越，所采用的是氩和氮气，并不使用水或者反应分子，事实上在生产的过程中被证明有很好的成效，例如 4 月初在新加坡的 KSS 讨论会上，特许半导体专文论述了在 90 纳米及以下的产品上使用 ANTARES 系统去除粒子是十分有效的，在成果方面，目前 FSI International 有 12 个顾客正大量使用这个产品。