

引言

现代发达国家经济发展的重要支柱之一--集成电路(以下称 IC)产业发展十分迅速。自从 1958 年世界上第一块 IC 问世以来,特别是近 20 年来,几乎每隔 2-3 年就有一代产品问世,至目前,产品以由初期的小规模 IC 发展到当今的超大规模 IC。IC 设计、IC 制造、IC 封装和 IC 测试已成为微电子产业中相互独立又互相关联的四大产业。微电子已成为当今世界各项尖端技术和新兴产业发展的前导和基础。有了微电子技术的超前发展,便能够更有效地推动其它前沿技术的进步。随着 IC 的集成度和复杂性越来越高,污染控制、环境保护和静电防护技术就越盲影响或制约微电子技术的发展。同时,随着我国国民经济的持续稳定增长和生产技术的不断创新发展,生产工艺对生产环境的要求越来越高。大规模和超大规模 IC 生产中的前后道各工序对生产环境提出了更高要求,不仅仅要保持一定的温、湿度、洁净度,还需要对静电防护引起足够的重视。

2 环境因素对 IC 封装的影响

在半导体 IC 生产中,封装形式由早期的金属封装或陶瓷封装逐渐向塑料封装方向发展。塑料封装业随着 IC 业快速发展而同步发展。据中国半导体信息网对我国国内 28 家重点 IC 制造业的 IC 总产量统计,2001 年为 44.12 亿块,其中 95%以上的 IC 产品都采用塑料封装形式。

众所周知,封装业属于整个 IC 生产中的后道生产过程,在该过程中,对于塑封 IC、混合 IC 或单片 IC,主要有晶圆减薄(磨片)、晶圆切割(划片)、上芯(粘片)、压焊(键合)、封装(包封)、前固化、电镀、打印、后固化、切筋、装管、封后测试等等工序。各工序对不同的工艺环境都有不同的要求。工艺环境因素主要包括空气洁净度、高纯水、压缩空气、CO₂ 气、N₂ 气、温度、湿度等等。

对于减薄、划片、上芯、前固化、压焊、包封等工序原则上要求必须在超净厂房内设立,因在以上各工序中,IC 内核--芯粒始终裸露在外,直到包封工序后,芯粒才被环氧树脂包裹起来。这样,包封以后不仅能对 IC 芯粒起着机械保护和引线向外电学连接的功能,而且对整个芯片的各种参数、性能及质量都起着根本的保持作用。在以上各工序中,哪个环节或因素不合要求都将造成芯粒的报废,所以说,净化区内工序对环境诸因素要求比较严格和苛刻。超净厂房的设计施工要严格按照国家标准 GB50073-2001《洁净厂房设计规范》的内容进行。

2.1 空调系统中洁净度的影响

对于净化空调系统来讲,空气调节区域的洁净度是最重要的技术参数之一。洁净厂房的洁净级别常以单位体积的空气中最大允许的颗粒数即粒子计数浓度来衡量。为了和国际标准尽快接轨,我国在根据 ISO14644-1 的基础上制定了新的国家标准 GB50073-2001《洁净厂房设计规范》,其中把洁净室的洁净度划分了 9 个级别,具体见表 1 所示。

结合不同封装企业的净化区域面积的大小不一,再加之由于尘粒在各工序分布的不均匀性和随机性,如何针对不同情况来确定合适恰当的采集测试点和频次,使洁净区域内洁净度控制工作既有可行性,又具有经济性,进而避免偶然性,各封装企业可依据国家行业标准 JGJ71-91《洁净室施工及验收规范》中的规定灵活掌握。具体可参照表 2 进行。

由于微电子产品生产中,对环境中的尘粒含量和洁净度有严格的要求,目前,大规模 IC 生产要求控制 0.1 μ m 的尘粒达到 1 级甚至更严。所以对 IC 封装来说,净化区内的各工序的洁净度至少必须达到 1 级。

2. 2 超纯水的影响

IC 的生产, 包括 IC 封装, 大多数工序都需要超纯水进行清洗, 晶圆及工件与水直接接触, 在封装过程中的减薄工序和划片工序, 更是离不开超纯水, 一方面晶圆在减薄和划片过程中的硅粉杂质得到洗净, 而另一方面纯水中的微量杂质又可能使芯粒再污染, 这毫无疑问将对封装后的 IC 质量有着极大的影响。

随着 IC 集成度的进一步提高, 对水中污染物的要求也将更加严格。据美国提出的水质指标说明, 集成度每提高一代, 杂质都要减少 $1/2 \sim 1/10$ 。表 3 所示为最新规定的对超纯水随半导体 IC 进展的不同要求。

从表 3 可以看到, 随着半导体 IC 设计规则从 $1.5 \sim 0.25\mu\text{m}$ 的变化, 相应地超纯水的水质除电阻率已接近理论极限值外, 其 TOC(总有机碳)、DO(溶解氧)、 SiO_2 、微粒和离子性杂质均减少 2-4 个数量级。

在当前的水处理中, 各项杂质处理的难易程度依次是 TOC、 SiO_2 、DO、电阻率, 其中电阻率达到 $18\text{M}\Omega\cdot\text{cm}(25^\circ\text{C})$ 是当前比较容易达到的。由于 TOC 含量高会使栅氧化膜尤其是薄栅氧化膜中缺陷密度增大, 所以栅愈薄要求 TOC 愈低, 况且现在 IC 技术的发展趋势中, 芯片上栅膜越来越薄, 故降低 TOC 是当前和今后的最大难点, 因而已成为当今超纯水水质的象征和重心。据有关资料介绍, 在美国芯片厂中, 50% 以上的成品率损失起因于化学杂质和微粒污染; 在日本工厂中由于微粒污染引起器件电气特性的不良比例, 已由 $2\mu\text{m}$ 的 70% 上升到 $0.8\mu\text{m}$ 超大规模 IC 的 90% 以上, 可见 IC 线条宽度越细, 其危害越突出。相应的在 IC 封装过程中超纯水的重要性就显而易见了。

在半导体制造工艺中, 大约有 80% 以上的工艺直接或间接与超纯水, 并且大约有一半以上工序, 硅片与水接触后, 紧接着就进入高温过程, 若此时水中含有杂质就会进入硅片而导致 IC 器件性能下降、成品率降低。确切一点说, 向生产线提供稳定优质的超纯水将涉及到企业的成本问题。

2. 3 纯气的影响

在 IC 的加工与制造封装中, 高纯的气体可作为保护气、置换气、运载气、反应气等, 为保证芯片加工与封装的成品率和可靠性, 其中一个重要的环节, 就是严格控制加工过程中所用气体的纯度。所谓“高纯”或“超纯”也不是无休止的要求纯而又纯, 而是指把危害 IC 性能、成品率和可靠性的有害杂质及尘粒必须减少到一定值以下。表 4 列出了半导体大规模 IC 加工与制造中用的几种常用气体的纯度。

例如在 IC 封装过程中, 把待减薄的晶圆, 划后待粘片的晶圆, 粘片固化后待压焊的引线框架(LF)与芯粒放在高纯的氮气储藏柜中可有效地防止污染和氧化; 把高纯的 CO_2 气体混合入高纯水中, 可产生一定量的 H^+ , 这样的混合水具有一定的消除静电吸附作用, 代划片工序使用可有效地去除划痕内和芯粒表面的硅粉杂质, 以此来减少封装过程中的芯粒浪费。

2. 4 温、湿度的影响

温、湿度在 IC 的生产中扮演着相当重要的角色, 几乎每个工序都与它们有密不可分的关系。GB50073-2001《洁净厂房设计规范》中明确强调了对洁净室温、湿度的要求要按生产工艺要求来确定, 并按冬、夏季分别规定。见表 5。

根据国家要求标准, 也结合我厂 IC 塑封生产线的实际情况, 特对相关工序确定了温、湿度控制的范围, 运

行数年来效果不错。控制情况见表 6。

但是，由于空调系统发生故障，在 2001 年 12 月 18 日 9:30~9:40 期间，粘片工序工作区域发生了一起湿度严重超标事故。当时相对湿度高达 86.7%RH，而在正常情况下相对湿度为 45~55%RH。

当时湿度异常时粘片现场状况描述如下：

所有现场桌椅板凳、玻璃、设备、晶圆、芯片以及人身上的防静电服表面都有严重的水汽，玻璃上的水汽致使室内人看不清过道，用手触摸桌椅设备表面，都有很明显的手指水迹印痕。更为严重的是在粘片工序现场存放的芯片有许多，其中 SOP16L 产品 7088 就在其列，对其成品率的影响见表 7 所示。所有这些产品中还包括其它系列产品，都象经过了一次“蒸汽浴”一样。

从下表可看出或说明以下问题：

针对这批 7088 成品率由稳到不稳，再到严重下降这一现象，我们对粘片、压焊、塑封等工序在此批次产品加工期间的各种工艺参数，原材料等使用情况进行了详细汇总，没有发现异常情况，排除了工艺等方面的原因。

事后进一步对废品率极高的 18#、21#、25#、340、55#卡中不合格晶进行了超声波扫描，发现均有不同程度的离层，经解剖发现：从离层处发生裂痕、金丝断裂、部分芯片出现裂纹。最后得出结论如下：

(1)造成成品率下降的原因主要是封装离层处产生裂痕，导致芯片裂纹或金丝断裂。

(2)产生离层的原因是由于芯片表面水汽包封在塑封体内产生。

由此可见，温、湿度对 IC 封装生产中的重大影响！

2. 5 其它因素的影响

诸如压差因素、微振因素、噪声因素等对 IC 封装加工中都有一定的影响。鉴于篇幅所限，这里就不再逐一赘述。

3 静电因素对 IC 封装的影响

首先，静电产生的原因是随处可见的。

在科技飞速发展和工业生产高度自动化的今天，静电在工业生产中的危害已是显而易见的，它可以造成各种障碍，限制自动化水平的提高和影响产品质量。这里结合我厂在集成电路封装、生产过程的实际情况来说明之所以有静电的产生，主要有以下几个方面的原因。

3. 1 生产车间建筑装修材料多采用高阻材料

IC 生产工艺要求使用洁净车间或超净车间。要求除尘微粒粒径从以往的 0.3 μ m 变到 0.1 μ m 以下，尘

粒密度约为 353 个 / m³。为此，除了安装各吸尘设备之外，还要采用无机和有机不发尘材料，以防起尘。但对于建材的电性能没有作为一项指标考虑进去。工业企业洁净厂房设计规范中未作规定。IC 工厂的洁净厂房主要采用的室内装修材料有：聚氨酯弹性地面、尼龙、硬塑料、聚乙烯、塑料壁纸、树脂、木材、白瓷板、瓷漆、石膏等等。上述材料中，大部分是高分子化合物或绝缘体。例如，有机玻璃体电阻率为 10¹²~10¹⁴Ω·cm，聚乙烯体电阻率为 10¹³~10¹⁵n·cm，因而导电性能比较差，某种原因产生静电不容易通过它们向大地泄漏，从而造成静电的积聚。

3. 2 人体静电

洁净厂房操作人员的不同动作和来回走动，鞋底和地面不断的紧密接触和分离，人体各部分也有活动和摩擦，不论是快走、慢走，小跑都会产生静电，即所谓步行带电；人体活动后起立，人体穿的工作服与椅子面接触后又分离也会产生静电。人体的静电电压如果消不掉，而去接触 IC 芯片，就可能在不知不觉中造成 IC 的击穿。

3. 3 空气调节和空气净化引起的静电

由于 IC 生产要求在 45-55%RH 的条件下进行，所以要实行空气调节，同时要进行空气净化。降湿的空气要经过初效过滤器、中效过滤器、高效过滤器和风管送入洁净室。一般总风管风速为 8~10m / s，风管内壁涂油漆，当干燥的空气和风管，干燥的空气和过滤器作相对运动时，都会产生静电。应该引起注意的是静电与湿度有着较敏感的关系。

另外，运送半成品和 IC 成品在包装运输过程中都会产生静电，这都是静电起电的因素之一。

其次，静电对 IC 的危害是相当大的。

一般来说，静电具有高电位、强电场的特点，在静电起电-放电过程中，有时会形成瞬态大电流放电和电磁脉冲(EMP)，产生频谱很宽的电磁辐射场。另外，与常规电能量相比，静电能量比较小，在自然起电-放电过程中，静电放电(ESD)参数是不可控制的，是一种难于重复的随机过程，因此它的作用往往被人们所忽视。尤其在微电子技术领域，它给我们造成的危害却是惊人的，据报道每年因静电造成直接经济损失高达几亿元人民币，静电危害以成为发展微电子工业的重大障碍。

在半导体器件生产车间，由于尘埃吸附在芯片上，IC 尤其是超大规模集成电路(VLSI)的成品率会大大下降。

IC 生产车间操作人员都穿洁净工作服，若人体带静电，则极易吸附尘埃、污物等，若这些尘埃、污物被带到操作现场的话，将影响产品质量，恶化产品性能、大大降低 IC 成品率。如果吸附的灰尘粒子的半径大于 100μm 线条宽度约 100μm 时，薄膜厚度在 50μm 下时，则最易使产品报废。

再次，静电对 IC 的损害具有一定的特点。

(1) 隐蔽性

除非发生静电放电，人体不能直接感知静电，但发生静电放电人体也不一定能有电击的感觉，这是因为人体感知的静电放电电压为 2~3kV，所以静电具有隐蔽性。

(2)潜在性

有些汇受到静电损伤后的性能没有明显的下降，但多次累加放电会给 IC 器件造成内伤而形成隐患。因此静电对 IC 的损伤具有潜在性。

(3)随机性

IC 什么情况下会遭受静电破坏呢?可以这么说，从一个 IC 芯片产生以后一直到它损坏以前，所有的过程都受到静电的威胁，而这些静电的产生也具有随机性，其损坏也具有随机性。

(4)复杂性

静电放电损伤的失效分析工作，因微电子 IC 产品的精、细、微小的结构特点而费时、费事、费财，要求较高的技术并往往需要使用高度精密仪器，即使如此，有些静电损伤现象也难以与其它原因造成的损伤加以区别；使人误把静电放电损伤的失效当作其它失效，这在对静电放电损害未充分认识之前，常常归因于早期失效或情况不明的失效，从而不自觉地掩盖了失效的真正原因。所以分析静电对 IC 的损伤具有复杂性。

总而言之，在 IC 的加工生产和封装过程中建立起静电防护系统是很有必要的!

IC 封装生产线对静电的要求更为严格。为了保证生产线的正常运行，对其洁净厂房进行防静电建筑材料整体装修，对进出洁净厂房的所有人员配备防静电服装等采取硬件措施外，封装企业可根据国家有关标准和本企业的实际情况制定出在防静电方面的企业标准或具体要求，来配合 IC 封装生产线的正常运转。随着我国 IC 封装线的扩建、封装能力的逐年提高、封装品种的增加以及对产品质量和成品率的更高要求，相应地对各种软、硬件要求和全体从业人员的静电防护意识的加强就显得更为重要，而这也正扮演和充当着影响我们产品质量的"主要角色"和"无形杀手"。所以说，静电防护将是目前和今后摆在我们整个 IC 行业的一大课题。

4 结束语

综上所述，环境诸多因素和静电因素始终对 IC 的封装加工过程起着很重要的作用，这也是 IC 的发展趋势和封装加工过程的固有特性所决定的，微电子半导体 IC 的超前发展，就势必要求我们在环境与静电方面紧紧跟上 IC 的发展，使之不要成为制约 IC 封装加工发展的障碍和"绊脚石"。本文也正是出于这样的考虑来进行抛砖引玉的。