



半导体和其他电子产品制造业环境、 健康与安全指南

前言

《环境、健康与安全指南》（简称《EHS指南》）是技术参考文件，其中包括优质国际工业实践（GIIP）所采用的一般及具体行业的范例。¹。如果世界银行集团的一个或多个成员参与项目，则应根据这些成员各自政策和标准的要求执行本《EHS指南》。本《EHS指南》是针对具体行业，应与《通用EHS指南》共同使用，后者提供的指南针对所有行业都可能存在的EHS问题。如果遇到复杂的项目，可能需要使用针对多个行业的指南。在以下网站可以找到针对各行业的指南：<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>。

《EHS指南》所规定的指标和措施是通常认为在新设施中采用成本合理的现有技术就能实现的指标和措施。在对现有设施应用《EHS指南》时，可能需要制定具体针对该场所的指标，并需规定适当的达标时间表。

在应用《EHS指南》时，应根据每个项目确定的危险和风险灵活处理，其依据应当是环境评估的结果，并应考虑到该场所的具体变量（例如东道国具体情况、环境的吸收能力）以及项目的其他因素。具体技术建议是否适用应根据有资格和经验的人员提出的专业意见来决定。

如果东道国的规则不同于《EHS指南》所规定的指标和措施，我们要求项目要达到两者中要求较高的指标和措施。如果根据项目的具体情况认为适于采用与本《EHS指南》所含规定相比要求较低的指标和措施，则在针对该场所进行的环境评估中需要对提出的替代方案作出详尽的论证。该论证应表明修改后的指标能够保护人类健康和环境。

适用性

《半导体和其他电子产品制造业 EHS 指南》包括了与半导体及其他电子产品生产方案及生产设备相关的信息，但不包括原材料提取、通用部件组装、在塑料结构中组装内部零件所需的显示器的生产以及标准连接器的生产等相关信息。附件 A 是对本行业工业活动的总体介绍。本文由以下几个部分组成：

¹ 定义是：熟练而有经验的专业人员在全球相似情况下进行同类活动时，按常理可预期其采用的专业技能、努力程度、谨慎程度和预见性。熟练而有经验的专业人员在评估项目可采用的污染防控技术时可能遇到的情况包括（但不限于）：不同程度的环境退化、不同程度的环境吸收能力、不同程度的财务和技术可行性。



- 1 具体行业的影响与管理
 - 2 指标与监测
 - 3 参考文献和其他资料来源
- 附录 A 行业活动的通用描述

1 具体行业的影响与管理

本章概述半导体和其他电子产品制造业在操作阶段的 EHS 问题，并提出如何对其进行管理的建议。关于如何管理大多数大型工业活动建造阶段和报废阶段各种常见 EHS 问题的建议请参阅《通用 EHS 指南》。

1.1 环境

半导体及其他电子产品生产项目涉及到的环境问题主要包括以下几方面：

- 危险物质的使用与废物管理
- 废气排放
- 废水
- 能源使用
- 一般工艺改造

危险物质及废弃物

几乎所有的半导体及其他电子产品的生产过程都会产生有害的或有潜在危害的废弃物，如废去离子水（含无机酸）、废溶剂和显色剂（如异链烷烃）、废清洗剂、废水处理产生的污泥、废环氧材料（印刷电路板（PCB）和半导体生产）、废氰化物溶液（电镀），以及焊接剂和金属残渣（印刷电路板组件（PCBA））。

除了《通用EHS指南》所提到的危险物质管理的相关措施，具体的污染预防技术包括工艺改造及采用替代品：¹

- 工艺改造或设备改进包括：²
 - 工艺生产中的合成有机污染物减少了待处理电镀槽的容量以及对新化学物质的需求，采用活性炭过滤再生电镀槽的方法予以清除；
 - 采取自动气柜系统控制气柜中气体的无组织排放，尤其在化学反应期间；
 - 使用锡合金和其他无铅焊接剂来替代铅焊接剂；
- 取代或去除原材料：如用酸性硫酸铜、亚硫酸金和化学镍取代在 PCB 工业的镀金中使用的氰化物电镀溶剂；用三价铬电镀溶液代替六价铬电镀溶液（虽然现在三价铬电

¹ 按照欧盟（2003a 和 2003b）的规定，应当限制使用或者逐步停止使用铅、汞、镉、铬（Cr VI）、多溴联苯和聚溴化二苯醚。已逐步停止使用氯氟碳化合物和三氯乙烯。欧盟指令 76/769/EEC（COM/2005/0618 final-COD 2005/0244）的修正案反映出对全氟辛烷硫酸基化合物的使用限制也正在考虑中。限制全氟辛烷硫酸基化合物使用及排放的自发性措施已被世界半导体理事会（WSC）和国际半导体设备暨材料协会（SEMI）采纳。

² 附加信息请参见附件 A。



镀液在其他行业已经不用了，但仍用于 PCB 生产)；

- 有害物质和废弃物分离、分类、准备和再利用：例如：分离废水污泥中的金属污染物有利于废料回收；保留电镀化学品可以分离其中的不相容物质，例如：从酸中分离氰化物，从易燃物中分离氧化剂；
- 金属回收再利用，主要应用于半导体和 PCBA 领域，例如：采用电解法回收铜和其他贵金属，采用电解—化学沉淀法从电镀板上分解回收铜和锡，从砷化镓工艺废料中回收砷和镓（通过加热分离砷化镓固体废料和从砷化镓的抛光废料中回收砷和镓）；
- 通过淘汰在半导体生产中不必要的使用含全氟辛烷磺化物（PFOS）的物质，从而减少PFOS的排放，例如，用替代品取代某些蚀刻剂。对没有替代品的而必须使用PFOS的工艺，如半导体生产中的短波技术，应当进行废弃物受控处理——尤其是在涉及焚化时。¹

《通用 EHS 指南》对危险物质管理进行了论述。具体管理措施包括：

- 工艺助剂的存放区域应当定期检查，以确定是否有泄漏现象；
- 地下管道应当设为双层结构，以防内层管道泄漏；
- 输送危险物质的管道应当采用兼容材料构造，并充分支撑，清晰标记，安装优质连接。管道还应当每隔 30 米设有低点排液口、高点通风口以及隔离阀；
- 应当使用废液防溅工作盘。

《通用 EHS 指南》对固体危险废弃物的管理进行了论述。该部分包括：凡是含有危险物质（如废去离子水、废溶剂、废清洗剂、废水处理产生的污泥、废环氧树脂材料和废氰化物清洗剂等）的废弃物都应当明确标记，分类存放在特定的抗腐蚀存放区域。由于工业废料和副产品易发生化学反应且毒性大，因此安全存放非常重要。该问题在下一部分介绍职业健康与安全时亦有所论述。

废气排放

半导体和其他电子产品制造业产生的主要空气污染物，包括扩散、清洗、湿法蚀刻工艺产生的温室气体，有毒的、活性的以及腐蚀性物质 [如酸性气体、掺合剂、清洗气体和挥发性有机化合物 (VOC)]。²

下面是三种有毒和危险气体减排系统：

- 末端净化系统 (POU)；这类系统相对较小，专用于某种工艺，可以消除高达 99.99% 的废气。比如，一个 POU 洗涤器可以将砷化氢体积分数降低至 50×10^{-9} 。POU 有六种基本技术方案，可应用于减少包括全氟碳化合物 (PFC) 在内的气体和颗粒污染

¹ PFOS 属于有毒且具有持久及生物积聚属性的化学物质，因此应当考虑将它列入斯德哥尔摩公约的持久性有机污染物 (POP) 列表中。如前所述，世界半导体理事会和国际半导体设备暨材料协会已经制定了一份全球志愿协议，该协议要求取消必要应用之外的所有 PFOS 应用，并要求焚化所有含 PFOS 的非废水排放。登陆 http://www.sia-online.org/pre_stat.cfm?ID=294 可找到该协议。

² 美国国家环境保护局确认了大约 30 种半导体生产过程中产生的有害空气污染物，不过据估计，所有排放的气体中超过 90% 的气体为盐酸、氢氟酸、丙二醇醚，以及它们产生的醋酸盐、甲醇和二甲苯。



物，如下所述：

- 半导体生产中的湿法除尘，不过其除污范围很小。湿法除尘也被用来处理燃烧和氧化处理中的酸气和副产品；
- 半导体生产中的热化学反应床；
- 燃烧炉或电热炉中的燃烧和氧化反应，通常与湿法除尘相结合（半导体和 PCBA 生产）；
- 半导体生产中的等离子反应仪；不过其除污范围很小，并且需要额外的下游除尘装置；
- PCBA 工业的冷吸附器；
- PCBA 工业用于清除废液中的固体物质和冷凝蒸汽的疏水器、过滤器、旋流器和沉淀器；
- 厢式废气处理系统；该系统相对较大，设置在半导体代工厂外，可以处理多种污染源的高流速的废气。
- 紧急排放清洗器；该系统适用于处理突发的大量有毒气体的排放，通常用来为气缸储存区通风排气。紧急排放清洗器主要用于防止意外的气体排放。然而，大多数有毒气体可以在仔细检测气体浓度并确保不对健康和环境造成影响之后，通过专门的通风柜排放到大气中。

全氟化碳类化合物和其他温室气体

全氟化碳类化合物（PFC），包括 CF_4 、 C_2F_6 和 C_3F_8 ，三氟化氮（ NF_3 ）、HFC-23（ CHF_3 ）和六氟化硫（ SF_6 ），用于半导体生产，以及用作化学气相沉积（CVD）系统、等离子蚀刻、薄膜晶体管液晶显示器（TFT-LCD）生产过程中使用的清洗气。与PFC相关的主要环境问题在于潜在排放物具有较高的全球变暖效应（GWP），这与它们很长的大气寿命¹有关。

PFC排放减控技术包括以下方面：²

- 工艺优化，尤其是化学气相沉积清洗工艺；
- 化学品替代，例如，用 $C-C_4F_8$ 或 NF_3 代替 C_2F_6 作为改性化学气相沉积室的替代储柜清洗气体，以尽量减少大气污染物；
- 降低排放水平，主要方式是采用燃烧、催化分解或等离子去除系统（后者只适用于蚀刻器具，用量为少于或等于200 mm）分解反应物分子，将之转化为非PFC副产品。热裂解技术可用于处理代工厂（末端净化系统应用）或全厂（管末应用）内的储柜清洗气和蚀刻工艺气；
- 回收再利用废气中的PFC，不过这是一项对技术和经济条件都很有挑战的工艺；
- 温室气体管理的其他信息在《通用EHS指南》中有所讨论。

酸性气体

酸性气体（主要包括盐酸和氢氟酸）的潜在排放与下述半导体及PCBA生产的工艺相关：

¹ 2005年5月，世界半导体理事会成员国一致同意，至2010年，在基线值的基础上至少减少10%的PFC排放（欧洲、美国和日本相关协会1995年的基线值；韩国协会1997年的基线值；中国台湾地区1998年的基线值）。

² 通过各种排放控制技术，实现PCF减排的其他相关信息，由政府间气候变化专门委员会（2000年）提供。



- 半导体生产中的清洗、蚀刻和抗剥离作业；
- 蚀刻，该过程会产生氯化氢蒸气；
- PCB 生产中的清洗、表面预处理、氯化亚铜蚀刻以及电镀作业。

硫酸气溶胶排放物也来自晶圆的处理中所用带酸蚀混合物。最常用的酸蚀混合物成分有硫酸和过氧化氢。

酸性气体排放物可通过安装水平（错流）或垂直（逆流）湿式除尘器减少。防污染措施还包括以下方面：

- 在电镀液表面使用抗雾剂和润湿剂（即表面活性剂）；
- 通过加热和蒸馏，重新处理晶圆制作过程中用过的硫酸，提纯酸液；经提纯的酸液将被回收并送回湿法设备中；
- 安装电镀盖板和金属筛网除雾器。

挥发性有机化合物

挥发性有机化合物（VOC）主要用于半导体和 PCBA 制造工业。在抗干燥、显影和抗蚀作业中，大多数清洗和光刻工艺都可能释放出挥发性有机化合物。通常情况下，挥发性有机化合物排放物可被活性炭系统吸附回收和/或通过热氧化剂处理。用于控制挥发性有机化合物排放的污染控制技术或附加控制设备包括：

- 可再生热氧化器，通常在排气流的流速超过 3 000 scfm 时使用；
- 在把 VOC 流输送到去除或回收设备之前，采用带有可再生热氧化器的沸石转轮减少废系统浓缩低浓度的 VOC 气流；
- 应用蒸汽脱附技术回收 VOC 气体的碳吸附固定床（再利用或再循环）；
- 应用热氮解吸技术回收 VOC 气体的碳吸附流动床（再利用或再循环）；
- 配备热氧化器（普通或可再生式），应用热氮解吸、再行技术回收 VOC 气体的聚合物吸附流动床。

氮氧化物

像其他工业一样，半导体生产的氮氧化物排放包括燃烧工艺产生的副产品。这些副产品产生于加热锅炉、应急备用发电机和降低 VOC 排放的热氧化器。相关的污染排放防控技术在《通用 EHS 指南》中均有所体现。

粉尘

PCB 生产中的钻铣作业会产生大量粉尘，而半导体和 PCBA 工业不会产生大量粉尘。半导体生产及磁设备和被动元器件生产中的激光切割、修边、化学机械抛光和背面磨削作业会产生少量粉尘。

推荐的粉尘控制措施包括：

- 水沉降系统；
- 利用袋滤器或静电除尘器减少粉尘。

能源消耗

由于半导体生产涉及很多热加工工艺，且晶圆处理高度机械化，半导体生产需要耗用大量



能源，因此需要优化能源消耗。应使用能把改良生产效率和能源利用效率结合在一起的专门设备，例如：

- 控制湿度和温度的空气处理设备，该设备能够节省 25%的能源；
- 高效冷凝器；
- 从使用热交换器的水冷凝器中回收热能，可以为现代工业设施节省 40%的能源。

先进的减排技术还提供了减排效率更高、能耗更低的新设备。

废水

工业废水

废水污染物包括有机和无机物污染物，如金属、酸类、碱类、氧化物和悬浮物。为了既减少用水量又降低潜在的污染物排放，工业废水应回收、处理，并再利用。

工业废水中可能含有各种有机化合物，主要包括：半导体和 PCBA 生产中的清洗、抗蚀剂干燥、显影、抗剥离等一系列作业产生的含吡咯基、胺基、氟/醚基、异丙醇、四甲基氢氧化铵等的无氯溶剂；金属化工艺和化学机械研磨（CMP）工艺产生的金属物质；蚀刻、清洗、金属喷镀作业产生的废清洗溶液中的酸类和碱类；金属喷镀工艺产生的氧化物；光刻、金属喷镀、背面磨削和切割作业产生的残膜和金属颗粒中含有的悬浮固体物质。

工业废水处理

由于半导体和其他电子产品的生产作业需要用大量原材料、化学品和各种工艺，废水处理就需要针对特定的生产工艺和污染物进行不同的单元作业。工业废水的处理技术包括：（1）利用溶剂回收、气提、化学氧化、吸附等相分离技术，对含有高浓度不可生物降解化合物的废水进行源头分离和预处理等；（2）利用化学沉降、混凝和絮凝、电化学回收、离子交换等方法，减少重金属物质的排放；（3）对氧化物进行化学氧化；（4）对指定危险废弃物填埋中的残渣进行脱水和其他处理。其他工程控制手段包括：（1）利用膜过滤或其他物理/化学处理技术，进一步去除金属物质；（2）利用活性炭和化学高级氧化，去除难降解有机物和有机卤化物；（3）利用反渗透、离子交换、活性炭等技术，降低排放物的毒性；（4）收集并处理从废水处理系统的各单元操作中分离的挥发性有机物。

《通用 EHS 指南》介绍了工业废水的管理和处理方法的案例。使用这些废水处理技术，设备必须符合该工业部门文件第 2 部分相关表格中对废水排放的指导值。

其他废水排放和水资源消耗

《通用 EHS 指南》中有未污染工业废水、未污染雨水和生活污水的管理指南。污染水流的处理应纳入工业废水处理系统中。《通用 EHS 指南》中有减少水资源消耗，尤其是水资源匮乏地区减少水资源消耗的推荐意见。

印刷电路板（PCB）生产

附件 A 所述的 PCB 生产工艺具有几种污染防治措施。具有环境效益的工艺改造包括：

- 电路板生产：使用表面贴装技术（SMT），而不是镀通孔技术，来注模成型基板或添加电镀层；
- 清洗和表面预处理：使用非螯合清洗剂，延长电路板使用寿命、提高清洗效率，采用



逆流清洗，回收/再利用清洗剂；

- 图样印刷和掩模：用水性抗蚀剂、丝网印刷取代光刻、喷墨印花和使用干膜光致抗蚀剂，回收再利用干膜光致抗蚀剂剥除液，分离污水流，回收金属物质；
- 电镀和化学镀：推广机械电路板和无氰电镀槽的生产，延长电路板寿命，回收再利用清洗剂，提高清洗效率，利用逆流清洗，分离污水流，回收金属物质。
- 蚀刻：使用不同的电镀方法、非螯合腐蚀剂和无铬腐蚀剂、线路和全板电镀、加色和减色法，回收/再利用腐蚀剂；
- 对分离出的含金属水流，通过再生电解提取技术和离子交换技术进行金属回收后，排污量几乎为零。将重金属回收成金属板料，这样可消除 95%的污泥。未经处理的含金属的污泥必须进行安全填埋。

1.2 职业健康与安全

半导体和其他电子产品生产项目中包含的职业健康与安全问题主要有以下几个方面：

- 接触在进行机械操作时通过基板释放的物质；
- 接触危险化学助剂，包括金属粉末；
- 接触物理危险物和能源危险物（如动力、电力、气动和水力能源）；
- 接触电离和非电离辐射和激光；

基板

硅基半导体基板（二氧化硅）是无毒的，但在其生产和使用过程中产生的粉尘对人体却可能是危险的。其中砷化镓（GaAs）和磷化铟（InP）基板对健康的影响更大。接触砷化镓（GaAs）和磷化铟（InP）的最普遍的方式是颗粒物吸入。因为砷和铟的毒性很大，砷化镓和磷化铟的职业接触限值都很低。磷化铟易燃，易与水蒸汽和酸反应生成三氢化磷——一种有毒的易燃气体。砷化镓在研磨、切割或抛光时均可能产生危险。

采用工程和管理的手段来对这些危险物质进行防控，从而保护工人的安全。通常采用的预防措施包括：

- 通过普通研磨和湿研磨进行局部提取。该操作需要在湿润环境下进行，操作产生的余渣要仔细清洗。应避免对砷化镓进行干研磨；
- 在涉及到基板的所有工艺中，包括切割、研磨、抛光和蚀刻，应用萃取和通风技术；
- 工人的工作服应当定期清洗，以防止污染；另外，要改善卫生设施；
- 要防止过热操作，并小心避免接触强酸性还原剂，因为其可产生高毒性的砷化氢或磷化氢气体；
- 砷化氢或磷化氢原料应当存放在减压容器中。



工艺剂类危险品

半导体和其他电子产品的生产工艺可能会用到大量有潜在危险的化学品。¹被动元件和磁体装置的生产还可能会产生金属粉末。应当按照《通用EHS指南》制定针对特定材料的化学防护计划，并严格执行。应当保护工人不接触到各种工艺助剂，这些工艺助剂包括但不限于：酸、碱、溶剂、金属粉末、金属污泥、有毒气体、低温气体和自燃气体等。另外，具体的推荐保护措施包括：

- 以较安全的替代品代替半导体生产中的危险材料，如次乙基乙二醇醚；
- 如果半导体生产中用到硅烷（SiH₄）或其他有潜在危险的气体（如氟化氢，氢气等），需要在规章或工业安全隔离区内安装带有气体探测仪和警报器的警报系统；
- 在半导体和 PCB 装配行业，如果替代品不适用，应使用隔离式自动生产系统来防止工人接触危险化学品；
- 使用工程控制，如粉尘和汽提系统和通风系统，来消除半导体和 PCB 装配行业的气体化合物。

物理危险和能源危险

半导体和其他电子生产的潜在物理危险包括：搬运重物，如大型的晶圆承载器（尤其是用于 300 mm 大晶圆的承载器）和包装好的成品；以及在自动化设备附近工作。《通用 EHS 指南》中有针对工作场所中物理危险和能源危险（包括动力、电力、气动力和水力）的防护和管理措施的相关建议。

电离和非电离辐射和激光

产品生产工艺可能包括像 X 光、γ射线、α和β粒子这样的电离辐射源，而所有这些辐射波都具有波长短和能量高的特点。非电离辐射的潜在类型包括射频辐射（用于等离子体生产设备）、紫外线辐射、红外线辐射和可见光。非电离辐射可由一些高能加热器、测试设备和高能天线产生。

激光按其眼睛和皮肤的伤害能力可以分为激光直接照射或通过某种物体反射。可以被部分吸收，引起温度升高，导致暴露的材料变质。

在源设备上安装罩类屏蔽装置和连锁设施来保护工人不接触辐射光源，并培训工人重视和维护这些设施。《通用 EHS 指南》中有关于接触辐射的其他内容。应采用工程控制手段，如带连锁装置防护罩、保护过滤装置和系统连锁来防止激光对使用者的损害。

1.3 社区健康与安全

半导体和其他电子产品生产装置的操作、建设和退役过程对社区健康与安全造成的影响与

¹ 样品包括：丙酮、氨、氢氧化铵、砷化氢、三氟化硼、二氧化碳氯化物、三氟化氯、乙硼烷、二氯甲硅烷、乙硅烷、氟、砷化镓、锗烷、盐酸、氢氟酸、氢、磷化铟、甲烷、硝酸、氧化氮、氟化氮、氧化亚氮、臭氧、氯氧化磷、磷化氢、磷酸、硅烷、硫酸、四氟甲烷、三氯硅烷、砷酸三甲酯和三甲基铟。



大多数工业装置相同，《通用 EHS 指南》中有相关介绍。

2 指标与监测

2.1 环境

废气排放和污水排放指南

表 1 和表 2 介绍了该行业的污水排放和废气排放指南。该行业的污水排放和废气排放指导值是各国的相关标准在公认的法规框架内所体现的国际行业惯例。通过上文介绍的污染防控技术，我们可以知道，经过合理设计和操作装置在正常的操作条件下是可以满足这些指南的要求的。在不经稀释的情况下，装置或设备运作的至少 95% 的时间内，应当计算为年度运作时间的一部分，并且达到规定的水平。在环境评估中，所产生的水平偏差应当按照当地特定的项目环境进行调整。

废液处理指南适用于已处理废液直接排放到常规用途的地表水中。特定场地的排放水平可以按照公共经营的污水回收和处理系统的可行性及特定条件设定；或者，如果废液直接排放到地表水中，排放水平可依据《通用 EHS 指南》中规定的受水区的用途分类设定。

废气排放指南适用于处理废气排放物。与产生等于或低于 50MWth 输入热容的热源的发热活动及发电活动相关的燃烧源排放指南在《通用 EHS 指南》中有所体现，而更大量的能源排放则在 EHS 热能动力指南中进行介绍。《通用 EHS 指南》还包含基于废物排放总负荷的环境措施指南。

表 1 废液排放水平

| 污染物 | 单位 | 指导值 |
|------------------|------|-----|
| pH | — | 6~9 |
| COD | mg/L | 160 |
| BOD ₅ | mg/L | 50 |
| 悬浮固体物质总量 | mg/L | 50 |
| 油脂 | mg/L | 10 |
| 总含磷量 | mg/L | 2 |
| 氟化物 | mg/L | 5 |
| 氨 | mg/L | 10 |
| 氰化物总量 | mg/L | 1 |
| 自由氰化物 | mg/L | 0.1 |
| AOX（可吸附的有机卤素化合物） | mg/L | 0.5 |
| 砷 | mg/L | 0.1 |
| 六价铬 | mg/L | 0.1 |



| | | |
|------|------|-----------------|
| 铬总量 | mg/L | 0.5 |
| 镉 | mg/L | 0.1 |
| 铜 | mg/L | 0.5 |
| 铅 | mg/L | 0.1 |
| 汞 | mg/L | 0.01 |
| 镍 | mg/L | 0.5 |
| 锡 | mg/L | 2 |
| 银 | mg/L | 0.1 |
| 硒 | mg/L | 1 |
| 锌 | mg/L | 2 |
| 升温幅度 | °C | <3 ^a |

^a 处于科学建造的污染混合区的边缘，该污染混合区在建立时充分考虑了周围水资源的质量、受水区用途、潜在受体和同化能力。

表 2 废气排放水平^c

| 污染物 | 单位 | 指导值 |
|-------------------------------|--------------------|------|
| 挥发性有机化合物 ^a (标准状态下) | mg/Nm ³ | 20 |
| 有机危险废气污染物 ^b (体积分数) | 10 ⁻⁶ | 20 |
| 无机危险废气污染物 ^b (体积分数) | 10 ⁻⁶ | 0.42 |
| 氯化氢 (标准状态下) | mg/m ³ | 10 |
| 氟化氢 (标准状态下) | mg/m ³ | 5 |
| 磷化氢 (标准状态下) | mg/m ³ | 0.5 |
| 三价砷化氢化合物 (标准状态下) | mg/m ³ | 0.5 |
| 氨 (标准状态下) | mg/m ³ | 30 |
| 丙酮 (标准状态下) | mg/m ³ | 150 |

注：^a 适用于表面清洗工艺。

^b 特定行业的危险废气污染物 (HAP) 包括：锑化合物、砷化合物、砷化氢、四氯化碳、儿茶酚、氯、铬化合物、丙烯酸乙酯、乙基苯、乙二醇、盐酸、氢氟酸、铅化合物、甲醇，甲基异丁基甲酮、二氯甲烷、镍化合物、乙基苯、二甲苯、四氯乙烯、磷化氢、磷酸、甲苯、1,1,1 三氯乙烷 (已取消)。目前的工业惯例是不使用二甲苯、亚甲基、氯化物、四氯化碳、铬化合物、全氯乙烯、1,1,1 三氯乙烷或三氯乙烯。

^c 3%的氧气。

能源利用和废物产生

表 3 描述了该行业中的废物产生、能源和水资源的消耗指标案例。行业基准值仅供对比，个体项目应当致力于这些领域的不断提高。

表 3 能源和水资源的消耗以及废物产生

| 单位产品需投入的原材料 | 单位 | 行业基准 |
|-------------|----|------|
|-------------|----|------|



| | | |
|-----------------------|------------------------|-------------|
| 水 | l/300 mm | 42 |
| 半导体湿法设备超纯水 (UPW) 晶圆通过 | | |
| UPW 消耗晶圆 | l/200 mm | 4 000~8 000 |
| 净给水 | l/cm ² | 8~10 |
| 半导体代工厂 UPW | l/cm ² | 4~6 |
| 半导体代工厂生产工具的总能源消耗每晶圆 | (kW·h)/cm ² | 0.3~0.4 |
| 半导体代工厂的总支持系统每晶圆 | | 0.5~0.6 |
| 单位产品输出的废物 | 单位 | 行业基准 |
| 废物 ^a | | |
| 危险液体废物回收再利用 | % | 80 |
| 固体废物回收再利用 | % | 85 |

备注：^a 半导体生产商应当致力于生产“零废物”装置。

信息来源：《国际半导体技术蓝图》(2005年)。

环境监测

该行业的环境监测项目的执行应当面向在正常操作和异常条件下可能对环境产生重大潜在影响的所有生产活动。环境监测活动应当以适用于特定项目的废气、废水和资源利用的直接或间接指标为基础。

环境监测的频率应当足以监测参数提供具有代表性的数据。环境监测应由受过系统训练的人员使用经正确校准的、维护良好的设备按照检测和记录程序进行。监测得出的数据应经定期分析和检查，并与操作标准相对比，以便采取合适的矫正行动。《通用 EHS 指南》中介绍了对废气废水监测的抽样和分析方法。

2.2 职业健康与安全指南

职业健康与安全指南

职业健康与安全性能应按国际公认的暴露风险指南进行评估，包括美国政府工业卫生学家会议 (ACGIH)¹ 发布的阈限值 (TLV®) 职业暴露风险指南和生物接触限值 (BEI®)、美国职业安全健康研究所 (NIOSH)² 发布的危险化学品的袖珍指南、美国职业安全健康局 (OSHA)³ 发布的允许暴露极限 (PEL)、欧盟成员国⁴ 发布的指示性职业接触限值以及其他类似资源。

事故率和死亡率

各种项目均应尽全力保证项目工人 (不管是直接雇佣或是间接雇佣的工人) 的生产事故为零，尤其是那些会导致误工、不同等级残疾、甚至死亡的事故。设备生产率可以参考相关机构

¹ 可登陆 <http://www.acgih.org/TLV/> 和 <http://www.acgih.org/store/> 获取相关信息。

² 可登陆 <http://www.cdc.gov/niosh/ntp/> 获取相关信息。

³ 可登陆 http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992 获取相关信息。

⁴ 可登陆 http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/ 获取相关信息。



(如美国劳工部劳动统计局和英国健康与安全执行局)¹发布的信息，按照发达国家的设备性能设定基准。

职业健康与安全监测

应当对工作环境进行监测，以发现特定项目的职业危险物。作为职业健康与安全监测项目的一部分，监测操作应当委派专业人员²制定并执行。管理者还应记录事故、疾病和危险事件。《通用EHS指南》中介绍了职业健康与安全监测项目的其他指南信息。

3 参考文献和其他资料来源

- [1] Australian National Pollutant Inventory. Emission Estimation Technique Manual for the Electronics and Computer Industry. Queensland, Australia, 1999.
- [2] Eastern Research Group. Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions from Semiconductors Manufacturing. Prepared for US EPA, Point Sources Committee. Morrisville, North Carolina, 1999.
- [3] European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for Surface Treatment of Metals and Plastics. Sevilla, Spain, 2005.
- [4] European Union. 2003a. Directive 2002/95/EC on Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment. Brussels, Belgium,
- [5] European Union. 2003b. Directive 2002/96/EC on: Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). Brussels, Belgium,
- [6] Geng, Hwaiyu. Semiconductor Manufacturing Handbook. McGraw-Hill. New York: New York, 2005.
- [7] German Federal Government. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Berlin, Germany, 2002.
- [8] German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters. (Waste Water Ordinance-AbwV) Berlin, Germany, 17 June 2004.
- [9] Harper, C.A. Passive Electronic Component Handbook. McGraw-Hill. New York: New York, 1997.
- [10] Helsinki Commission (Helcom). Reduction of Discharges and Emissions from the Metal Surface Treatment. Recommendation 23/7. Helsinki: Finland, 2002.
- [11] Intel. Environmental, Health and Safety Report. <http://www.intel.com/intel/other/ehs/> (accessed on March 2006).
- [12] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Good Practice and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/> (accessed on June 2006).

¹ 可以登陆 <http://www.bls.gov/iif/>和 <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm> 获取相关信息。

² 专业人员包括持有执照的工业卫生人员、注册职业卫生人员、持有执照的安全专家，或其他同等资历人员。



- [13] International Technology Roadmap for Semiconductors. Environmental , Safety and Health. <http://public.itrs.net/> (accessed on March 2006).
- [14] Ireland Environmental Protection Agency. Integrated Pollution Control Licensing. Batneec Guidance Note for the Manufacture of Integrated Circuits and Printed Circuit Boards. Ardavan: Ireland, 1996.
- [15] McLyman, Colonel Wm. T. High Reliability Magnetic Devices: Design and Fabrication. CRC Edition. London: United Kingdom, 2002.
- [16] New York State Department of Environmental Conservation, Pollution Prevention Unit. Environmental Compliance and Pollution Prevention Guide for the Electronics and Computer Industry. New York: New York, 1999.
- [17] Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI). Guideline F5-90. Guide for Gaseous Exhaust Emissions. http://wps2a.semi.org/wps/portal/_pagr/118/_pa.118/190 (accessed on March 2006).
- [18] Semiconductor Industry Association. Occupational Health System 2000 Annual Survey of Work Injuries and Illnesses. San Jose: California, 2000.
- [19] US Environmental Protection Agency (EPA). Electronic and Computer Industry, Sector Notebook Project. Washington, DC, 1995.
- [20] US EPA. Reduction of Arsenic Wastes in the Semiconductor Industry. EPA/600/R-02/089. Washington, DC, 1998.
- [21] US EPA. Proposed Air Toxics Rule for Semiconductor Manufacturing. Fact Sheet. Washington, DC, 2001.
- [22] US EPA. 40 CFR Part 63 National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Semiconductor Manufacturing. Washington, DC, 2002.
- [23] US EPA. Design of the Environment. Printed Wiring Board. Section A, Clean Air Act Requirements. Washington, DC, 2006. <http://www.epa.gov/oppt/dfe/pubs/index.htm#pwb> (accessed on March 2006).
- [24] US EPA. 40 CFR Part 413. Electroplating Point Source Category. Washington, DC,
- [25] US EPA. 40 CFR Part 433. Metal Finishing Point Source Category. Washington, DC,
- [26] US EPA. 40 CFR Part 469. Electrical and Electronic Components Point Source Category. Washington, DC,
- [27] World Semiconductor Council (WCS). Position Paper Regarding PFC Emissions Reduction Goal, Fiuggi: Italy, April 26, 1999.
- [28] World Semiconductor Council (WSC). Joint Statement on the Ninth Meeting. Kyoto: Japan, May 19, 2005.
- [29] WSC and SEMI. Agreement for PFOS. Voluntary Semiconductor Industry Commitment. 2006. http://www.sia-online.org/pre_stat.cfm? ID=294 (accessed on April 2007).

附件 A：行业活动的通用描述

电子行业包括半导体、印刷电路板（PCB）、印制线路板（PWA）、显示器、被动元件和磁性设备的生产。



半导体生产

半导体生产需要使用硅、碳化硅（SiC）、砷化镓（GaAs）、金属、化学物质、水和能源。材料纯度要求极高，因此在清洁室，尤其是在光刻工艺中设置特殊气体系统、自动化学品处理系统和干燥压缩空气（CDA）系统非常重要。因为半导体生产需要大量超纯水，设置超纯水（UPW）系统也非常必要。这些超纯水主要用于湿洗工艺，也有一部分用于酸蚀刻、溶解和工具清洗作业。很多新建工厂通过回收清洗步骤的部分废水来减少水消耗。该项作业不会产生水污染。由于集成电路变小，震动控制和设备初始设计显得更重要了。

生产工艺包括对固体晶体材料进行数百次操作，固体晶体材料主要指硅，现在更多厂商使用碳化硅。砷化镓广泛应用于军事和商业上，包括激光、发光二极管（LED）和通信工具（如砷化镓芯片在手机中用作微波振荡器）。

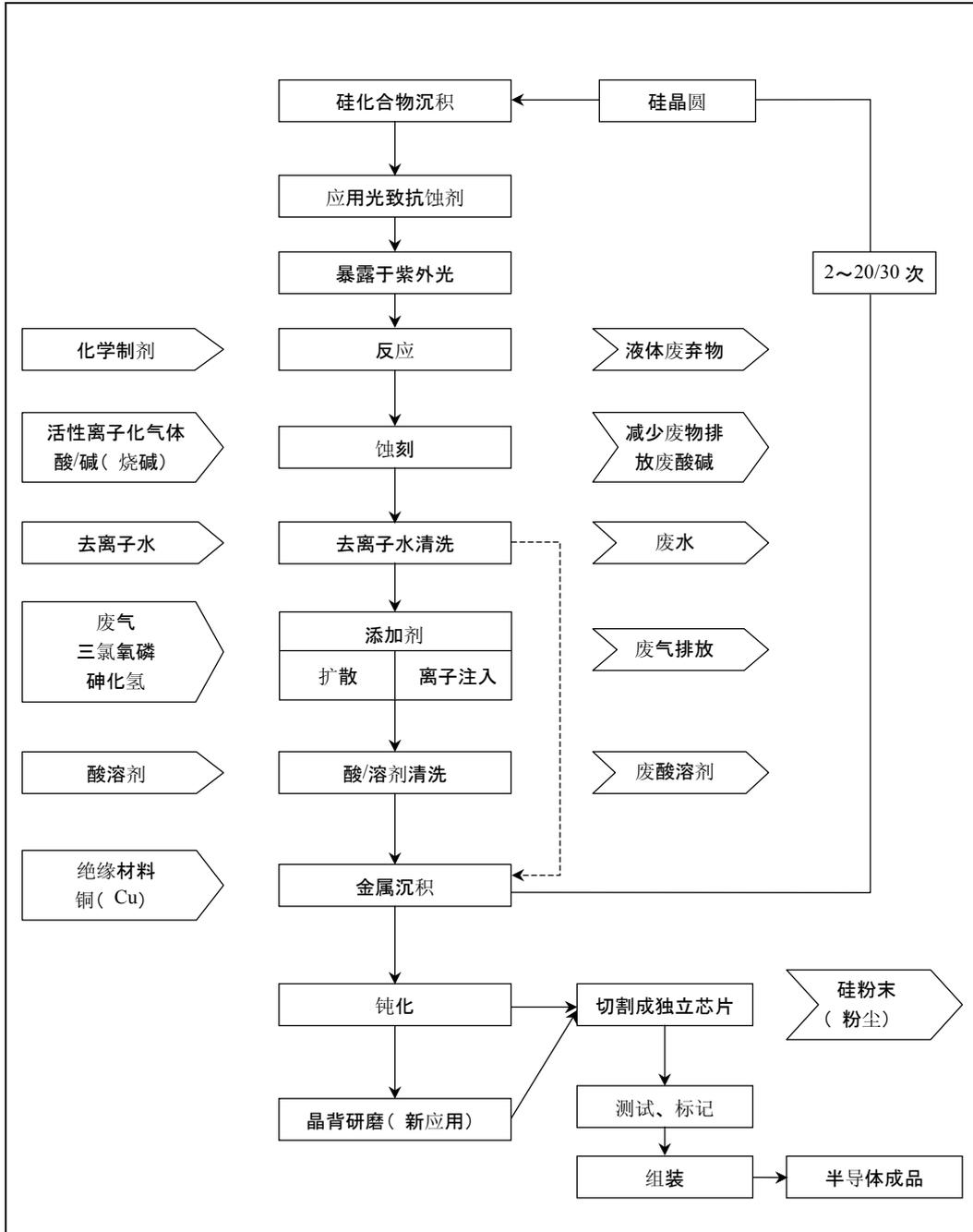
半导体生产包括有两道基本工序：制造半导体晶圆和装配、包装以及测试（APT），从而把晶圆组装成集成电路。

图 A1 总结了半导体生产的主要步骤，重点标出了添加化学品和其他流体的工序以及三废的生成点。

半导体晶圆生产需要具有多分子层晶体结构的硅（硅晶圆），这种材料可以通过可控技术，如化学气相沉积（CVD）或分子束外延（MBE）技术来获得。经过 900°C 到 1 200°C 的高温处理，硅晶圆表面就会形成一层薄薄的二氧化硅薄膜，它可以起到绝缘和保护作用。然后，要在晶圆再覆上薄薄的一层活性或非活性的光致抗蚀剂作感光材料，使晶圆暴露于穿过玻璃罩或模板的紫外光或 X 光，该玻璃罩或模板乃是之前与电路模板一起制成的。

活性的光致抗蚀剂在暴露区会溶解，可用化学反应试剂清除，并露出在二氧化硅上掩模形成的光刻图形。随后，二氧化硅通过湿蚀刻法或干蚀刻法进行清除：前者使用酸、碱或烧碱溶液；后者也称为等离子蚀刻法，使用活性电离气体，产品的分辨率较高，废物较少。最后，通过溶解或等离子剥离法去除多余的光致抗蚀剂。重复上述步骤 25 至 30 次，晶圆各硅层就会形成不同的彼此绝缘的各区域。整个工艺称作光刻法或微蚀刻法。

在金属氧化物半导体（MOS）技术中，可以用氮化硅等离子蚀刻这种干法工艺来替代热腐蚀磷酸（ H_3PO_4 ）的湿法工艺，减少废物生成，为工人提供更安全的环境，同时缩短工序。



* 在同一工艺的不同阶段可以进行的中间步骤

图 A1 半导体生产图解

资料来源：摘自澳大利亚国家污染物目录 (1999)

要改变晶圆的硅片区域的传导性，可以通过扩散或离子注入产生掺杂物。扩散物可以是气



态或是非气态的，需要在高温环境中进行。离子注入是用高速离子轰击硅片暴露区。晶圆上不同区域和硅层的接合可通过金属喷镀实现：在嵌入式工艺中安置非传导性的材料，然后用铝合金材料进行真空填充或通过电镀技术或电化学沉积（ECD）填充铜材料。多余的铜通过化学机械抛光（CMP）或平坦化工艺去除。其他金属喷镀技术，尤其是铜喷镀技术，包括物理气相沉积（PVD）和原子层沉积系统（ALD）。最后，通过钝化工艺在晶圆表面覆盖一层氧化物或聚酰氨表面涂层，以提供电路保护密封。

新式操作中需要很薄的半导体材料，因此，通过背磨或减压处理将晶圆削薄。每个成品晶圆都可能包含数百个已经电子测试的芯片，把晶圆切割成芯片是采用超薄金刚石刀片切割并标记。经电子测试后，每个芯片都被安装在金属或陶瓷架上，用细金线相连，密封后形成机械保护以免受外界环境损害。最后得到的物质包括一个或多个相互连接的芯片。

纳米技术和微型电机系统

纳米技术是在原子或分子尺度上建立功能性结构，保证至少一个维度是纳米级的。一些金属氧化物粉末（如氧化锌、氧化镓、氧化锡等），经高温蒸发可以合成同种金属氧化物的纳米带和纳米线。产生的半导体通常用作感应器、转换器、或其他电子和光学电子设备中。

微电机系统（MEMS）主要用微转换器（如温度、压力、化学物质和辐射微传感器）制成。它们的制造工艺与芯片的制造工艺相似。MEMS 生产的原材料很广，而且各有特定的电学特性，同时也有特定的机械、热力和化学特性。生产过程中，硅的应用最广泛。

最普遍的 MEMS 设备生产技术包括硅氧化层沉积和成形工艺、多晶硅层沉积和成形工艺以及氧化层去除工艺，最终产品中硅晶层可做小幅悬摆运动，以上工艺通常在氢氟酸混合液中完成。

切割和分离工艺很重要，因为 MEMS 的可移动部件很脆弱。设备测试是专项专用的；由于其易脆性，组装 MEMS 设备的总体要求很高。包装也是专项专用的，但是包装的目的是为了在不妨碍接触必要操作的环境参数的情况下，防止金属模受环境影响，必要操作的环境参数的情况包括气囊的压力感应器操作。MEMS 设备在工业部门的应用很广泛，包括汽车、工控、办公室设备、航空航天、医疗和通信行业。

印刷电路板（PCB）生产

PCB 生产与碱性材料电路的蚀刻和图形电镀相关，这些材料通常是分层的。PCB 可以是单层的、双层的、多层的或灵活分层的。可以使用加成法、半加成法或消减法，大多数情况下采用消减法。电路板预处理包括清洗、层合和钻孔；在进行化学电镀前，要进行化学和机械清洗。成像步骤可以通过光刻工艺或丝网印刷工艺把电路转换到电路板上。然后，使用电镀（通常是铜电镀）来加厚传导层，以保护其不被腐蚀。在焊接镀层（或热风整平）过程中，PCB 被插入熔融的焊接剂，通常是低温焊料合金（如无铅锡合金）。多余的焊接剂通过热风整平工艺去除。PCB 制造的最终步骤包括电子测试、尺寸检测和目视检测、包装和贴标签。



组装印刷电路板 (PCBA) 生产

PCB 通常由压缩的环氧树脂、特富隆、玻璃纤维或陶瓷组成的基板构成，该基板上安装有半导体（硅、碳化硅或砷化镓）和被动元器件。PCB 上焊接有特定的电气元器件。使用化学焊剂清洗电路板，以保证接下来的焊接顺利进行。可使用不同的技术焊接，包括波峰焊接、表面贴装技术（SMT）和手工焊接。在 PCB 组装过程中，非消耗臭氧层物质可以用于清洗印刷电路板配件以及水成和半水成工艺，这些物质包括：其他有机溶剂、碳氢化合物/表面活性物混合物、乙醇和有机溶剂混合物。目前，焊接剂残渣是用去离子水清洗，过去是使用现已禁用的氟利昂 113（CFC-113）和三氯乙烷（TCA）去除。实践显示，复杂的 PCB 配件也可以不经清洗，使用低残余的焊接剂焊接。

屏幕生产

平板显示器属于投影直视类产品，该产品又分为发射性产品和非发射性产品。最普遍的平板显示器是液晶显示器（LCD），其液晶动态受电场控制。观众看到的图像内容取决于液晶分子的排序。彩色滤光片和薄膜晶体管（TFT）被并排封装在一起，中间安装一个逆电流器，插入液晶，并最终封口。最后，装配组合偏振光镜、薄膜封装、电子器件、背光灯和底盘。

有机发光显示屏（OLED）结构简单，因其非真空显示屏内无液体或气体，它属于固态显示屏。有机发光显示屏用真空脱水的小分子发光材料制成。聚合物发光显示器（PLED）使用喷墨打印或旋涂技术中常用的聚合物发光材料。为了提高其性能，常在聚合物发光显示器中添加薄膜晶体管（TFT）。聚合物发光显示器具有生产工艺简单、光效高、低压驱动的优点，但是它的缺点是使用寿命短。

被动元器件生产

被动元器件生产的主要技术是通过压制和烧结三氧化二铝（ Al_2O_3 ）、氮化铝（ AlN ）和其他化学物质，来获取具有绝缘、导热或压电特性的微晶。最常见的被动元器件生产是微集成电路的陶瓷绝缘基板（ Al_2O_3 、 AlN ）的生产。

对高能基板，应用铝碳化硅（ AlSiC ）或铜碳化硅（ CuSiC ）来获取比标准 Al_2O_3 更优良的热传导性。通过将添加剂混合到碳或碳化硅基液中，可以生产出任何尺寸、任何电阻值的电阻。压电属性主要应用于所有压力传感器、应力传感器和超声清洗机或释放超声波的回波描述仪。特殊的氧化锌（ ZnO ）用在陶瓷尖峰电压抑制器（压敏电阻）中。

磁性设备生产

磁性设备生产工艺是通过混合磁性粉末（铁或稀有元素）来获得信息工业存储数据的磁性胶片或磁带，以及具有强磁性的陶瓷及烧结金属，后者用于为汽车工业或静止磁共振设备生产小型脉动变压器或特定用途的强磁铁。

