

第 6 章

电子工业排放

作者

Scott Bartos (美国)

Laurie S. Beu (美国)、C. Shepherd Burton (美国)、Charles L. Fraust (美国)、Francesca Illuzzi (意大利)、Michael T. Mocella (美国) 和 Sebastien Raoux (法国/美国)

参加作者

Guido Agostinelli (意大利)、Erik Alsema (荷兰)、Seung-Ki Chae (大韩民国)、Vasilis M. Fthenakis (美国)、Joseph Van Gompel (美国)、Hideki Nishida (日本)、Takayuki Oogoshi (日本) 和 Kurt T. Werner (美国)

目录

6	电子工业排放.....	6.5
6.1	导言.....	6.5
6.2	方法学问题.....	6.5
6.2.1	方法选择.....	6.5
6.2.1.1	半导体、液晶显示器和光电流的腐蚀和CVD清洁.....	6.6
6.2.1.2	热传导液体.....	6.13
6.2.2	排放因子的选择.....	6.15
6.2.2.1	半导体、液晶显示器和光电流的腐蚀和CVD清洁.....	6.15
6.2.2.2	热传导液体.....	6.21
6.2.3	活动数据的选择.....	6.21
6.2.4	完整性.....	6.24
6.2.5	建立一致的时间序列.....	6.25
6.3	不确定性评估.....	6.25
6.3.1	排放因子不确定性.....	6.25
6.3.2	活动数据不确定性.....	6.25
6.4	质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档.....	6.29
6.4.1	质量保证/质量控制（QA/QC）.....	6.29
6.4.2	报告和归档.....	6.29
	参考文献.....	6.31

公式

公式 6.1	估算FC排放集合的方法 1.....	6.9
公式 6.2	估算FC排放的方法 2a.....	6.9
公式 6.3	CF ₄ 的副产品排放.....	6.10
公式 6.4	C ₂ F ₆ 的副产品排放.....	6.10
公式 6.5	CHF ₃ 的副产品排放.....	6.10
公式 6.6	C ₃ F ₈ 的副产品排放.....	6.10
公式 6.7	估算FC排放的方法 2b.....	6.11
公式 6.8	CF ₄ 的副产品排放.....	6.11
公式 6.9	C ₂ F ₆ 的副产品排放.....	6.12

公式 6.10	CHF ₃ 的副产品排放	6.12
公式 6.11	C ₃ F ₈ 的副产品排放	6.12
公式 6.12	估算源自热传导液体的FC排放总量的方法 1	6.13
公式 6.13	估算源自热传导液体的FC排放量的方法 2	6.14

图

图6.1	估算电子生产中FC排放的决策树	6.8
图 6.2	估算电子生产中源自HT液体损耗的FC排放决策树	6.15

表

表6.1	电子生产中排放估算方法所需的信息来源	6.7
表 6.2	电子生产中FC排放的方法 1 特定气体排放因子	6.16
表 6.3	半导体生产中FC排放的方法 2 缺省排放因子	6.17
表 6.4	LCD生产中FC排放的方法 2 缺省排放因子	6.18
表 6.5	PV生产中FC排放的方法 2 缺省排放因子	6.19
表 6.6	电子工业FC减排技术的方法 2a 与 2b 缺省效率参数 ^{a,b,c}	6.20
表 6.7	2003、2004 和 2005 年各国硅 (Si) 和玻璃的总设计能力 (Mm ²)	6.23
表 6.8	2003 年国家PV 产能总量 ^a , Mm ²	6.24
表 6.9	半导体生产中FC排放的排放因子的方法 2 缺省估算相对误差, 95%置信区间	6.27
表 6.10	LCD生产中FC排放的排放因子的方法 2 缺省估算相对误差, 95%置信区间	6.28
表 6.11	估算电子生产中排放完全透明所需的信息	6.30

框

框 6.1	半导体生产的示例	6.13
-------	----------------	------

6 电子工业排放

6.1 引言

若干先进电子生产过程采用氟化合物（FC）用于等离子腐蚀复杂模式、清洁反应室和温度控制。本章讨论的具体电子工业部门包括半导体、薄膜晶体管平板显示器（TFT-FPD）和光电流（PV）生产（统称为“电子工业”）。¹

目前，电子工业排放出室温下为气态的FC和室温下为液态的FC。这些气体包括CF₄、C₂F₆、C₃F₈、c-C₄F₈、c-C₄F₈O、C₄F₆、C₅F₈、CHF₃、CH₂F₂、三氟化氮（NF₃）和六氟化硫（SF₆），用于电子生产中的两个重要步骤中：（i）含等离子腐蚀硅的材料和（ii）清洁已沉积硅的化学蒸汽沉积（CVD）工具腔壁。² 大多数FC 排放来源于腐蚀或清洁过程中FC前体的有限使用效率（即消耗量）。此外，生产过程中使用的氟化合物比例可以转化为副产品CF₄，在某些情况下会转化成C₂F₆、CHF₃ 和C₃F₈。³ 另外，还必须考虑腐蚀或清洁含碳低绝缘体常量（低k）材料（或电石）时，作为副产品形成的CF₄。⁴ 此外，F₂、COF₂ 和ClF₃ 的使用可能增加。尽管这些气体本身不会促成全球变暖，但是在某些情况下会导致CF₄ 形成。

在某些过程期间，电子制造商使用FC用作温度控制。亦称作热传导液体，这些FC在室温下是液体，具有很大的蒸汽压力。蒸发损耗促成总体FC排放。这些蒸发损耗出现在以下过程期间：某些过程设备冷却期间，包装半导体设备的测试期间，电子元件焊接到电路板的汽相气化回流期间。液态FC用于冷却运行期间的电子元件或系统时，似乎不会出现蒸发损耗。在这种应用情况下，此液态FC在整个产品或系统寿命中包含在密闭系统内。市场上有 20 多种不同的液态FC（通常作为完全氟化合物混合物）向电子部门出售。⁵ 因为每个液体的等价CO₂ 不同，所以对每个液体应分别跟踪和报告。此转化的精确值将按特定适用的报告要求来确定。^{6,7} 此外，液态FC偶尔在生产期间用于清洁TFT-FPD面板。

6.2 方法学问题

6.2.1 方法选择

¹ 最近对欧洲和美国 PV 制造商的综合调查表明，40%-50%的 PV 制造商使用相对少量的 FC（主要为结晶硅晶片腐蚀期间的 CF₄ 和 SiN_x 膜沉积之后反应室清洁期间的 C₂F₆）。根据 2004 年的这些调查，CF₄ 全球用量大约为 3 千万吨。而 FC 的全球用量在 2004 年出现降低，在可以预测的未来，PV 工业的可靠增长预测约为每年 30%（甚至更高）。而且，若干报告指出，基于硅技术的 FC 在提高生产效率和降低成本方面有很大优势（Shah 等人，2004；Maycock，2005；Agostinelli 等人，2004 和 Rentsch 等人，2005），这些预期的增长率和增加 FC 用量的预期判断就是将 PV 生产中 FC 排放纳入本章的原因。

² 尽管 C₅F₈ 目前不具有 IPCC 确认的全球增温潜势（GWP），但是 C₅F₈ 排放将在本章中讨论。C₅F₈ 是直接温室气体，可以使用本章描述的方法和数据来估算。C₅F₈ 的大气生命周期约为 1 年，从而造成相对较低的 GWP（Sekiya，2003）。

³ 已经注意到 C₄F₆ 分子分解中有 C₂F₆ 副产品排放，碳原子大于两个的其它 FC 分子也可能出现 C₄F₆ 副产品排放。注意，对于大多数 FC 前体，还未注意到 C₂F₆ 作为副产品形成。c-C₄F₈ 在 TFT-FPD 生产中用作腐蚀剂时，CHF₃ 的形成已经报告，C₄F₈O 用于室内清洁时的 C₃F₈ 副产品排放也经报告。

⁴ 0.25m 节点及以下节点半导体芯片的互连结构，低绝缘常量（低 k）材料首先用作绝缘体。许多低 k 材料包含碳，这种碳可能在薄膜腐蚀或用于低 k 沉积的 CVD 反应器清洁期间作为 CF₄ 而被去除。CF₄ 还可能在用于电石沉积的 CVD 反应器清洁期间形成。

⁵ 近期审核总结了其它物体间液态 FC（热传导液体）的使用、化学成分以及 GWP。参见 Burton（2004a）。

⁶ 这些材料在市场上出售的商标名为 Fluorinert™ 和 Galden®。Fluorinert™ 材料是从完全氟化的烷烃、醚、叔胺和氨基醚及其混合物，目的是为了达到预期的特性。Galden® 液体还包含一系列为预期特性选择的完全氟化的聚合物，称之为氟油脂填充液（PFPE）。

⁷ 如果使用商用混合物，则清单编制者将需要确保大量混合物转换为 CO₂ 等价物时所用的适当变换因子。

6.2.1.1 半导体、液晶显示器和光电流的腐蚀和CVD清洁

根据生产不同类型电子设备中使用的气体、使用的过程（或更概括的说，过程类型（例如 CVD 或腐蚀））、使用的加工工具品牌以及排放减少技术的实施，排放会有所差异。

方法的选择将取决于数据可获性，概述在决策树中，参见图 6.1 “电子生产中FC排放估算的决策树”。使用方法 1、方法 2 和方法 3 估算源自液态FC的排放，本节予以分别介绍。⁸

连续（原地）排放监控以估算源自本工业排放的方式，目前认为技术和经济是不可行的。但是，在新过程及工具的开发期间，或商业可用过程条件（也称为中线过程条件）具备之后，要定期测量FC排放。⁹在进行大量生产之前，工业搜索最小化FC排放的中线过程。然而必须注意，FC排放可能会受到过程变量变化的影响（例如压力、温度、等离子功率、FC气流、加工时间）。因此，用于估算排放方法的准确性，将受到生产中所用过程和参考中线过程之间最终差异的影响。此外，FC 排放控制设备的功效取决于按照制造商的规格操作和维护设备：增强的气流、不当的温度设置和未执行所需的维护，均会单独和集合对性能造成负面影响。

估算排放的准确性取决于使用的方法。方法 1 使用所有参数的缺省值，不考虑排放控制技术的使用。对于采用和不采用排放控制技术的过程所用的气体比例，方法 2a 使用特定公司数据（但是区分不出腐蚀和清洁）和其它参数的缺省值。对于腐蚀与清洁中使用的气体比例以及采用排放控制技术过程中使用的气体比例，方法 2b 使用特定公司数据，但是对某些参数或所有其它参数，则依靠于缺省值。最严格的方法 3 需要一整套特定过程值，而不是采用缺省值。

表 6.1 总结了电子生产中排放估算方法的数据需求。

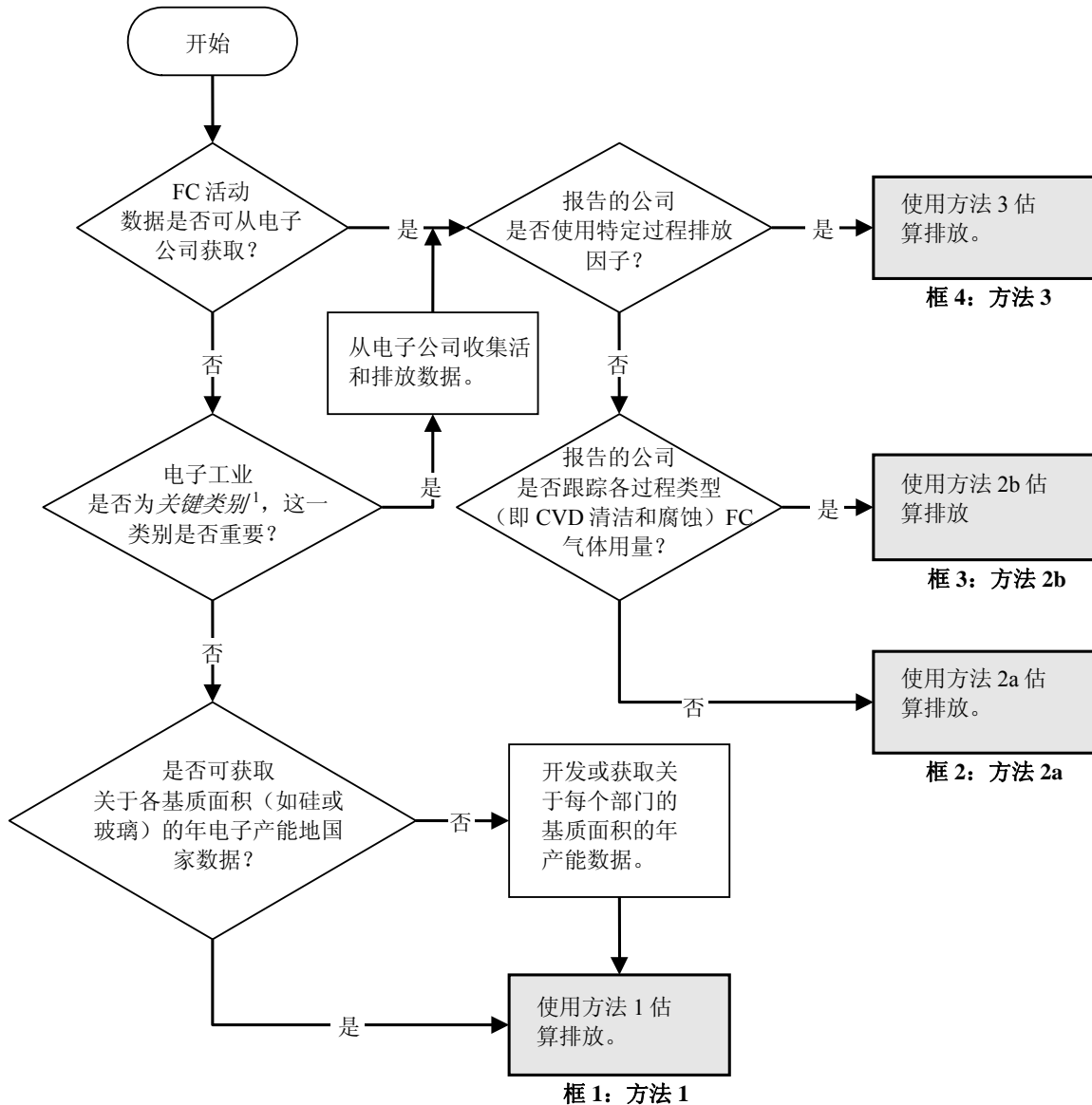
⁸ 图 6.1 中所述的逻辑未显示出组合方法以改善排放估算的可能性。例如，使用特定气体和过程的方法 3 以及对其它气体和过程的方法 2b，而非仅使用方法 2b，可能获得改善的排放估算。类似地，与仅采用方法 2a 相比，方法 2a 和方法 2b 经组合，可能会产生改善的估算。但是，方法 1 不应与任何其它方法组合。

⁹ 中心条件指设备制造商标准化销售设备的条件。这些是气流、腔压、运作时间、等离子功率等的名义规格。通常由半导体制造商修改这些条件，为特定的需求优化这些条件。

表 6.1
电子生产中排放估算方法所需的信息来源

	数据	方法 1	方法 2a	方法 2b	方法 3
过程气体输入工具	$FC_{i,p}$ = 送到特定过程 p 或少量通用加工工具（例如，氮化硅腐蚀）气体 i 的 kg 数。				M
	$FC_{i,p}$ = 送到广泛过程类别气体 i 的 kg 数（如，腐蚀或 CVD 腔室清洁）。		M	M（腐蚀）& M（CVD）	
	h = 使用后运输集装箱中剩余的气体比例（根部）。		D	D	M
工具中的过程气体反应和去除	$U_{i,p}$ = 每种气体 i 和过程 p 的使用率（去除或转换的比例）。		D	D（腐蚀）与 D（CVD） ^a	M
	$B_{CF_4,i,p}$ 、 $B_{C_2F_6,i,p}$ 、 $B_{CHF_3,i,p}$ 和 $B_{C_3F_8,i,p}$ = 每个过程的气体 i 中 CF_4 、 C_2F_6 、 CHF_3 和 C_3F_8 分别产生的副产品排放的排放因子。		D	D（腐蚀）与 D（CVD） ^a	M
下游 FC 排放控制	$a_{i,p}$ = 送到经认证 FC 排放控制技术过程中的气体 i 量的比例。		M	M	M
	$d_{i,p}$ = 排放控制技术去除的气体 i 的比例。		D	D ^a	M
	$d_{CF_4,p}$ 、 $d_{C_2F_6,p}$ 、 $d_{CHF_3,p}$ 和 $d_{C_3F_8,p}$ = 通过排放技术分别去除的 CF_4 、 C_2F_6 、 CHF_3 和 C_3F_8 副产品的比例。 ^b				M
年生产能力	C_d = 处理基质表面积的年生产设计能力（如，硅、玻璃）。	M			
	C_u = 年使用能力的比例	D/M			
<p>M = 测量或获得这些值。</p> <p>D = 使用指南中的缺省因子。</p> <p>^a 可以获得且可支持时，M 值可以代替方法 2a 和方法 2b 的 D 值。参见表 6.6 中的条件。</p> <p>^b 没有方法 2a 和方法 2b 的缺省值，因为副产品的影响已并入气体 i 的 $d_{i,p}$ 的 D 值中。</p>					

图 6.1 估算电子生产中 FC 排放的决策树



注:

1 有关关键类别和决策树使用的讨论, 请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和关键类别识别”(参见 4.1.2 节有关有限资源部分)。

方法 1—缺省

方法 1 是最不准确的估算方法, 仅当不能获得特定公司数据时才使用此方法。与方法 2 或方法 3 不同, 方法 1 用于给出汇总的 FC 排放估算, 尽管这种方法会产生特定气体的排放。同时对表 6.2 中列出的所有气体进行估算, 且只有作为完整的集合报告时才能使用这些估算。

根据生产电子产品(半导体、TFT-FPD 或 PV 电池)的部门(或类别), 这些集合的元素有所不同。集合的每个元素是特定气体的排放因子, 表示生产期间消耗的每单位基质面积的平均排放(如, 硅、TFT-FPD 面板或 PV 电池)。对于任何类别的电子产品, 这些因子(集合元素)乘以基质过程的年使用能力(C_u , 一个比例数值)以及年生产设计能力(C_d , 单位为千兆平方米 (Gm^2))。乘积($C_u \cdot C_d$)是电子生产期间消耗基质数量的估算值。结果是气体的年排放量集合, 用 kg 来表示, 其中的气体包含了每类电子产品的集合。因为在 PV 生产中 FC 使用有很大不同, 所以需要计算采用 FC 的 PV 生产比例所用的第三个因子, 来估算 PV 电池生产中的 FC 排放。方法 1 方程, 如公式 6.1 所示。

公式 6.1
估算 FC 排放集合的方法 1

$$\{FC_i\}_n = \{EF_i \cdot C_u \cdot C_d \cdot [C_{PV} \cdot \delta + (1 - \delta)]\}_n \quad (i = 1, \dots, n)$$

其中：

$\{FC_i\}_n$ = FC 气体 i 的排放量，气体 i 的质量

注： $\{ \}_n$ 表示每类产品（半导体、TFT-FPD 或 PV 电池）的集合， n 表示每个集合中纳入的气体数量（6 代表半导体，3 代表 TFT-FPD 制造商，2 代表 PV 电池。参见表 6.2）。只有使用此方法 1 生成和报告集合的所有元素时，这些估算才有效。

EF_i = 气体 i 的 FC 排放因子，表示产品类别每平方米基质表面积的一年排放质量，单位为（气体 i 的质量）/m²

C_u = 企业年生产能力使用比例，比例形式

C_d = 年生产设计能力，处理的基质 Gm²，不包括 Mm² 的 PV 生产

C_{PV} = 使用 FC 的 PV 生产的比例，比例形式

δ = 当公式 6.1 应用到 PV 工业时为 1，当公式 6.1 应用到半导体或 TFT-FPD 工业时为零，无量纲

此方法不考虑过程类型（腐蚀与清洁）、个别过程或工具之间的差异。也不考虑大气排放控制设备的可能使用。

在使用方法 1 时，清单编制者不应采用任何方式修改表 6.2 中假定的 FC 集合。清单编制者不应将采用方法 1 估算的排放与使用方法 2 或方法 3 估算的排放进行总合。清单编制者可能对两种都不采用，例如，采用 CF₄ 的方法 1 因子来估算源自半导体的 CF₄ 排放，并将其与方法 2 或方法 3 中其它 FC 气体的结果进行总合。（参见第 6.2.2.1 节）

方法 2a—特定过程气体参数

根据有关气体消耗量和排放控制技术的特定公司数据，采用此方法计算所用每个 FC 的排放。使用如下工业范围缺省值：使用后运输集装箱中剩余的购买气体“根部”或比例（ h ），半导体或 TFT-FPD 生产过程中“使用的”（去除或转换的）气体比例，以及过程期间转换成 CF₄ 或 C₂F₆ 的气体比例。若要使用方法 2a，清单编制者必须与所在工业直接沟通（如，年排放量报告）以收集数据，并确保配备和使用了排放控制技术。

总排放量等于生产过程中所用 FC _{i} 气体产生的排放量加上 FC _{i} 使用中产生的副产品 CF₄、C₂F₆、CHF₃ 和 C₃F₈ 的排放量，如公式 6.2、6.3、6.4、6.5 和 6.6 所示。与本节后面解释的方法 3 和方法 2b 不同，方法 2a 区分不出过程或过程类型（腐蚀与清洁）、单个过程或工具。缺省排放因子表示：所有腐蚀和 CVD 过程中每种气体分别形成的加权平均值（基于加权的专家判断）。

如本节以下有关排放因子的讨论，方法 2a 使用过程（CVD 或腐蚀）类型的排放因子，其中个别 FC 最常用于特定电子部门。此方法反应了当前的趋势，因为个别 FC 往往主要用于所有各工业的特定过程类型（CVD 或腐蚀）中。但是，如果各国有些公司或工厂与使用的工业范围模式明显背离（如，将某种气体主要用于腐蚀，而其他企业主要在 CVD 中使用），则清单编制者应使用方法 2a 而不是方法 2b 来评估引入错误的可能性。

公式 6.2
估算 FC 排放的方法 2a

$$E_i = (1 - h) \cdot FC_i \cdot (1 - U_i) \cdot (1 - a_i \cdot d_i)$$

其中：

E_i = 气体 i 的排放量，单位为 kg

FC_i = 气体 i 的排放量，（例如 CF₄、C₂F₆、C₃F₈、c-C₄F₈、c-C₄F₈O、C₄F₆、C₃F₈、CHF₃、CH₂F₂、NF₃、SF₆），单位为 kg

h = 使用后运输集装箱剩余的气体比例（根部），比例形式

U_i = 气体 i 的使用率（过程中去除或转换的比例），比例形式

a_i = 在采用排放控制技术（特定公司或工厂）的过程中使用的气体 i 量比例，比例形式

d_i = 排放控制技术去除的气体 i 比例，比例形式

公式 6.3

CF₄ 的副产品排放

$$BPE_{CF_4,i} = (1-h) \cdot B_{CF_4,i} \cdot FC_i \cdot (1-a_i \cdot d_{CF_4})$$

其中：

$BPE_{CF_4,i}$ = 源自所用气体 i 的 CF₄ 副产品排放量，单位为 kg

$B_{CF_4,i}$ = 排放因子，单位为引起的 kg CF₄/kg 所用气体 i

d_{CF_4} = 排放控制技术去除的副产品 CF₄ 的比例，比例形式

公式 6.4

C₂F₆ 的副产品排放

$$BPE_{C_2F_6,i} = (1-h) \cdot B_{C_2F_6,i} \cdot FC_i \cdot (1-a_i \cdot d_{C_2F_6})$$

其中：

$BPE_{C_2F_6,i}$ = 源自所用气体 i 的 C₂F₆ 的副产品排放量，单位为 kg

$B_{C_2F_6,i}$ = 排放因子，单位为引起的 kg C₂F₆/kg 所用气体 i

$d_{C_2F_6}$ = 排放控制技术去除的副产品 C₂F₆ 的比例，比例形式

公式 6.5

CHF₃ 的副产品排放

$$BPE_{CHF_3,i} = (1-h) \cdot B_{CHF_3,i} \cdot FC_i \cdot (1-a_i \cdot d_{CHF_3})$$

其中：

$BPE_{CHF_3,i}$ = 源自所用气体 i 的 CHF₃ 的副产品排放量，单位为 kg

$B_{CHF_3,i}$ = 排放因子，引起的 kg CHF₃/kg 所用气体 i

d_{CHF_3} = 排放控制技术去除的副产品 CHF₃ 的比例，比例形式

公式 6.6

C₃F₈ 的副产品排放

$$BPE_{C_3F_8,i} = (1-h) \cdot B_{C_3F_8,i} \cdot FC_i \cdot (1-a_i \cdot d_{C_3F_8})$$

其中：

$BPE_{C_3F_8,i}$ = 源自所用气体 i 的 C₃F₈ 的副产品排放量，单位为 kg

$B_{C_3F_8,i}$ = 排放因子，引起的 kg C₃F₈/kg 所用气体 i

$d_{C_3F_8}$ = 排放控制技术去除的副产品 C₃F₈ 的比例，比例形式

估算气体 i 的排放量 (E_i) 和每种气体 ($BPE_{CF_4,i}$ 、 $BPE_{C_2F_6,i}$ 、 $BPE_{CHF_3,i}$ 和 $BPE_{C_3F_8,i}$) 的 CF₄、C₂F₆、CHF₃ 和 C₃F₈ 副产品排放量之后，清单编制者或公司应对所有气体的这些排放量求和，以估算汇总的 FC 总排放量。

方法 2b — 特定过程类型参数

方法 2b 需要输入所有腐蚀过程和所有清洁过程 ($FC_{i,p}$) 的每种气体的汇总量数据。因此，其仅区分广泛的过程类型（腐蚀与 CVD 腔室清洁）之间的差异，而区分不出许多可能的个别过程或少量过程集合。工业范围的缺省值可用于任何或所有以下内容：

- 使用后运输集装箱中剩余的气体比例称为“根部” (h) ；
- 按照过程类型“使用”（去除或转换）的气体比例 ($U_{i,p}$) ；
- 过程类型中， CF_4 副产品排放的排放因子 ($B_{CF4,i,p}$) ；
- 过程类型中， C_2F_6 副产品排放的排放因子 ($B_{C2F6,i,p}$) ；
- 过程类型中， CHF_3 副产品排放的排放因子 ($B_{CHF3,i,p}$) ； 和
- 过程类型中， C_3F_8 副产品排放的排放因子 ($B_{C3F8,i,p}$) ；

缺省值还代表按过程类型 ($d_{i,p}$ 、 $d_{CF4,p}$ 、 $d_{C2F6,p}$ 、 $d_{CHF3,p}$ 和 $d_{C3F8,p}$) 采用排放控制技术去除的气体比例（参见表 6.6）。除非已经配备了排放控制技术，否则 $a_{i,p}$ 的缺省值（输入采用排放控制技术过程中的气体量比例）为零。 $U_{i,p}$ 、 $BCF_{4,i,p}$ 、 $BC_2F_{6,i,p}$ 、 $BCHF_{3,i,p}$ 和 $BC_3F_{8,i,p}$ 的缺省值表示单个未加权平均值，是在所有腐蚀过程和所有 CVD 过程中每种气体分别形成的。特定公司或特定工厂排放因子可代替缺省值（若可获取）。公式考虑了排放控制设备的特定企业使用，而未考虑个别过程或工具之间的差异、或过程和工具混合生产工厂之间的差异。因此，方法 2b 估算不如方法 3 估算准确。另外，注意方法 2b 适用于半导体和 TFT-FPD 生产。

特定 FC (FC_i) 使用产生的排放，包含 FC_i 本身的排放以及 FC_i 使用期间作为副产品产生的 CF_4 、 C_2F_6 、 CHF_3 和 C_3F_8 。对于每种过程类型的每种气体，应重复以下计算：

公式 6.7 估算 FC 排放的方法 2b

$$E_i = (1-h) \cdot \sum_p [FC_{i,p} \cdot (1-U_{i,p}) \cdot (1-a_{i,p} \cdot d_{i,p})]$$

其中：

E_i = 气体 i 的排放量，单位为 kg

p = 过程类型（腐蚀与 CVD 腔室清洁）

$FC_{i,p}$ = 输入过程类型 p 中气体 i 的质量（如， CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 $c-C_4F_8$ 、 $c-C_4F_8O$ 、 C_4F_6 、 C_5F_8 、 CHF_3 、 CH_2F_2 、 NF_3 、 SF_6 ），kg

h = 使用后运输集装箱剩余的气体比例（根部），比例形式

$U_{i,p}$ = 每种气体 i 和过程类型 p 的使用率（去除或转换的比例），比例形式

$a_{i,p}$ = 输入配备排放控制技术（特定公司或特定工厂）的过程类型 p 中气体量 i 的比例，比例形式

$d_{i,p}$ = 过程类型 p 所用排放控制技术去除的气体 i 比例（如果在过程类型 p 中使用多个排放控制技术，则这是多个排放控制技术去除比例的平均值，其中使用此技术输入工具的气体量，计算每个比例的权重），比例形式

公式 6.8 CF_4 的副产品排放

$$BPE_{CF4,i} = (1-h) \cdot \sum_p [B_{CF4,i,p} \cdot FC_{i,p} \cdot (1-a_{i,p} \cdot d_{CF4,p})]$$

其中：

$BPE_{CF4,i}$ = 由使用的气体 i 转换而来的 CF_4 的副产品排放量，单位为 kg

$B_{CF_4,i,p}$ = 由过程类型 p 中的气体 i 转换而来的 CF_4 副产品排放的排放因子，单位为产生的 $kgCF_4/kg$ 所用气体 i

$d_{CF_4,p}$ = 过程类型 p 中所用排放控制技术（如，表 6.6 中列出的控制技术类型）去除的 CF_4 副产品比例，比例形式

公式 6.9
 C_2F_6 的副产品排放

$$BPE_{C_2F_6,i} = (1-h) \cdot \sum_p [B_{C_2F_6,i,p} \cdot FC_{i,p} \cdot (1 - a_{i,p} \cdot d_{C_2F_6,p})]$$

其中：

$BPE_{C_2F_6,i}$ = 由使用的气体 i 转换而来的 C_2F_6 副产品排放量，单位为 kg

$B_{C_2F_6,i,p}$ = 由过程类型 p 中的气体 i 转换而来的 C_2F_6 副产品排放的排放因子，单位为产生的 kgC_2F_6/kg 所用气体 i

$d_{C_2F_6,p}$ = 过程类型 p 中所用排放控制技术去除的 C_2F_6 副产品比例（如，表 6.6 中列出的控制技术类型），比例形式

公式 6.10
 CHF_3 的副产品排放

$$BPE_{CHF_3,i} = (1-h) \cdot \sum_p [B_{CHF_3,i,p} \cdot FC_{i,p} \cdot (1 - a_{i,p} \cdot d_{CHF_3,p})]$$

其中：

$BPE_{CHF_3,i}$ = 由所用气体 i 转换而来的 CHF_3 副产品排放量，单位为 kg

$B_{CHF_3,i,p}$ = 由过程类型 p 中的气体 i 转换而来的 CHF_3 副产品排放的排放因子，单位为产生的 $kg CHF_3/kg$ 所用气体 i

$d_{CHF_3,p}$ = 过程类型 p 中所用排放控制技术去除的 CHF_3 副产品的比例（例如表 6.6 中列出的控制技术类型），比例形式

公式 6.11
 C_3F_8 的副产品排放

$$BPE_{C_3F_8,i} = (1-h) \cdot \sum_p [B_{C_3F_8,i,p} \cdot FC_{i,p} \cdot (1 - a_{i,p} \cdot d_{C_3F_8,p})]$$

其中：

$BPE_{C_3F_8,i}$ = 源自所用气体 i 的 C_3F_8 副产品排放量，单位为 kg

$B_{C_3F_8,i,p}$ = 由过程类型 p 中的气体 i 转换而来的 C_3F_8 副产品排放的排放因子，单位为产生的 kgC_3F_8/kg 所用气体 i

$d_{C_3F_8,p}$ = 过程类型 p 中所用排放控制技术去除的 C_3F_8 副产品的比例（例如表 6.6 中列出的控制技术类型），比例形式

注意，在某些腐蚀或清洁配方中，多个 FC 前体可同时使用，且作为副产品排放的 CF_4 、 C_2F_6 、 CHF_3 或 C_3F_8 ，可能源于每个单独 FC 前体的分解过程。这些情况下， CF_4 、 C_2F_6 、 CHF_3 或 C_3F_8 副产品应报告为产生于最大流量的 FC 气体中。

方法 3—特定过程参数

方法 3 还使用公式 6.7、6.8、6.9、6.10 和 6.11。但是，对于每个单独过程或每个少量过程集合，此方法需要这些公式中所用全部参数的特定公司或特定工厂值（如，氮化硅腐蚀，或等离子增强化学蒸汽沉积（PECVD）工具腔室清洁）。因此，若使用公式 6.7、6.8、6.9、6.10 和 6.11，则清单编制者需要将公式中的“p”解释为特定“过程”（如，氮化硅腐蚀，或等离子增强化学蒸汽沉积（PECVD）工具腔室清洁），而非“过程类型”。

为增强透明性和可比较性，用于这些排放参数的值应进行详细的记录归档（参见第 6.2.2 节）。

半导体生产期间源自含碳薄膜的 CF₄ 形成过程

方法 2a、方法 2b 和方法 3 考虑以下两种排放：通过含碳低电解常数（k）材料的腐蚀去除期间，形成的 CF₄ 排放；或半导体生产期间清洁含低 k 或电石薄膜的 CVD 反应器，形成的 CF₄ 排放。即使 FC 前体不含碳或 FC 前体不是温室气体，CF₄ 也可能形成。

例如，清洁具有 NF₃ 的低 k CVD 反应器将产生副产品 CF₄。这些情况下，公式 6.7 应当用于报告 NF₃ 排放，公式 6.8 的结果应当用于反映源于过程中的 CF₄ 排放。在 F₂、COF₂ 或 ClF₃ 用于腔室清洁的这些情况下，也可能形成 CF₄。这种情况下，使用公式 6.8 估算 CF₄ 排放，添加到 CF₄ 排放总量的结果可从公式 6.7 中获得。在这两种情况下，应当测量 B_{CF₄,ip} 产生的 CF₄ 质量与反应器中引入的清洗气或腐蚀气的比例。

估算了每种 FC 气体的排放量和作为副产品排放的 CF₄、C₂F₆、CHF₃ 及 C₃F₈ 排放量之后，清单编制者或公司应当对所有气体的这些排放量求和，以估算出具体过程中的总合 FC 排放量。

框 6.1 半导体生产的示例

例如，如果来源使用 NF₃（对于仓室清洁和腐蚀）、CHF₃（腐蚀）和 CF₄（腐蚀），如果使用低 k 薄膜，对于 NF₃ 和 CF₄ 使用公式 6.7 估算排放总量，对于去除含 NF₃ 的低 k 薄膜时形成的 CF₄，使用公式 6.8。在公式中，总量为：

$$FC \text{ 排放总量} = E_{NF_3} + E_{CHF_3} + E_{CF_4} + BPE_{CF_4,NF_3}$$

6.2.1.2 热传导液体

估算源自使用热传导液体的排放有两种方法。方法的选择将取决于使用热传导液体时活动数据的可获得性，概述在决策树中（参见图 6.2 “估算源自热传导液体的 FC 排放的决策树”，以及第 1 章的第 1.5 节“在质量平衡和排放因子方法之间的选择”）。

方法 1 – 热传导液体

如果有关热传导液体的特定公司数据不可获得，则可以采用方法 1。对于估算源自热传导液体损耗的排放，这两种方法都不太准确。与方法 2 不同，此方法估算总合排放量——表示为 C₆F₁₄ 质量的所有液态 FC 的加权平均排放量¹⁰。计算取决于一般排放因子，此因子表示半导体生产期间消耗每单位硅的平均总合排放量。方程如公式 6.12 所示。

公式 6.12 估算源自热传导液体的 FC 排放总量的方法 1

$$FC_{liquid,total} = EF_l \cdot C_u \cdot C_d$$

其中：

FC_{液体, 总量} = FC 排放总量（表示为 C₆F₁₄ 质量），单位为 Mt C₆F₁₄

EF_l = 排放因子（期间消耗每 Gm² 硅的总合 FC 排放量，表示为 C₆F₁₄ 质量（参见表 6.2）），单位为 Mt C₆F₁₄/Gm²

¹⁰ 在缺少 GWP 估算值时，C₆F₁₄ 的适当 GWP 已经用作替代物（用于推导出缺省排放因子）。（参见美国温室气体和碳汇清单：1990-2003，第 166 页，表 4-58 的脚注。（美国 EPA，2005））

C_u = 期间国内所有半导体生产设施的平均产能使用率，比例形式

C_d = 国内半导体生产设施的设计能力，单位为 Gm^2

方法 2 – 热传导液体

有一种方法 2 可估算源自使用每种FC液体的实际排放。此方法是可考虑年周期期间液态FC使用的质量平衡方法。如果特定公司数据可以获得，则可采用此方法。在一年中，液态FC用于填充新购买的设备，并通过蒸发替换设备运作中的FC液体损耗。方法 2 忽略了如下液体损耗：填充新设备，或现有设备期间，或旧设备退役（对于这些昂贵的液体是合理的）。¹¹ 清单编制者应从公司获得估算排放的液体化学成分。此方法如公式 6.13 所示。

公式 6.13

估算源自热传导液体的 FC 排放量的方法 2

$$FC_i = \rho_i \cdot [I_{i,t-1}(l) + P_{i,t}(l) - N_{i,t}(l) + R_{i,t}(l) - I_{i,t}(l) - D_{i,t}(l)]$$

其中：

FC_i = FC_i 的排放量，单位为 kg

ρ_i = 液态 FC_i 的密度，单位为 kg/litre

$I_{i,t-1}(l)$ = 上一个周期结束时液态 FC_i 的清单，单位为升

$P_{i,t}(l)$ = 期间液态 FC_i 的净购量（净购量和任何回收量），单位为升

$N_{i,t}(l)$ = 新设施的填加总量（或铭牌容量），单位为升

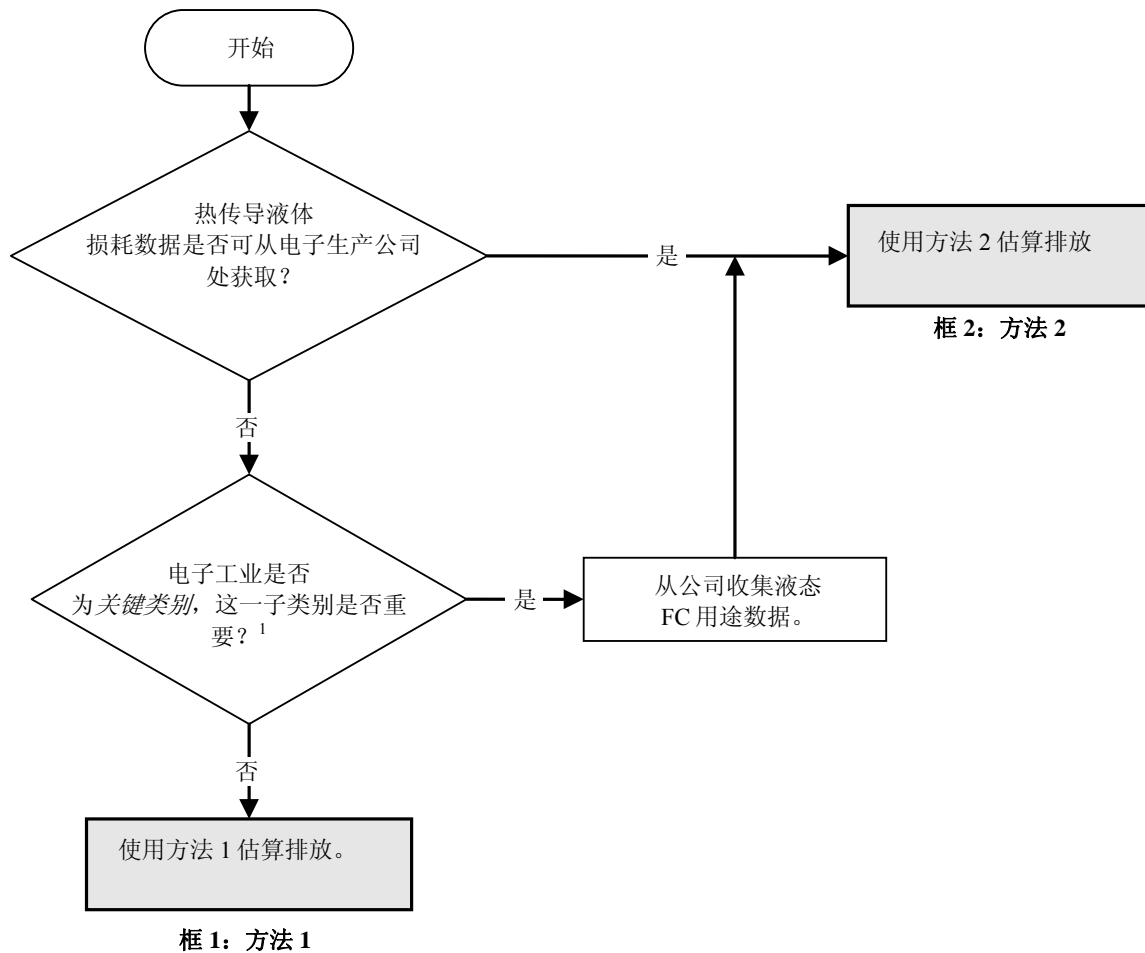
$R_{i,t}(l)$ = 退役或售出设备的填加总量（或铭牌容量），单位为升

$I_{i,t}(l)$ = 周期结束时液态 FC_i 的清单，单位为升

$D_{i,t}(l)$ = 期间退役设备中离场回收和发送的 FC_i 量，单位为升

¹¹ 热传导液体价格从每升\$55-\$130 不等。3M 是一家著名热传导液体的制造商，经其估算，2000 个老式的生产工厂每年会因蒸发释放出 1900 升。使用热传导液体测试设备的制造商，可减少蒸发损耗的新设计报告的损耗率大约 30 升/年/系统，而老的设计报告的损耗率约 50 升/年/系统。

图 6.2 估算电子生产中源自 HT 液体损耗的 FC 排放决策树



注:

¹ 有关关键类别和决策树使用的讨论, 请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和关键类别识别”(参见 4.1.2 节有关有限资源部分)。

6.2.2 排放因子的选择¹²

6.2.2.1 半导体、液晶显示器和光电流的腐蚀和 CVD 清洁

方法 1

方法 1 的缺省排放因子, 如下表 6.2 所示。

在使用方法 1 时, 按任何方式修改表 6.2 中假定的 FC 集合或排放因子的值, 皆非优良作法。清单编制者不应将采用方法 1 估算的排放与使用方法 2 或方法 3 估算的排放总合。例如, 清单编制者可能不使用 CF_4 的方法 1 因子来估算源自半导体的 CF_4 排放, 也不将其与方法 2 或方法 3 中其它 FC 气体的结果总合。还应注意, 表 6.2 中所示的方法 1 FC 排放因子只能在编制国家温室气体清单时, 用于估算半导体、TFT-FPD 或 PV 制造中的 FC 年总合排放量。

¹² 如果未在第 6 章中明确提供开发排放因子的来源和方法, 可在 Burton (2006) 中找到相关资料。

表 6.2
电子生产中 FC 排放的方法 1 特定气体排放因子

电子工业部门	排放因子 (EF) (处理的每单位基质面积的质量)						
	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	C ₃ F ₈	NF ₃	SF ₆	C ₆ F ₁₄
半导体, 单位为 kg/m ²	0.9	1.	0.04	0.05	0.04	0.2	NA
TFT-FPD, 单位为 g/m ²	0.5	NA	NA	NA	0.9	4.	NA
PV 电池 ^a , 单位为 g/m ²	5	0.2	NA	NA	NA	NA	NA
热传导液体 ^b , 单位为 kg/m ²	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.3

^a EF 改编自 Fthenakis、Alsema 和 Agostinelli 未发表的著作。(Fthenakis, 2005) 注意, 此因子仅适用于特定硅技术和减排技术。

^b EF 假定: HTF 具有相同的 GWP, C₆F₁₄ 表示合适的替代物。此因子的来源在 Burton (2004) 中说明, 基于 Tuma 和 Tousignant (2001) 的部分著作。

方法 2

如上所述, 基于简单电子生产变量的排放因子还不足以计算影响排放的所有因子。以下每个参数数据是准备可靠估算所必需的:

- 使用的气体;
- 使用的过程类型 (CVD 或腐蚀);
- 使用的加工工具的品牌;
- 减排技术。

根据直接测量、文献资料和专家判断 (参见表 6.3、6.4 和 6.5, 分别为半导体¹²、TFT-FPD¹³和PV¹² 生产内FC排放的方法 2 缺省排放因子), 开发了方法 2a和方法 2b中所用参数的缺省值。鉴于表述电子工业内各种生产条件的难度, 缺省排放参数具有内在不确定性。若采用大型测量数据集可以改善准确性, 使用类似或相同的化学配方将因子应用于类似的过程中, 开发缺省因子必然需要某些形式的所有数据平均值。

电子工业专家预期, 化学及设备供应商和电子制造商的快速技术创新将促成未来排放大量减少 (即 2006 以后)。因此, 这些类别的排放因子应进行演化, 以反映出这些变化。半导体和 TFT-FPD 工业已经分别通过世界半导体理事会和世界 LCD 工业合作委员会建立机制, 评估了全球排放因子。PV 工业可能正在考虑建立一种机制, 跟踪 PV 生产期间 PFC 排放。(Fthenakis, 2006)

PV 生产期间 FC 使用可能会增加, 也可能不会增加。现有证据表明, 如果此工业中的 FC 使用增长, 应努力控制其排放 (Agostinelli 等, 2004; Rentsch 等, 2005)。清单编制者可定期咨询该行业, 以更好地了解全球形势和各国国情。

表 6.3 和 6.4 包括 NF₃ 的两个条目: 远程-NF₃ 和 NF₃。第一个指清洁方法, 即在清洁的腔室中, 等离子上游 (远程) 产生 NF₃ (F 原子), 从而形成薄膜清洁剂。第二个 (表示为简单的 NF₃) 指现场 NF₃ 清洁过程, 类似于 C₂F₆ 和 C₃F₈ 等其它清洗气的过程。

运输集装箱 (根部) 中剩余气体比例的缺省值为 0.10。

¹³ TFT-FPD 生产的排放因子 (EF) 是简单的 (未加权的) 平均值, 这些值是根据 Nishida 等人发布的特定气体和过程值开发的。

表 6.3
半导体生产中 FC 排放的方法 2 缺省排放因子

过程气体 (i)	含 TAR GWP 的温室气体									不含 TAR GWP 的温室 气体			产生 FC 副产 品的非 GHG [‡]	
	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	CH ₂ F ₂	C ₃ F ₈	c-C ₄ F ₈ O	NF ₃ 远程	NF ₃	SF ₆	C ₄ F ₆	C ₅ F ₈	C ₄ F ₈ O	F ₂	COF ₂
方法 2a														
1-Ui	0.9	0.6	0.4	0.1	0.4	0.1	0.02	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	NA	NA
B _{CF4}	NA	0.2	0.07	0.08	0.1	0.1	0.02 [†]	0.09	NA	0.3	0.1	0.1	0.02 [†]	0.02 [†]
B _{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	0.2	0.04	NA	NA	NA
B _{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.04	NA	NA
方法 2b														
腐蚀 1-Ui	0.7*	0.4*	0.4*	0.06*	NA	0.2*	NA	0.2	0.2	0.1	0.2	NA	NA	NA
CVD1-Ui	0.9	0.6	NA	NA	0.4	0.1	0.02	0.2	NA	NA	0.1	0.1	NA	NA
腐蚀 B _{CF4}	NA	0.4*	0.07*	0.08*	NA	0.2	NA	NA	NA	0.3*	0.2	NA	NA	NA
腐蚀 B _{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	0.2	NA	NA	NA	0.2*	0.2	NA	NA	NA
CVD B _{CF4}	NA	0.1	NA	NA	0.1	0.1	0.02 [†]	0.1 [†]	NA	NA	0.1	0.1	0.02 [†]	0.02 [†]
CVD B _{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.04	NA	NA
注：NA 表示根据当前可用信息是不适用的。														
‡ F ₂ 和 COF ₂ 的缺省排放因子可用于清洁含 ClF ₃ 的低 k CVD 反应器。														
* 估算包括多个气体腐蚀过程														
† 估算反映了可能存在含碳 FC 添加剂的低 k、电石和多个气体腐蚀过程。														

表 6.4
LCD 生产中 FC 排放的方法 2 缺省排放因子

过程气体 (i)	含 TAR GWP 的温室气体									不含 TAR GWP 的温室 气体			产生 FC 副产 品的非 GHG	
	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	CH ₂ F ₂	C ₃ F ₈	c-C ₄ F ₈ O	NF ₃ 远程	NF ₃	SF ₆	C ₄ F ₆	C ₅ F ₈	C ₄ F ₈ O	F ₂	COF ₂
方法 2a														
1-U _i	0.6	NA	0.2	NA	NA	0.1	0.03	0.3	0.6	NA	NA	NA	NA	NA
B _{CF₄}	NA	NA	0.07	NA	NA	0.009	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B _{CHF₃}	NA	NA	NA	NA	NA	0.02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B _{C₂F₆}	NA	NA	0.05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B _{C₃F₈}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
方法 2b														
腐蚀 1-U _i	0.6	NA	0.2	NA	NA	0.1	NA	NA	0.3	NA	NA	NA	NA	NA
CVD1-U _i	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.03	0.3	0.9	NA	NA	NA	NA	NA
腐蚀 B _{CF₄}	NA	NA	0.07	NA	NA	0.009	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
腐蚀 B _{CHF₃}	NA	NA	NA	NA	NA	0.02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
腐蚀 B _{C₂F₆}	NA	NA	0.05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{CF₄}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{C₂F₆}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{C₃F₈}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

注：NA 表示根据当前可用信息是不适用的。

表 6.5
PV 生产中 FC 排放的方法 2 缺省排放因子

过程气体 (i)	含 TAR GWP 的温室气体									不含 TAR GWP 的温室气 体			产生 FC 副产 品的非 GHG	
	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	CH ₂ F ₂	C ₃ F ₈	c- C ₄ F ₈ O	NF ₃ 远程	NF ₃	SF ₆	C ₄ F ₆	C ₅ F ₈	C ₄ F ₈ O	F ₂	COF ₂
方法 2a														
1-U _i	0.7	0.6	0.4	NA	0.4	0.2	NA	0.2	0.4	NA	NA	NA	NA	NA
B _{CF₄}	NA	0.2	NA	NA	0.2	0.1	NA	0.05	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B _{C₂F₆}	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B _{C₃F₈}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
方法 2b														
腐蚀 1-U _i	0.7	0.4	0.4	NA	NA	0.2	NA	NA	0.4	NA	NA	NA	NA	NA
CVD1-U _i	NA	0.6	NA	NA	0.1	0.1	NA	0.3	0.4	NA	NA	NA	NA	NA
腐蚀 B _{CF₄}	NA	0.2	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
腐蚀 B _{C₂F₆}	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{CF₄}	NA	0.2	NA	NA	0.2	0.1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{C₂F₆}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{C₃F₈}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
注：NA 表示根据当前可用信息是适用的。														

表 6.6
电子工业 FC 减排技术的方法 2a 与 2b 缺省效率参数^{a,b,c}

排放控制技术	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	C ₃ F ₈	c-C ₄ F ₈ O	NF ₃ ^f	SF ₆
去除 ^c	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.95	0.9
捕获/回收 ^d	0.75	0.9	0.9	NT	NT	NT	0.9

^a 这些值是所有减排技术去除效率的简单（未加权）平均值。排放因子不适用于这样的排放控制技术，即CF₄作为输入气体或副产品时，不能按去除效率（DRE）≥85%来减排CF₄，也不能按DRE≥90%来减排所有其它FC气体。如果制造商使用任何其它类型的排放控制技术，则使用方法2时其去除效率为0%。

^b 方法2排放控制技术因子仅适用于如下用电气加热、燃料燃烧、等离子和催化的设备，即：

- 专门设计用于减排FC。
- 用于制造商规定的过程窗口且符合规定的维护进度和
- 在实际过程条件下业经测量并已确认，使用技术成熟的程序，其中要考虑已知的测量错误，包括：如C₂F₆期间CF₄副产品形成过程以及稀释效果，氧气的使用，或燃烧减排系统中的这两种气体的使用。

^c 燃料燃烧、等离子和催化减排技术的平均值。

^d 低温及隔膜捕获和回收技术的平均值。

^e 半导体制造商验证的供应商数据。仅当按照减排制造商规范使用和维持排放控制技术时，才应使用这些因子。

^f 与CVD相比，腐蚀过程中NF₃的使用通常较小。方法2b中源自腐蚀和CVD的NF₃总排放量，通常不会大于方法2a或方法1所做的估算。

NT = 未测试。

过程工具排放因子

对于方法2a和方法2b，计算过程工具排放因子的程序是相同的。过程工具排放因子定义为排放的温室气体量除以过程中所用的温室气体量。排放因子对应于方法2公式中的“(1-U_i)”项。例如，CF₄的排放因子0.9（参见上表6.3，方法2a值）表示过程中90%所用的CF₄以CF₄形式排放。

还计算副产品排放因子。重要的主要副产品排放为CF₄。尽管通常假定作为副产品排放的大量CF₄气体只有C₂F₆和C₃F₈，但是工具制造商和化学供应商提供的数据表明，CF₄还形成于混合气体（例如包含CHF₃或CH₂F₂的气体）和c-C₄F₈O。作为本次讨论的结果，计算CHF₃、CH₂F₂、C₂F₆、C₃F₈、c-C₄F₈O和C₄F₈O的CF₄副产品排放因子。例如，C₃F₈的值0.1（从上表6.3中获取，方法2a值）表示10%所用的C₃F₈被转化为CF₄。然而，C₂F₆还可能从C₄F₆等分子的分解过程中排放出来。如上所述，若腐蚀或清洁腔室时出现含碳薄膜，也可能形成CF₄。

为了计算方法2b过程工具排放因子，要从过程设备和气体制造商处收集数据。数据的收集要根据过程类型（化学蒸汽沉积（CVD）或腐蚀）以及气体类型（如C₂F₆、CF₄）。用于实施排放测试的方法有实时四极质谱仪（QMS）和传式转换红外线光谱仪（FTIR），是测量过程工具排放最有名的方法。校准标准（通常是与N₂余量的1%混合物）用于量化这些结果。‘半导体设备的环境特征指南’概述了要遵循的测量程序和质量控制要求。（Meyers等，2001）14方法2b的排放因子（参见上表6.3和6.4）是腐蚀和CVD中每种气体收集的数据的简单（未加权）平均值，取整为一个有效数字。12，16

为了确定方法2a过程工具排放因子，需要了解典型半导体生产过程中使用的气体量。根据腐蚀和清洁过程中所用每种气体的比例，使用工业专家提供的权重获得方法2a排放因子。例如，C₂F₆（表6.3）的方法2b排放因子是0.5（腐蚀）和0.6（CVD）。半导体生产期间，腐蚀和CVD腔室清洁过程之间C₂F₆的使用分布是20:80。应用到每个排放因子的这些权重是C₂F₆的方法2a因子0.6，并取整为一个有效数字。TFT-FPD生产中，对应的SF₆使用分布为50:50，相应的方法2a排放因子是0.6（表6.4）。¹⁵

对于方法3排放因子，半导体制造商使用特定公司或特定工厂值，而不是使用上表6.1中列出的缺省值。为了确保排放因子的质量，应根据公认的方法实施排放测试。¹⁶如果第三方供应商实施排放测试，则半导体制造商应确保第三方供应商能够满足《设备环境特征指南修订本3.0》中概述的所有要求（SIA，2000）。使用过程工具设备供应商提供的排放因子的半导体制造商，应当确保排放因子适用于

¹⁴ 平板设备制造期间，平板显示器制造商还采用这些指南测量FC排放量。

¹⁵ 50:50 SF₆使用率表示日本、韩国和台湾地区领先TFT-FPD生产企业的平均值。此比例由Nishida（2006）和Kim（2006）提供。

¹⁶ 例如，国际公认的测试方法是Meyers等人（2001）开发的。

特定制造过程。如果过程参数（例如压力、流速）偏离中线条件，则制造方法所用的排放因子可能不同于工具制造商提供的排放因子。

方法 2 的排放控制技术因子

排放控制技术随着电子生产技术而快速发展。表 6.6 中的缺省控制技术排放因子，基于特定过程和工具已经优化的控制设备的测试。预期结果会因工具和气体流速而有所差异。排放因子不适用于半导体、液晶显示器或光电流制造设施中的所有工具或过程。只有清单编制者与设施管理人员沟通且进行了后续归档，能够证明排放控制是按照制造商规范运作和维护的，才可以使用表 6.6 中列出的方法 2 缺省去除效率参数。如果公司使用任何其它类型的减排设备，则这些公司应当假定：采用方法 2a 和方法 2b 时，其去除效率为 0。

方法 2 (a 与 b) 排放控制技术排放因子的假定包括：

- (i) 未列出的具体排放控制技术；根据半导体生产应用中排放控制技术测试期间获得的结果，确定每种化学物质的排放因子；
- (ii) 只有减排技术应用于减排制造商指定运作范围内的排放，为满足或超过表 6.6 中列出的因子，才应使用这些排放因子；
- (iii) 这些排放因子仅适用于通过正确运作和维护的控制设备传递的排放比例；如果绕过控制设备，未按制造商规范运作，未按规范维护，则不应运用这些排放因子。
- (iv) 排放因子不适用于这样的排放控制技术，即 CF_4 表示为输入气体或副产品时，不能按去除效率 (DRE) $\geq 85\%$ 来减排 CF_4 ，或不能按 $DRE \geq 90\%$ 来减排所有其它 FC 气体。如果制造商使用任何其它类型的排放控制技术，则使用方法 2 时其去除效率为 0%。

表 6.6 “电子工业 FC 减排技术的缺省效率参数”中的缺省方法 2 排放控制因子，其计算根据从设备供应商、减排技术供应商和电子设备制造商中收到的数据。应注意，只有专门设计用于减排 FC 的减排设备中的数据，才可用于计算。数据从如下设备接收：燃烧减排设备（所有这些设备使用某些类型的燃料）、等离子减排设备、电气加热减排设备和催化减排设备。

表 6.6 “电子工业 FC 减排技术的缺省效率参数”中列出的值是优化技术和每个输入气体接收的所有数据结果，向下取整到下一个 5%（如，平均值为 98%时向下取整为 0.95）。平均值向下取整是为了反映：

（1）排放控制设备根据优化去除的气体而有所差异，以及（2）排放控制设备的功效取决于安装的工具类型（150mm、200mm、300mm 胶片）、通过具体工具逸出的 FC 气体量以及通过排放控制设备逸出的废气总量。排放控制设备经过优化以去除某些工具的 FC 时，可以去除 99%的 FC，但是如果此排放控制设备用于以下情况：经优化去除某些其它气体，或用于非设计的工具上，或者 FC 或废气总量超过某个限制时，则可以去除的 FC 会低于 95%。电子制造商和减排工具制造商应确保安装的减排系统大小适当并维持适当，还应确保此排放控制设备能够满足或超过表 6.6 中说明的缺省排放因子。

6.2.2.2 热传导液体

方法 1 的排放因子，如表 6.2 所示。估算源自热传导液体蒸汽排放的方法 2，没有排放因子。

6.2.3 活动数据的选择

电子工业的活动数据包含：气体销售和使用的数据，或处理的电子基质年数量的数据（如，半导体处理的硅 m^2 ）。对于数据更密集的方法 2，公司或工厂级购气数据是必需的。对于方法 1，清单编制者将需要确定给定年份内处理的电子基质的总表面积。使用适当版本的世界生产工业观察家（WFW）数据库（由国际半导体与材料协会（SEMI）每季度出版），可以估算半导体消耗量¹⁷。此数据库包含了全世界的企业清单（生产和研发企业、试验工场等），列出了有关地理位置、设计能力、规模大小和更多详细信息。类似地，SEMI的“有关磁盘的平板显示器制造工厂”数据库提供了全球TFT-PPD制造的玻璃消耗量估算值。

¹⁷ 术语“fab”是清洗室/制造设施的同义词。半导体和平板显示器制造厂通常称为制造工厂（fabrication plants），这就是“fab”的来源。

表 6.7 中的活动数据反映了设计能力数据。半导体和 TFT-FPD 制造厂不会在连续的时期内（如，全年）以设计能力运营。相反，此能力因产品需求而波动。对于半导体生产，公开可获得的工业统计信息表明，1991–2000 年期间全球年平均产能使用率介于 76%-91% 之间，平均值为 82%，最可能的值是 80%。如果特定国家生产能力使用数据不可获得，则建议半导体生产的产能使用率为 80%。这应连续用于时间序列的估算。对于 TFT-FPD 生产，公开可用的产能使用率数据是不可获得的。与半导体生产工业类似，TFT-FPD 制造工业降低产品价格来维持最高的实际企业产能使用率。因此类似地，建议使用 80% 来估算基质玻璃消耗量，同时使用表 6.7 提供的国家 TFT-FPD 制造商的设计能力。对于 PV 制造，发布的产能使用率数据范围介于 77 – 92%，2003 年和 2004 年的平均值为 86%。因此，86% 是可用的 C_u 推荐缺省数据（参见公式 6.1）。

如果在 PV 制造期间估算排放，则应考虑实际采用 FC（公式 6.1 中的 C_{PV} ）的工业比例。因为最近调查表明，实际上有 40-50% 的 PV 生产使用 FC，使用趋势可能会增加， C_{PV} 的推荐缺省值为 0.5。

表 6.7 汇总了各国 2003、2004 和 2005 年的生产能力，其总量超过了 2003 年全球生产能力 90%。

表 6.7
2003、2004 和 2005 年各国硅 (Si) 和玻璃的总设计能力 (Mm²)

各国总量	每年的 Si 设计能力, 单位为 Mm ²			每年的玻璃设计能力, 单位为 Mm ²		
	2003 ¹	2004 ²	2005 ²	2003 ¹	2004 ²	2005 ²
澳大利亚	0.0008	0.0008	0.0008	NA	NA	NA
奥地利	0.0201	0.0201	0.0201	NA	NA	NA
比利时	0.0040	0.0040	0.0040	NA	NA	NA
加拿大	0.0041	0.0041	0.0041	NA	NA	NA
中国	0.1436	0.1982	0.3243	0.0432	0.0432	0.8154
捷克共和国	0.0057	0.0057	0.0057	NA	NA	NA
法国	0.0653	0.0674	0.0674	NA	NA	NA
德国	0.1622	0.1622	0.1622	NA	NA	NA
中国香港	0.0059	0.0059	0.0059	NA	NA	NA
匈牙利	0.0006	0.0006	0.0006	NA	NA	NA
印度	0.0128	0.0128	0.0128	NA	NA	NA
爱尔兰	0.0175	0.0430	0.0430	NA	NA	NA
以色列	0.0310	0.0310	0.0564	NA	NA	NA
意大利	0.0431	0.0431	0.0609	NA	NA	NA
日本	0.9091	0.9235	0.9639	4.5746	5.3256	6.9201
拉脱维亚	0.0019	0.0019	0.0019	NA	NA	NA
马来西亚	0.0284	0.0284	0.0284	NA	NA	NA
荷兰	0.0301	0.0301	0.0301	0.0209	0.0209	0.0209
白俄罗斯共和国	0.0077	0.0077	0.0077	NA	NA	NA
俄罗斯	0.0250	0.0250	0.0325	NA	NA	NA
南韩	0.3589	0.3742	0.3937	5.8789	9.4679	12.4857
新加坡	0.1730	0.1730	0.1985	0.2821	0.2821	0.2821
斯洛伐克	0.0043	0.0043	0.0043	NA	NA	NA
南非	0.0021	0.0021	0.0021	NA	NA	NA
瑞典	0.0019	0.0019	0.0019	NA	NA	NA
瑞士	0.0098	0.0098	0.0098	NA	NA	NA
泰国	0.0000	0.0000	0.0094	NA	NA	NA
土耳其	0.0000	0.0000	0.0000	NA	NA	NA
英国	0.0597	0.0597	0.0936	NA	NA	NA
美国	0.6732	0.6921	0.7190	0.0000	0.0000	0.0000
越南	0.0000	0.0000	0.0000	NA	NA	NA
全球总量	3.3206	3.4972	3.8849	15.0572	23.9959	33.7459

¹ 国家总量包括生产工场
² 国家总量包括制造和宣布的工场。
NA = 不适用
来源：摘自世界生产工业观察家数据库 2004 年 1 月版，有关磁盘数据库的半导体生产和平板显示器工场（战略营销协会，2004a），TFT-FPD 生产（战略营销协会，2004b）2004 年 10 月版。

表 6.8
2003 年国家 PV 产能总量^a, Mm²

澳大利亚	0.135
奥地利	0.0307
加拿大	0.0154
丹麦	0.00254
法国	0.162
德国	0.817
意大利	0.100
日本	3.72
挪威	0.0138
葡萄牙	0.115
南韩	0.462
西班牙	0.715
瑞典	0.377
瑞士	0.00238
英国	0.0269
美国	1.02
^a 所有 PV 生产技术的生产能力，包括 PV 生产期间不可能使用 FC 的技术；2003 年世界平均产能使用率=86%。 来源：IEA，2004。参与 PV 调查的国家。	

6.2.4 完整性

由于这些公司和工厂数量有限，大多数国家应可以完整计算出半导体工业中的排放。涉及完整性的 4 个问题应当解决：

- **其它副产品：**大量转换副产品产生于腔室清洁和腐蚀中 FC 使用。如上强调，CF₄ 和 C₂F₆ 的形成产生于其它 FC 气体的分解。另外，已经注意到清洁低 k CVD 腔室时会形成 CF₄。这种情况下，应使用方法 3 以准确估算排放。
- **新化学物质：**由于工业为改善其产品而评估及采用新的化学过程，完整性在将来会是个问题。工业范围减少 FC 排放的努力还会加速新化学物质的评审。结果，此工业的优良作法是纳入 IPCC 第三个评估报告未列出的计算温室气体的机制（如，C₄F₆、C₅F₈、Fluorinerts™和 Galdens®）。这些新的 FC 材料具有较高的 GWP，或可能产生较高的 GWP 副产品排放。
- **其它来源：**少量 FC 可能在气体处理（如，分配）期间释放，也可能通过研发（如，大学）规模的工厂和工具供应商等源头处释放出来。这些排放据信不重要（例如，少于此工业排放总量的 1%）。
- **其它产品或过程：**电子工业的 FC 使用业经鉴定为排放性应用，包括：微电子机械系统（MEMS）、¹⁸ 硬盘驱动器制造、设备测试（FC 液体）、气相回流焊接¹⁹ 和精密清洁。²⁰

¹⁸ 源自微电子机械系统(MEMS)制造的排放，可以使用类似于其它电子分部的方法来估算。特定公司的排放和减排因子是必需的。极少量 FC 还在研发实验室/设施中使用。

¹⁹ 源自气相回流焊接的排放经估算，可能等于维护气相回流焊接设备的 FC 年净买量。

6.2.5 建立一致的时间序列

半导体工业中使用 FC 最早始于 20 世纪 70 年代末期，20 世纪 90 年代早期其使用日益重要。确定基准年份排放级别可能有些困难，因为 1995 年之前可以获得的排放数据很少。如果历史排放估算基于简单的假设（如，使用相等的排放），则采用上述方法可以改善这些排放。如果历史数据不允许使用方法 3 或方法 2，则使用缺省排放参数的方法 1 可以通过追溯方式使用。对于可以获得更多数据提供比较或基准的年份，可以同时采用方法 1 和方法 2。这应根据第 1 卷第 5 章中提供的指南来实施。

为了确保长期一致的排放记录，一旦排放计算过程发生变化（例如，如果清单编制者从使用缺省值变为在工厂级确定实际值），清单编制者应重新计算报告的所有年代的 FC 排放。如果工厂级数据不可用于时间序列中所有年份，则清单编制者必须考虑当前工厂数据如何可用于重新计算这些年份的排放量。如果工厂运行情况没有大的变化，则可以把工厂目前的排放参数应用于往年的销量数据。需要这种重新计算，以保证排放趋势的任何变化是真实的，而非人为的程序性变化。

6.3 不确定性评估

使用方法 3 将导致最少的不确定性清单。假如工厂数有限且在工厂级对生产过程进行严密监控，则在方法 2b 或方法 3 中使用数据收集从技术上看是可行的。清单编制者应寻求有关不确定性的工业建议，使用这些方法来获得第 1 卷第 3 章中概述的专家判断。

在所有的的方法中，方法 1 不确定性最大。使用单个因子计算各种半导体产品中的 FC 排放，这显然过于简化。表 6.2 中显示的这些因子对 20 世纪 90 年代后期在硅胶片上制造的先进记忆体和逻辑产品（分别具有 3 层到 5 层）进行了大量权重分析。对于目前采用先进技术生产产品的各国（未采取措施减少 FC 排放），这些因子将更大，而使用原有技术制造产品或制造更简单设备的各国将使用相同的因子或更小的因子。

TFT-FPD 制造的方法 1 排放因子表示为，可以获得数据的区域内 TFT-FPD 生产期间消耗的每单位基质玻璃面积产生的估算总合 PFC 排放量的加权平均值（Burton, 2004b）。为日本报告的已估算排放使用《国家温室气体清单优良作法和不确定性管理》（IPCC, 2000）内的半导体生产的方法 2b 因子（Nishida 等, 2004）。对于台湾 TFT-FPD 制造商引起的排放，估算这些排放的方法还未报告（Leu 等, 2004）。然而后来 Leu (2004) 报告的总合排放因子与 Burton (2004b) 开发的排放因子具有相同的数量级。TFT-FPD 生产的方法 1 排放因子中的不确定性很可能较大，但是此时未知。

当对半导体和 TFT-FPD 生产使用方法 3 时，造成的排放估算将比方法 2a、2b 或方法 1 更准确，准确度可能相差 $\pm 30\%$ （95%置信区间）。排放控制技术功效中的不确定性显示会对此不确定性做出最多贡献，尤其是排放控制设备的开机时间变化以及可能超出设备设计极限的排放控制设备的流速。

使用方法 2 估算从使用热传导液体时产生的排放将比方法 1 更准确，准确性相差 $\pm 20\%$ （95%置信区间）。

6.3.1 排放因子不确定性

为方法 2b 和 2a 建议的排放因子中的不确定性，对于半导体生产显示在表 6.9 中，对于 TFT-FPD 生产显示在表 6.10 中。这些因子是专门为本指南开发的。对于方法 2b，每一项（方法 2b 中的过程和气体）的相对误差估算为专家组提供的因子的标准偏差，然后标准化为简单的（未加权的）平均值，取整为一个有效数字。¹² 然后每个值的估算翻一倍以估算 95%置信区间。相同的程序用于估算产品信息因子（B）的相对误差。方法 2a 的对应估算是为 2b 估算推导的，此时要使用在排放因子开发中采用的气体用量估值（参见第 6.2.2 节方法 2）。

方法 1 排放因子的不确定性范围最低接近于 0，最高为 200%（对于半导体和 TFT-FPD 生产为 95%的置信区间）。没有 PV 生产的不确定性估算。

6.3.2 活动数据不确定性

²⁰ 源自精密清洁的排放将在本卷第 7.2 节（溶剂）中计算。

对于方法 2a 和方法 2b，气体消耗量组成了半导体、TFT-FPD 和 PV 生产期间排放估算的活动单位。气体消耗量可以进行测量，也可以从购气量数据中估算得出，不过需要了解 h，未使用过的气体将用运输集装箱返回气体供应商。气体消耗量中的不确定性（95%置信区间）和测量或使用专家判断得出的 h，显示在表 6.10 针对半导体和 TFT-FPD 生产的方法 2a 和方法 2b 中活动数据的相对误差（95%置信区间）中。

对于方法 1，活动的单位是基质消耗量。方法 1 活动数据中的不确定性主要归因于缺少 WFW 和 FPD 数据库中的数据项。表 6.7 内 WFW 中得出的数据项可靠性估算值为 $\pm 10\%$ （95%置信区间），这反映了由于数据库中缺少项和存在不正确的项的误差。1991-2000 年期间产能使用率中的 95%置信区间是 ± 12 个百分点（即，从 70%使用率到 94%使用率）。TFT-FPD 和 PV 生产的对应项假定为类似于半导体生产的项。

表 6.9
半导体生产中 FC 排放的排放因子的方法 2 缺省估算相对误差，95%置信区间

过程气体 (i)	含 TAR GWP 的温室气体									不含 TAR GWP 的温室气体			产生 FC 副产品的非 GHG	
	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	CH ₂ F ₂	C ₃ F ₈	c-C ₄ F ₈ O	NF ₃ 远程	NF ₃	SF ₆	C ₄ F ₆	C ₅ F ₈	C ₄ F ₈ O	F ₂	COF ₂
方法 2a														
1-U _i	15	30	100	400	20	80	400	70	300	300	80 [†]	40	NA	NA
B _{CF4}	NA	90	300	200	60	100	200	200	NA	200	100 [†]	80	200	200
B _{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	200	NA	NA	NA	200	200	NA	NA	NA
B _{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	NA	NA
方法 2b														
腐蚀 1-U _i	60	100	100	700	NA	200	NA	300	300	300	200 [†]	NA	NA	NA
CVD1-U _i	10	30	NA	NA	0.4	30	400	70	NA	NA	30 [†]	40	NA	NA
腐蚀 B _{CF4}	NA	200	300	200	NA	200	NA	NA	NA	200	200 [†]	NA	NA	NA
腐蚀 B _{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	200	NA	NA	NA	200	200 [†]	NA	NA	NA
CVD B _{CF4}	NA	80	NA	NA	60	60	200	200	NA	NA	60 [†]	80	200	200
CVD B _{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	NA	NA
注：NA 表示根据当前可用信息是不适用的。														
* 超过 100% 的值表示最小接近于 0 而最大为给出值的分布范围。														
† 估算依赖于对 c-C ₄ F ₈ 的类推，因为 C ₅ F ₈ 的数据不足以估算置信区间。														

表 6.10
LCD 生产中 FC 排放的排放因子的方法 2 缺省估算相对误差，95%置信区间

过程气体 (i)	含 TAR GWP 的温室气体									不含 TAR GWP 的温室气体			产生 FC 副产品的非 GHG	
	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	CH ₂ F ₂	C ₃ F ₈	c-C ₄ F ₈ O	NF ₃ 远程	NF ₃	SF ₆	C ₄ F ₆	C ₃ F ₈	C ₄ F ₈ O	F ₂	COF ₂
方法 2a														
1-Ui	50	NA	8	NA	NA	5	70	20	20	NA	NA	NA	NA	NA
B _{CF4}	NA	NA	30	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B _{CHF3}	NA	NA	NA	NA	NA	20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B _{C2F6}	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
方法 2b														
腐蚀 1-Ui	50	100	8	NA	NA	5	NA	60	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD1-Ui	NA	NA	NA	NA	NA	NA	70	20	6	NA	NA	NA	NA	NA
腐蚀 B _{CF4}	NA	NA	30	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
腐蚀 B _{CHF3}	NA	NA	NA	NA	NA	20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
腐蚀 B _{C2F6}	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{CF4}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B _{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

注：NA 表示根据当前可用信息是不适用的。

6.4 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

6.4.1 质量保证/质量控制（QA/QC）

*优良作法*是实施第 1 卷第 6 章概述的质量控制检查以及排放估算的专家评审。也可以采用第 1 卷介绍的附加质量控制核查和质量保证程序，尤其是当运用较高级方法来估算这种排放源类别的排放时。对于第 1 卷第 4 章确定的*关键类别*，鼓励清单编制者采用较高层次的 QA/QC。

更高级 QA/QC 程序的其它一般指南也纳入第 1 卷第 6 章中。由于半导体工业高度竞争的特性，处理保密商业信息的规定应纳入验证过程。使用的方法应归档成文，且应考虑定期审计测量和数据的计算。还应考虑过程和程序的 QA 审计。

6.4.2 报告和归档

应注意不要纳入用作 ODS 替代物的 HFC 的排放以半导体生产中使用的排放。*优良作法*是按照第 1 卷第 6.11 节的概述，记录和归档所需的所有信息以得出国家排放清单估算。不可能在国家清单报告中纳入所有文档记录。然而，清单应包括使用的方法汇总以及源数据参考，以使报告的排放估算保持透明，且计算步骤具有可追溯性。

关于此行业中排放的明确报告将改善排放的透明性和可比较性。因为此行业内有大量 FC 气体排放，所以报告单独的气体种类而不是报告化学类型，也可以改善此数据的透明性和有效性。努力提高透明性时应考虑保护与特定气体使用有关的保密商业信息。国家级累积的特定气体排放数据应保护具有三个或三个以上此类制造商的国家信息。表 6.11 “半导体生产中排放估算完全透明所需的信息”显示了所报告的排放估算完全透明必要的支持信息。

方法 3 的*优良作法*是记录特定公司排放因子的开发，并阐述与一般缺省值的偏差。鉴于保密性问题，清单编制者可累积所有制造商的信息。如果某个国家的制造商已经报告了给定 FC 和过程或过程类型的不同排放或变换因子，则清单编制者可以提供已报告和已用的因子范围。

表 6.11
估算电子生产中排放完全透明所需的信息

数据	方法 1	方法 2a	方法 2b	方法 3
处理的电子基质的总表面积（例如，m ² 硅、m ² 玻璃）	X			
半导体、TFT-FPD 和 PV 生产的产能使用率	X			
使用 FC 气体的 PV 产能比例	X			
每个 FC 的排放量（不是所有 FC 的总合排放量）		X	X	X
每个 FC 的销售量/采购量		X		
每个过程或过程类型中使用的每个 FC 的质量			X	X
采用排放控制技术的过程使用的每个 FC 的比例		X	X	X
每个过程或过程类型的每个 FC 的使用速率（只有不使用缺省值时，此信息和以下信息才是必要的）				X
将每个过程或过程类型的各个 FC 转换成 CF ₄ 的比例				X
运输集装箱中剩余的气体比例				X
通过排放控制技术去除的每个 FC 的比例				X
通过排放控制技术去除的 CF ₄ 副产品的比例				X

参考文献

- Agnostinelli, G., Dekkers, H. F. W., DeWolf, S. and Beaucarne, G. (2004) . “Dry Etching and Texturing Processes for Crystalline Silicon Solar Cells: Sustainability for Mass Production”, presented at the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, 2004.
- Alsema, E. A., Bauman, A. E., Hill, R. and Patterson, M. H. (1997) “Health, Safety and Environmental Issues in Thin Film Manufacturing”, 14th European PV Solar Energy Conference, Barcelona, Spain. 1997.
- Burton, C. S. (2004a) . “Uses and Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector: Initial Findings”, report prepared for U. S. EPA’s Climate Change Division, October 2004.
- Burton, C. S. (2004b) . “PFC Uses, Emissions, and Trends in FPD Manufacture: An Update”, draft report prepared for U. S. EPA’s Climate Change Division, June 2004.
- Burton, C. S. (2006) . “Sources and Methods Used to Develop PFC Emission Factors from the Electronics Sector”, report prepared for U. S. EPA’s Climate Change Division, February 2006.
- Cowles, D. (1999) “Oxide Etch Tool Emissions Comparison for C5F8 and C4F8 Process Recipes”, presented at A Partnership for PFC Emissions Reductions, SEMICON Southwest 99, Austin, TX. October 1999.
- Fthenakis, V. (2005) Personal communication to S. Bartos on 5 February 2005 of data tables quantifying historical and current CF₄ and C₂F₆ usage in PV manufacture for U. S. and Europe.
- Fthenakis, V. (2006) Personal communication to S. Burton and S. Bartos explaining proposal to begin monitoring FC emissions from European PV industry. Feb. 6, 2006.
- IEA (2004) . ‘Trends in Photovoltaic Applications: Survey report of selected IEA Countries between 1992 – 2003’, Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS) , International Energy Agency, Report IEA-PVPS T1-13:2004, September 2004.
- IPCC (2000) . Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds) . Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) , IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- ITRS (2004) , “International Technology Roadmap for Semiconductors” available at <http://public.itrs.net/report.htm>
- Kim, D-H., (2006) 9 January 2006 Personal communication to Hideki Nishida identifying the historical average (50:50) proportion of SF₆ usage for etching and CVD chamber-cleaning in Japanese, Korean and Taiwan TFT-FPD manufacture.
- Leu, C-H., (2004) “SF₆ Abatement Strategy in Taiwan”, presented at SF₆ Power Reduction Partnership for Electric Power Systems. Scottsdale, Az., 1-3 December 2004.
- Leu, C-H *et al.* (2004) “PFC emissions Abatement for TFT-LCD Industry in Taiwan”, available in the Proceedings of the 15th Annual Earth Technology Forum, Washington, D. C., 13-15 April 2004.
- Maycock, P. (2005) “PV market update: global PV production continues to increase”, Renewable Energy World, Vol. 8 (4) , pp 86-99.
- Meyers, J., Maroulis, P., Reagan, B. and Green, D. (2001) . “Guidelines for Environmental Characterization of Semiconductor Equipment”, Technology Transfer #01104197A-XFR, pub. International SEMATECH , Austin , Texas , USA. December 2004 , See: www.semtech.org/docubase/document/4197axfr.pdf.
- Nishida, H. *et al.* (2004) “Voluntary PFC Emission Reduction in the LCD Industry”, available in the Proceedings of the 15th Annual Earth Technology Forum, Washington, D. C., 13 – 15 April 2004.
- Nishida, H., Marsumura, K., Kurokawa, H., Hoshino, A. and Masui, S. (2005) , “PFC emission-reduction strategy for the LCD industry”, J. Society for Information Display, Vol 13, pp. 841-848 (2005) .

- Nishda, H. (2006) . 7 January 2006 Personal communication to D-H. Kim confirming historical average 50:50 proportion of SF₆ usage for etching and CVD chamber-cleaning in Japan, Korean and Taiwan TFT-FPD manufacture.
- Phylipsen, G. J. M. and Alsema, E. A., (1995) “Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules”, report prepared for Netherlands Agency for Energy and the Environment, Report No. 95057, September 1995.
- Rentsch, J., Schetter C., Schlemm H., Roth, K. and Preu, R. (2005) . “Industrialization of Dry Phosphorous Silicate Glass Etching and Edge Isolation for Crystalline Silicon Solar Cells”, Presented at the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain. 6-10 June, 2005.
- Sekiya, A. (2003) . “Climate-Friendly Alternative Refrigerant and the Others: New Evaluations for sustainability”, The Earth Technologies Forum, Washington, D. C., 23 April, 2003.
- Shah, A., Meier, J., Buechel, A., Kroll, U., Steinhäuser, J., Meillaud, F. and Schade, H. (2004) . “Toward Very Low-Cost Mass Production of Thin-film silicon Photovoltaic (PV) Solar Modules on Glass“, presented at ICCG5 Conference in Saarbrücken, Germany, July 2004.
- SIA (2000) . “Equipment Environmental Characterisation Guidelines”, Revision 3.0, Semiconductor Industry Association (SIA) , San Jose, California, USA, February 2000
- Strategic Marketing Associates (2004a) . WORLD FAB WATCH: The Industry’s Encyclopedia of Wafer Fabs Since 1994, January 2004 Edition.
- Strategic Marketing Associates (2004b) . WORLD FAB WATCH: The Industry’s Encyclopedia of Wafer Fabs Since 1994, October 2004 Edition.
- Tuma, P.E. and Tousignant, L. (2001) . “Reducing Emissions of PFC Heat Transfer Fluids,” Presented at Semicon West, San Francisco, July 2001.
- U.S. EPA (2005) . U.S. Environmental Protection Agency, Inventory of U.S. Greenhouse Gas and Sinks: 1990-2003, EPA 430-R-05-003, April 2005.