# الفصل 6

# انبعاثات الصناعات الإلكترونية

**المؤلفون**

سكوت بارتوس (الولايات المتحدة الأمريكية)

لوري إس. بيو (الولايات المتحدة الأمريكية) وسيز شيفرد بيرتون (الولايات المتحدة الأمريكية) وتشارلز إل. فروست (الولايات المتحدة الأمريكية) وفرانشيكسا إليوزي (إيطاليا) ومايكل تي. موتسيلا (الولايات المتحدة الأمريكية) وسيبستيان راوكس (فرنسا/الولايات المتحدة الأمريكية)

**المؤلفون المساهمون**

جويدو أوجيستينيلي (إيطاليا) وإيرك ألسيما (هولندا) وسيونج-كي تشيا (جمهورية كوريا) وفاسيليس إم. فثيناكيس (الولايات المتحدة الأمريكية) وجوزيف فان جومبيل (الولايات المتحدة الأمريكية) وهيديكي نيشيدا (اليابان) وتاكايوكي أوجوشي (اليابان) وكيرت تي. فيرنر (الولايات المتحدة الأمريكية).

# المحتويات


6 انبعاثات الصناعات الإلكترونية ..... 6-5

6-1 مقدمة 6-5

6-2 موضوعات منهجية ..... 6-6

6-2-1 اختيار الأسلوب ..... 6-6

6-2-1-1 التنميش وتنظيف عزل البخار الكيميائي لأشباه الموصلات وشاشات عرض الكريستال السائل وأجهزة الفلطائية الضوئية ..... 6-6

6-2-1-2 سوائل توصيل الحرارة ..... 6-13

6-2-2 اختيار معاملات الانبعاث ..... 6-15

6-2-2-1 التنميش وتنظيف عزل البخار الكيميائي لأشباه الموصلات وشاشات عرض الكريستال السائل وأجهزة الفلطائية الضوئية ..... 6-15

6-2-2-2 سوائل توصيل الحرارة ..... 6-21

6-2-3 اختيار بيانات الأنشطة ..... 6-21

6-2-4 الاستيفاء ..... 6-24

6-2-5 إعداد متسلسلة زمنية متسقة ..... 6-25

6-3 تقدير أوجه عدم التيقن ..... 6-25

6-3-1 حالات عدم التيقن في معامل الانبعاثات ..... 6-26

6-3-2 حالات عدم التيقن في بيانات الأنشطة ..... 6-26

6-4 ضمان الجودة / مراقبة الجودة والإبلاغ والتوثيق ..... 6-29

6-4-1 ضمان الجودة / مراقبة الجودة ..... 6-29

6-4-2 الإبلاغ والتوثيق ..... 6-29

المراجع ..... 6-31


# المعادلات


المعادلة 6-1 أسلوب المستوى 1 لتقدير مجموعة انبعاثات المركبات الفلورية ..... 6-9

المعادلة 6-2 أسلوب المستوى 2أ لتقدير انبعاثات المركبات الفلورية ..... 6-9

المعادلة 6-3 انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CF_4$ ..... 6-10

المعادلة 6-4 انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_2F_6$ ..... 6-10

المعادلة 6-5 انبعاثات المنتج الثانوي لـ $chf_3$ ..... 6-10

المعادلة 6-6 انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_3F_8$ ..... 6-10

المعادلة 6-7 أسلوب المستوى 2ب لتقدير انبعاثات المركبات الفلورية ..... 6-11

المعادلة 6-8 انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CF_4$ ..... 6-11

المعادلة 6-9 انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_2F_6$ ..... 6-12

المعادلة 6-10 انبعاثات المنتج الثانوي لغاز $CHF_3$ ..... 6-12

المعادلة 6-11 انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_3F_8$ ..... 6-12

المعادلة 6-12 أسلوب المستوى 1 لتقدير إجمالي انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن سوائل توصيل الحرارة ..... 6-13

المعادلة 6-13 أسلوب المستوى 2 لتقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن سوائل توصيل الحرارة ..... 6-14

# الأشكال التوضيحية

الشكل 6-1 شجرة قرار تقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن تصنيع الإلكترونيات ..... 6-8
الشكل 6-2 شجرة قرار تقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن فقدان سائل توصيل الحرارة من تصنيع الإلكترونيات..... 6-15

# الجداول

الجدول 6-1 مصادر المعلومات الضرورية لاستيفاء أساليب تقدير انبعاثات مستويات تصنيع الإلكترونيات ..... 6-7
الجدول 6-2 معاملات الانبعاث الخاصة بالغاز للمستوى 1 لتقدير الانبعاثات الناجمة عن تصنيع الإلكترونيات..... 6-16
الجدول 6-3 معاملات الانبعاث الخاصة بالغاز للمستوى 2 لتقدير الانبعاثات الناجمة عن تصنيع أشباه الموصلات..... 6-17
الجدول 6-4 معاملات الانبعاث الخاصة بالغاز للمستوى 2 لتقدير الانبعاثات الناجمة عن تصنيع شاشات عرض الكريستال السائل ..... 6-18
الجدول 6-5 معاملات الانبعاث الخاصة بالغاز للمستوى 2 لتقدير الانبعاثات الناجمة عن تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية..... 6-19
الجدول 6-6 بارامترات الكفاءة الافتراضية للمستوى 2أ و2ب لصناعة تقنيات تخفيف انبعاثات المركبات الفلورية في صناعة الإلكترونيات[أ، ب، هـ] ..... 6-20
الجدول 6-7 إجمالي السعات المحددة للبلد من السيليكون والزجاج لعام 2003 و2004 و2005 ..... 6-23
الجدول 6-8 إجمالي سعة إنتاج البلد من خلال الفلطائية الضوئية[أ] لعام 2003، ملم2..... 6-24
الجدول 6-9 التقديرات الافتراضية للأخطاء النسبية (%) بالمستوى 2 لتقدير معاملات الانبعاث الخاصة بتقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن تصنيع أشباه الموصلات، فاصل ثقة 95 في المائة ..... 6-27
الجدول 6-10 التقديرات الافتراضية للأخطاء النسبية (%) بالمستوى 2 لتقدير لمعاملات الانبعاث الخاصة بتقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن تصنيع أشباه شاشات عرض الكريستال السائل، فاصل ثقة 95 في المائة ..... 6-28
الجدول 6-11 المعلومات الضرورية للحصول على الشفافية الكاملة لتقديرات الانبعاثات الناجمة عن تصنيع الإلكترونيات ..... 6-30

# المربع

المربع 6-1 مثال على تصنيع أشباه الموصلات ..... 6-13

# 6 انبعاثات الصناعات الإلكترونية

## 6-1 مقدمة

تستعين العديد من عمليات تصنيع الأجهزة الإلكترونية المتقدمة بالمركبات الفلورية (FC) في الأنماط المعقدة لتنميش البلازما وتنظيف غرف المفاعل والتحكم في درجة الحرارة. تشتمل قطاعات الصناعات الإلكترونية المعنية التي تمت مناقشتها في هذا الفصل على أشباه الموصلات وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء (TFT-FPD) وخلايا الفلطائية الضوئية (PV) (ويشار إليها جميعًا باسم "الصناعات الإلكترونية")[1] تنبعث من صناعة الإلكترونيات حاليًا في درجة حرارة الغرفة المركبات الفلورية في شكل غازات والمركبات الفلورية في شكل سوائل . وتشتمل الغازات على $CF_4$ و$C_2F_6$ و$C_3F_8$ و$c\text{-}C_4F_8$ و$c\text{-}C_4F_8O$ و$C_4F_6$ و$C_5F_8$ و$CHF_3$ و$CH_2F_2$ وثلاثي فلوريد النيتروجين ($NF_3$) وسداسي فلوريد الكبريت ($SF_6$)، ويتم استخدام هذه المركبات في خطوتين هامتين في تصنيع الإلكترونيات. (1) مواد تنميش البلازما التي تحتوي على السيليكون و(2) تنظيف جدران غرفة أداة عزل البخار الكيميائي (CVD) حيث يتم عزل السيليكون[2] وتنجم غالبية انبعاثات المركبات الفلورية من كفاءة الاستخدام المحدود (أي الاستهلاك) لسلائف المركبات الفلورية خلال عملية التنميش أو التنظيف. علاوة على ذلك، يمكن أن يتحول جزء من المركبات الفلورية المستخدمة في عملية الإنتاج إلى منتج ثانوي لمركب الميثان الفلوري الرباعي ($CF_4$) وفي بعض الأحيان إلى $C_2F_6$ و$CHF_3$ و$C_3F_8$.[3] أيضًا يجب أن يؤخذ في الاعتبار تكوين الميثان الفلوري الرباعي ($CF_4$) كمنتج ثانوي لتنميش أو تنظيف المواد (أو الكربيد) التي تحتوي على الكربون منخفضة ثابت العازل الكهربائي (k منخفض).[4] بالإضافة إلى ذلك فقد يزيد استخدام $F_2$ و$COF_2$ و$ClF_3$. وعلى الرغم من أن هذه الغازات في حد ذاتها لن تؤدي إلى الاحترار العالمي إلا أنها قد تؤدي إلى تكوين الميثان الفلوري الرباعي في ظل بعض الظروف.

وتستعين الجهات المصنعة للإلكترونيات بالتحكم في درجة الحرارة خلال عمليات معينة. بالإضافة إلى أنها معروفة على أنها سوائل موصلة للحرارة، فإن هذه المركبات الفلورية تكون في شكل سوائل في درجة حرارة الغرفة وتحتوي على ضغط بخار قابل للتقدير. ويساهم فاقد البخار في إجمالي انبعاثات المركبات الفلورية. ويحدث فاقد البخار خلال تبريد معدات عملية معينة، وخلال اختبار أجهزة أشباه الموصلات المعبأة وخلال تصلب راجع إلى تدفق مرحلة البخار للمكونات الإلكترونية إلى لوحات الدائرة. ولا يظهر فاقد البخار عند استخدام المركبات الفلورية السائلة في تبريد المكونات الإلكترونية أو الأنظمة خلال التشغيل. في هذه الحالة تكون المركبات الفلورية السائلة موجودة في أنظمة مغلقة طوال العمر الافتراضي للمنتج أو النظام. ويتم تسويق أكثر من 20 مركبًا مختلفًا من المركبات الفلورية السائلة إلى قطاع الصناعات الإلكترونية، وغالبًا ما تكون في شكل خليط للمركبات الفلورية بالكامل.[5] ونظرًا لاختلاف معادل ثاني أكسيد الكربون في كل سائل، يجب تتبع كل سائل والإبلاغ عنه بشكل منفصل. وسيتم تحديد القيمة الدقيقة لهذا التحويل بواسطة متطلبات إبلاغ معمول بها معينة.[6،7] بالإضافة إلى ذلك، يتم في بعض الأحيان استخدام المركبات الفلورية السائلة لتنظيف لوحات شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء خلال التصنيع .

---

[1] تشير عمليات المسح الحديثة لجهات تصنيع الفلطائية الضوئية الأوروبية والأمريكية إلى أن حوالي 40 أو 50 في المائة من جهات تصنيع الفلطائية الضوئية تستخدم كميات صغيرة نسبيًا من المركبات الفلورية (لاسيما الميثان الفلوري الرباعي ($CF_4$) خلال تنميش رقائق السيليكون الكريستال وافيثان الفلوري السداسي ($C_2F_6$) خلال تنظيف الغرفة بعد عزل رقائق السينكس). ووفقًا لعمليات المسح التي تمت خلال عام 2004، فقد وصل الاستخدام العالمي للميثان الفلوري الرباعي إلى ما يقرب من 30 مليون طن. في حين يبدوا أن الاستخدام العالمي للمركبات الفلورية في عام 2004 كان منخفضًا، إلا أن توقعات النمو الضخم في صناعة الفلطائية الضوئية تشير إلى زيادة استخدام الفلطائية الضوئية إلى ما يقرب من 30 في المائة لكل عام (أو أعلى) في المستقبل القريب. علاوة على ذلك، فالعديد من التقارير تبرز فوائد استخدام المركبات الفلورية كوسيلة لزيادة إنتاجية التصنيع وانخفاض التكاليف للتقنيات التي تعتمد على السيليكون (شاه وآخرون، 2004؛ مايكوك، 2005؛ أوجوستينيلي وآخرون، 2004 وريتنتش وآخرين، 2005)، وتدفع معدلات النمو هذه والتوقعات بزيادة استخدام المركبات الفلورية إلى تضمين انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن تصنيع الفلطائية الضوئية في هذا الفصل.

[2] على الرغم من عدم اعتراف الهيئة بأن مركب $C_5F_8$ توجد به احتمالية الاحترار العالمي (GWP) إلا أنه قد تمت مناقشة انبعاثات $C_5F_8$ في هذا الفصل. ويعتبر $C_5F_8$ مصدرًا مباشرًا لغازات الدفيئة ويمكن تقدير الانبعاثات باستخدام أساليب وبيانات ورد وصفها في هذا الفصل. والعمر الافتراضي الجوي لمركب $C_5F_8$ يُقدر بحوالي عامًا واحدًا، وهو ما يؤدي إلى انخفاض احتمالية الاحترار العالمي (سيكيا، 2003).

[3] تمت ملاحظة انبعاثات من المنتجات الثانوية للإيثان الفلوري السداسي $C_2F_6$ من تحلل جزيئات $C_4F_6$ وقد تحدث لجزيئات مركبات فلورية الأخرى ذات ذرات كربون تزيد عن اثنين. لاحظ أنه لمعظم سلائف المركبات الفلورية، لم يلاحظ تكون غاز $C_2F_6$ كمنتج ثانوي. تم الإبلاغ عن تكون $CHF_3$ عند استخدام $c\text{-}C_4F_8$ كمادة تنميش في تصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء (TFT-FPD) وقد تم الإبلاغ عن انبعاثات المنتج الثانوي لمركب $C_3F_8$ عند استخدام $C_4F_8O$ في تنظيف الغرفة.

[4] تم أولاً استخدام مواد ذات عزل كهربائي ثابت منخفض (k منخفض) كعوازل لهيكل التوصيل الداخلي لرقائق أشباه الموصلات في أنود 0.25 ميكرومتر أو أقل. وتحتوي العديد من المواد ذات العازل الكهربائي الثابت المنخفض على الكربون الذي يمكن إزالته في شكل $CF_4$ خلال تنميش الرقائق الرفيعة أو تنظيف مفاعلات عزل البخار الكيميائي المستخدم في العزل منخفض ثابت العازل الكهربي. قد يتكون $CF_4$ خلال تنظيف مفاعلات عزل البخار الكيميائي المستخدمة في عزل الكربيد.

[5] وتوجز مراجعة حديثة استخدامات المركبات الفلورية السائلة (سوائل توصيل الحرارة) وتكوينها الكيميائي واحتمالية الاحترار العالمي من بين أشياء أخرى. انظر بيرتون (2004أ).

[6] يتم تسويق هذه المواد تحت العلامتين التجاريتين Fluorinert™ وGalden®. يتم اختيار مواد Fluorinert™ من ألكانات الفلوريد بالكامل والإيثرات والأمينات الثلاثية والإيثرات الأمينية الخلائط الخاصة بها للحصول على الخصائص المطلوبة تشتمل سوائل Galden® على مجموعة من الإيثيرات المتعددة والتي يُطلق عليها اسم البيروفلوروإيثيرات المتعددة (PFPE)، ويتم اختيارها أيضًا للخصائص المطلوبة.

# 2-6 موضوعات منهجية

## 1-2-6 اختيار الأسلوب

### 1-1-2-6 التنميش وتنظيف عزل البخار الكيميائي لأشباه الموصلات وشاشات عرض الكريستال السائل وأجهزة الفلطائية الضوئية

تختلف كمية الانبعاثات المستخدمة في تصنيع أنواع الأجهزة الإلكترونية المختلفة والعمليات المستخدمة (أو بشكل أكثر صرامة نوع العملية، مثل عزل البخار الكيميائي أو التنميش) وطراز أداة العملية المستخدمة وتنفيذ تقنية تخفيض الانبعاثات.

ويعتمد اختيار الأسلوب على البيانات المتوافرة وقد تم شرحه في شجرة القرارات، انظر الشكل 6-1، شجرة قرارات تقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن تصنيع الإلكترونيات. يتم تقدير الانبعاثات الناجمة عن المركبات الفلورية السائلة باستخدام مقاربات المستوى 1 و2 و3 وقد تم وصفها بشكل منفصل في هذا القسم.[8]

تعتبر مراقبة الانبعاثات المستمرة (في الميدان) في الوقت الحالي وسيلة غير متاحة فنيًا واقتصاديًا لتقدير الانبعاثات الناجمة عن هذه الصناعة. ومع ذلك يتم قياس انبعاثات المركبات الفلورية بشكل دوري خلال إعداد أدوات وعمليات جديدة وبعد تأسيس ظروف العمليات الجاهزة من الناحية التجارية (المعروفة أيضًا باسم ظروف عملية خط الوسط).[9] قبل القيام بعمليات تصنيع كبيرة الحجم، تسعى الصناعة للحصول على تصميمات عملية خط الوسط تعمل على تقليل انبعاثات المركبات الفلورية. ومع ذلك ينبغي التذكير بأن انبعاثات المركبات الفلورية يمكن أن تتأثر بالتغييرات التي تطرأ على متغيرات العملية (مثل الضغط ودرجة الحرارة وطاقة البلازما وتدفق غاز المركب الفلوري ووقت المعالجة). وبذلك، تتأثر دقة الأساليب المستخدمة في تقدير الانبعاثات بالاختلافات النهائية بين العملية المستخدمة في الإنتاج وعملية خط الوسط المرجعية. علاوة على ذلك، فإن فعالية جهاز التحكم في انبعاثات المركبات الفلورية تعتمد على تشغيل وصيانة الجهاز وفقًا لمواصفات جهة التصنيع. وتؤثر عناصر تدفقات الغاز الزائدة وإعدادات درجة الحرارة غير الملائمة والإخفاق في أداء الصيانة المطلوبة بشكل فردي أو جمعي سلبيًا على الأداء.

كما تعتمد دقة الانبعاثات المقدرة على الأسلوب المستخدم. يستخدم أسلوب المستوى 1 قيمًا افتراضية لكل البارامترات ولا تستخدم تقنية التحكم في الانبعاثات. يستخدم أسلوب المستوى 2أ بيانات خاصة بالشركة حول كمية الغاز المستخدمة في العملية مع تقنية التحكم أو بدونها، لكنه لا يميز بين التنميش والتنظيف، ويستخدم قيمًا افتراضية للبارامترات الأخرى. على الجانب الآخر يستخدم أسلوب المستوى 2ب بيانات الشركة الخاصة بكمية الغاز المستخدمة في *التنميش* في مقابل *التنظيف* ونسبة الغاز المستخدمة في العمليات مع تقنية التحكم في الانبعاثات، ولكنه يعتمد على القيم الافتراضية لبعض أو لكل البارامترات الأخرى. ويتطلب أسلوب المستوى 3، وهو الأسلوب الأكثر شدة، مجموعة كاملة من القيم الخاصة بالعملية بدلاً من القيم الافتراضية.

ويوجز الجدول 6-1 متطلبات البيانات لأساليب مستويات تقدير الانبعاثات الخاصة بتصنيع الإلكترونيات.

---

[7] عند استخدام خليط تجاري، يحتاج القائمون على الحصر التحقق من أن تحويل كتلة الخليط إلى معادلات ثاني أكسيد الكربون يستخدم معاملات التحويل الملائمة.

[8] لا يعرض المنطق الموضح في الشكل 6-1 احتمالية الجمع بين المستويات لتحسن تقديرات الانبعاثات. على سبيل المثال، يمكن الحصول على تقديرات محسنة للانبعاثات باستخدام المستوى 3 لغاز وعملية معينة والمستوى 2ب لعمليات وغازات أخرى بدلاً من استخدام أسلوب المستوى 2ب فقط. وبالمثل يمكن استخدام أساليب المستوى 2أ و2ب معًا لإجراء تقدير محسن مقارنة باستخدام المستوى 2أ فقط. ومع ذلك، لا يجب الجمع بين أسلوب المستوى 1 وأي أسلوب آخر.

[9] تشير شروط خط المنتصف إلى الشروط التي في ظلها تقوم جهات تصنيع الأجهزة بوضع معايير الأجهزة الخاصة بها لعرضها للبيع. وهذه هي المواصفات الاسمية لتدفق الغاز وضغط الغرفة ووقت المعالجة وطاقة البلازما وما إلى ذلك. ومن الشائع أن تقوم جهات تصنيع أشباه الموصلات بتعديل هذه الشروط لرفع مستوى الأداء والفاعلية.

**الجدول 6-1**
**مصادر المعلومات الضرورية لاستيفاء أساليب تقدير انبعاثات مستويات تصنيع الإلكترونيات**

| | البيانات | المستوى 1 | المستوى 2أ | المستوى 2ب | المستوى 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| أداة إدخال غاز العملية | $FC_{i,p}$ = كجم الغاز *i* الملقم في عملية معينة *p* أو مجموعة صغيرة من أدوات العملية الشائعة (على سبيل المثال نيتريد أكسجين السيليكون). | | | | ق |
| | $FC_{i,p}$ = كجم الغاز *i* الملقم في فئة عملية واسعة (على سبيل المثال تنميش أو تنظيف غرفة تنظيف البخار الكيميائي). | | ق | ق (تنميش) وق (تنظيف البخار الكيميائي) | |
| | h = كسر الغاز المتبقي في حاوية الشحن (القاع) بعد الاستخدام. | | ف | ف | ق |
| تفاعلات وتوزيع غاز العملية في الأداة | $U_{i,p}$ = معدل الاستخدام (الكسر المدمر أو المحول) لكل غاز *i* والعملية *p*. | | ف | ف (تنميش) وف (تنظيف البخار الكيميائي) | ق |
| | $B_{CF4,i,p}$ و$B_{C2F6,i,p}$ و $B_{CHF3,i,p}$ و $B_{C3F8,i,p}$ = معامل انبعاث انبعاثات المنتج الثانوي الناتج عن $CF_4$ و$C_2F_6$ و $CHF_3$ و$C_3F_8$ على التوالي لغاز *i* لكل عملية. | | ف | ف (تنميش) وف (تنظيف البخار الكيميائي) | ق |
| التحكم في انبعاثات المركبات الفلورية السفلية | $a_{i,p}$ = كسر كمية غاز *i* الملقم في العمليات التي تستخدم تقنيات معتمدة للتحكم في الانبعاثات. | | ق | ق | ق |
| | $d_{i,p}$ = كسر الغاز *i* المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات. | | ف | ف[أ] | ق |
| | $d_{CF4,p}$ و$d_{C2F6,p}$ و $d_{CHF3,p}$ و $d_{C3F8,p}$= كسر المنتجات الثانوية الناجمة عن بالتوالي والمدمرة بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات[ب]. | | | | ق |
| سعة الإنتاج السنوية | $C_d$ = السعة السنوية المحددة للتصنيع في منطقة سطح الركيزة التي تتم معالجتها (على سبيل المثال السيليكون والزجاج). | ق | | | |
| | $C_u$ = كسر سعة الاستخدام السنوية | ق/ف | | | |

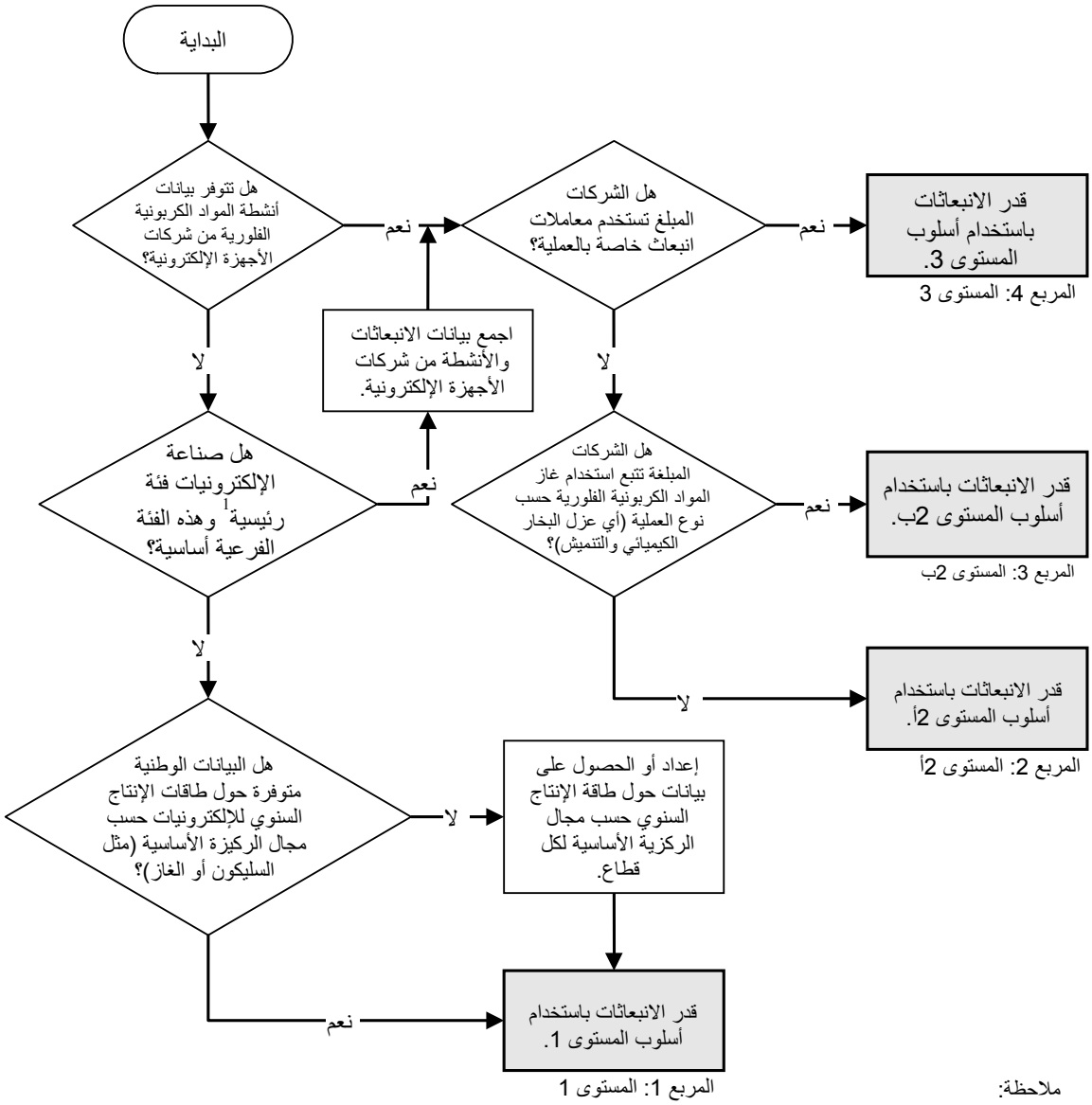
ق = قياس أو الحصول على هذه القيم.

ف = استخدام المعاملات الافتراضية للخطوط التوجيهية.

[أ] عند توافره ودعمه، يمكن أن تحل قيم "ف" محل قيم "ق" في المستويين 2أ و2ب. انظر الشروط الواردة في الجدول 6-6.

[ب] لا توجد قيم افتراضية للمستوى 2أ والمستوى 2ب وذلك نظرًا لأن تأثيرات المنتجات الثانوية قد تم إدماجها في قيم "ف" لـ $d_{i,p}$ بالنسبة لغاز *i* .

**الشكل 6-1 شجرة قرارات تقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن تصنيع الإلكترونيات**




ملاحظة:

1. انظر المجلد 1، الفصل 4، اختيار المنهجيات وتعريف الفئات الرئيسية (مع ملاحظة القسم 4-1-2 حول المصادر المحدودة)، للاطلاع على مناقشة الفئات الرئيسية واستخدام شجر القرارات.

### أسلوب المستوى 1 - الافتراضي

يعتبر أسلوب المستوى 1 هو أقل تقدير من حيث الدقة ويجب استخدامه فقط في الحالات التي لا تتوافر فيها بيانات خاصة بالمصنع. وعلى خلاف أساليب المستوى 2 و3، فقد تم وضع أسلوب المستوى 1 لتقديم تقدير مجمع لانبعاثات المركبات الفلورية على الرغم من أن المنهجية التي يستخدمها تبدو وكأنها تقدم انبعاثات خاصة بالغاز. ويتم إجراء التقديرات بشكل متزامن لكل الغازات على النحو الوارد في الجدول 6-2 ويمكن استخدامها فقط في حالة الإبلاغ عنها على أنها مجموعة كاملة.

يعتمد حساب الانبعاثات على مجموعة ثابتة من معاملات الانبعاث العامة. وتختلف مكونات المجموعة اعتمادًا على قطاع (أو فئة) المنتجات الإلكترونية التي يتم تصنيعها (أشباه الموصلات وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء أو خلايا الفلطائية الضوئية). ويعبر كل عنصر في المجموعة، التي تعتبر معامل انبعاث خاص بالغاز، عن متوسط الانبعاثات لكل وحدة من مجال الركيزة (مثل السيليكون وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء أو خلال الفلطائية الضوئية) المستهلكة خلال التصنيع. ولكل فئة من المنتجات الإلكترونية، يتم ضرب المعاملات (عناصر المجموعة) في سعة الاستخدام السنوية ($C_u$، كسر) وسعة التصنيع السنوية ($C_d$، في وحدات جيغا متر مربع ($Gm^2$)) لعمليات الركيزة. والمنتج ($C_u \bullet C_d$) هو تقدير كمية الركيزة المستهلكة خلال تصنيع الإلكترونيات. والنتيجة هي مجموعة من الانبعاثات السنوية التي يتم التعبير عنها بكج الغازات التي تُكون مجموعة كل فئة من المنتجات الإلكترونية. ونتيجة لأن استخدام المركبات الفلورية يتنوع بشكل واسع خلال تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية، يتطلب الأمر معاملاً ثالثًا لحساب تصنيع الفلطائية الضوئية التي تستخدم المركبات الفلورية، وذلك لتقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية. توضح المعادلة 6-1 صيغة أسلوب المستوى 1.

**المعادلة 6.1**
**أسلوب المستوى 1 لتقدير مجموعة انبعاثات المركبات الفلورية**

$$\{FC_i\}_n = \{EF_i \bullet C_u \bullet C_d \bullet [C_{PV} \bullet \delta + (1-\delta)]\}_n \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

حيث:

$\{FC_i\}_n$ = انبعاثات غاز المركبات الفلورية *i*، كتلة الغاز *i*

**ملاحظة:** يشير $\{\ \}_n$ إلى مجموعة كل فئة منتجات (أشباه الموصلات وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء أو خلايا الفلطائية الضوئية) ويشير *n* إلى عدد الغازات المضمنة في كل مجموعة ( ستة لأشباه الموصلات وثلاثة لتصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء أو اثنين لخلايا الفلطائية الضوئية. انظر الجدول 6-2). وتعتبر التقديرات صالحة فقط في حالة القيام بها والإبلاغ عن كل مكونات المجموعة باستخدام منهجية المستوى 1.

$EF_i$ = معامل انبعاث المركبات الفلورية للغاز *i* المعبر عنه بأنه الكتلة السنوية للانبعاثات بالمتر المربع لمنطقة سطح مجال الركيزة لفئة المنتج، (كتلة الغاز i)/م2

$C_u$ = كسر استخدام سعة إنتاج المصنع السنوي، كسر

$C_d$ = السعة المحددة للتصنيع السنوي، جيغا م2 للركيزة التي تمت معالجتها، باستثناء تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية ويتم تقديرها باستخدام ملم2

$C_{PV}$ = كسر تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية التي تستخدم المركبات الفلورية، كسر

$\delta$ = 1 عند تطبيق المعادلة 6-1 على صناعة خلايا الفلطائية الضوئية وصفر عند تطبيق المعادلة 6-1 على صناعة أشباه الموصلات أو شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء، بدون أبعاد

لا يهتم هذا الأسلوب بالاختلافات الموجودة بين أنواع العمليات (التنميش مقابل التنظيف) أو العمليات الفردية أو الأدوات. كما أنه لا يهتم بالاستخدام المحتمل لأجهزة التحكم في الانبعاثات الجوية.

عند استخدام المستوى 1، يجب ألا يعدل القائمون على الحصر، بأي طريقة، مجموعة المركبات الفلورية المفترضة في الجدول 6-2. كما لا ينبغي عليهم الجمع بين الانبعاثات التي تم تقديرها باستخدام أسلوب المستوى 1 مع الانبعاثات التي تم تقديرها باستخدام أساليب المستوى 2 أو 3. كما ينبغي على القائمين على الحصر، على سبيل المثال، استخدام معامل المستوى 1 لمركب $CF_4$ لتقدير انبعاثات $CF_4$ الناجمة عن أشباه الموصلات وجمعه مع نتائج غازات المركبات الفلورية الناجمة عن أسلوب المستوى 2 أو المستوى 3. (انظر القسم 6-2-2-1).

### أسلوب المستوى 2أ – بارامترات العملية الخاصة بالغاز

يقوم هذا الأسلوب بحساب الانبعاثات الناجمة عن كل مركب فلوري مستخدم على أساس البيانات الخاصة بالمصنع الخاصة باستهلاك الغاز وتقنيات التحكم في الانبعاثات. ويستخدم هذا الأسلوب قيمًا افتراضية مستخدمة على مستوى الصناعة تخص "قاع" أو كسر الغاز الذي تم شراؤه والمتبقي في حاوية الشحن بعد الاستخدام (h) أو كسر الغاز "المستخدم" (المدمر أو المحول) في عملية تصنيع أشباه الموصلات أو شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء، وكسر الغاز المحول إلى $CF_4$ أو $C_2F_6$ خلال العملية. لاستخدام أسلوب المستوى 2أ يجب أن يكون للقائم على الحصر اتصال مباشر بالصناعة (مثل الإبلاغ عن الانبعاثات السنوية) لجمع البيانات وضمان تركيب واستعمال تقنيات التحكم في الانبعاثات .

ويعادل إجمالي الانبعاثات مجموع الانبعاثات الناجمة عن غاز $FC_i$ المستخدم في عملية الإنتاج بالإضافة إلى انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CF_4$ و$C_2F_6$ و $CHF_3$ و$C_3F_8$ الناجمة عن استخدام الغاز $FC_i$، كما هو موضح في المعادلات 6-2 و6-3 و6-4 و6-5 و6-6. على خلاف أساليب المستوى 2ب والمستوى 3 اللذين تم شرحهما لاحقًا في هذا القسم، لا يميز أسلوب المستوى 2أ بين العمليات وأنواع العمليات (التنميش والتنظيف) أو العمليات الفردية أو الأدوات. وتمثل معاملات الانبعاث الافتراضية المتوسطات الموزونة (اعتمادًا على آراء الخبراء للأوزان) والتي تم تحديدها بشكل منفصل لكل غاز، في *كل* عملية تنميش *و*عملية عزل غاز كيميائي.

ونتطرق في هذا القسم إلى مناقشة معاملات الانبعاث، يستخدم أسلوب المستوى 2أ معاملات الانبعاث الخاصة بنوع العملية (تنميش *و*عملية عزل غاز كيميائي) والذي يتم فيه استخدام مركب فلوري واحد بشكل متكرر في قطاع إلكترونيات معين. ويعكس هذا الأسلوب اتجاهًا حاليًا يميل إلى استخدام المركبات الفلورية بشكل أكبر في أنواع عمليات معينة (تنميش *و*عملية عزل غاز كيميائي) في كل صناعة. ومع ذلك ففي البلدان التي تنحرف فيها المصانع أو الشركات بشكل كبير عن نمط الاستخدام الشائع في الصناعة (على سبيل المثال عن طريق استخدام غاز معين بشكل أساسي في عملية التنميش واستخدام غازات أخرى بشكل أساسي في عزل البخار الكيميائي)، يجب أن يقدر القائمون على الحصر احتمالية حدوث خطأ عند استخدام أسلوب المستوى 2أ بدلاً من أسلوب المستوى 2ب.

**المعادلة 6-2**
**أسلوب المستوى 2أ لتقدير انبعاثات المركبات الفلورية**

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

حيث:

$E_i$ = انبعاثات الغاز *i*، كجم

$FC_i$ = استهلاك الغاز (مثل $CF_4$ و$C_2F_6$ و$C_3F_8$ و$c\text{-}C_4F_8$ و$c\text{-}C_4F_8O$ و$C_4F_6$ و$C_5F_8$ و$CHF_3$ و$CH_2F_2$ و$NF_3$ و$SF_6$)، كجم

h = كسر الغاز المتبقي في حاوية الشحن (القاع) بعد الاستخدام، كسر

$U_i$ = معدل استخدام الغاز $i$ (الكسر المدمر أو المحول في العملية)، كسر

$a_i$ = كسر كمية الغاز $i$ المستخدم في العمليات مع تقنيات التحكم في الانبعاثات (الخاص بالمصنع أو الشركة)، كسر

$d_i$ = كسر الغاز $i$ المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات، كسر

**المعادلة 6-3**
**انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CF_4$**

$$BPE_{CF4,i} = (1-h) \bullet B_{CF4,i} \bullet FC_i \bullet (1 - a_i \bullet d_{CF4})$$

حيث:

$BPE_{CF4,I}$ = انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CF_4$ من الغاز $i$ المستخدم، كجم

$B_{CF4,i}$ = معامل الانبعاث، كجم $CF_4$ المنشأ/كجم غاز i المستخدم

$d_{CF4}$ = كسر المنتج الثانوي لـ $CF_4$ المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات، كسر

**المعادلة 6-4**
**انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_2F_6$**

$$BPE_{C2F6,i} = (1-h) \bullet B_{C2F6,i} \bullet FC_i \bullet (1 - a_i \bullet d_{C2F6})$$

حيث:

$BPE_{C2F6,i}$ = انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_2F_6$ من الغاز $i$ المستخدم، كجم

$B_{C2F6,i}$ = معامل الانبعاث، كجم $C_2F_6$ المنشأ/كجم غاز i المستخدم

$d_{C2F6}$ = كسر المنتج الثانوي لـ $C_2F_6$ المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات، كسر

**المعادلة 6-5**
**انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CHF_3$**

$$BPE_{CHF3,i} = (1-h) \bullet B_{CHF3,i} \bullet FC_i \bullet (1 - a_i \bullet d_{CHF3})$$

حيث:

$BPE_{CHF3,i}$ = انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CHF_3$ من الغاز $i$ المستخدم، كجم

$B_{CHF3,i}$ = معامل الانبعاث، كجم $CHF_3$ المنشأ/كجم غاز i المستخدم

$d_{C2F6}$ = كسر المنتج الثانوي لـ $CHF_3$ المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات، كسر

**المعادلة 6-6**
**انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_3F_8$**

$$BPE_{C3F8,i} = (1-h) \bullet B_{C3F8,i} \bullet FC_i \bullet (1 - a_i \bullet d_{C3F8})$$

حيث:

$BPE_{C3F8,i}$ = انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_3F_8$ من الغاز $i$ المستخدم، كجم

$B_{C3F8,i}$ = معامل الانبعاث، كجم $C_3F_8$ المنشأ/كجم غاز i المستخدم

$d_{C3F8}$ = كسر المنتج الثانوي لـ $C_3F_8$ المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات، كسر

بعد تقدير انبعاثات الغاز $i$ ($E_i$) والمنتجات الثانوية لـ $CF_4$ و$C_2F_6$ و$CHF_3$ و$C_3F_8$ لكل غاز ($BPE_{CF4,I}$ و$BPE_{C2F6,I}$ و$BPE_{CHF3,I}$ و$BPE_{C3F8,i}$)، على الشركات أو القائمين على الحصر جمع هذه الانبعاثات من كل الغازات لتقدير إجمالي انبعاثات المركبات الفلورية المجمعة.

**أسلوب المستوى 2ب – بارامترات العملية الخاصة بالنوع**

يتطلب أسلوب المستوى 2ب البيانات الخاصة بالكميات المجملة لكل غاز تم تلقيمه في عمليات التنميش وعمليات التنظيف ($FC_{i,p}$). وبذلك فهذا الأسلوب يميز فقط بين أنواع عمليات واسعة (التنميش مقابل عزل البخار الكيميائي)، لكنه لا يميز بين العديد من العمليات المفردة المحتملة أو المجموعات الصغيرة للعمليات. يمكن استخدام القيم الافتراضية لأي وكل مما يلي:

- كسر الغاز المتبقي في حاوية الشحن بعد الاستخدام والتي يطلق عليها اسم "القاع" (h)؛
- كسر الغاز "المستخدم" (المدمر أو المحول) حسب نوع كل عملية ($U_{i,p}$)؛
- معامل الانبعاث للمنتج الثانوي لـ $CF_4$ في نوع العملية ($B_{CF4,i,p}$)؛
- معامل الانبعاث للمنتج الثانوي لـ $C_2F_6$ في نوع العملية ($B_{C2F6,i,p}$)؛
- معامل الانبعاث للمنتج الثانوي لـ $CHF_3$ في نوع العملية ($B_{CHF3,i,p}$)؛ و
- معامل الانبعاث للمنتج الثانوي لـ $C_3F_8$ في نوع العملية ($B_{C3F8,i,p}$).

كما تم تقديم القيم الافتراضية (انظر الجدول 6-6) لكسر الغاز المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات حسب نوع العملية ($d_{i,p}$ و$d_{CF4,p}$ و$d_{C2F6,p}$ و $d_{CHF3,p}$ و$d_{C3F8,p}$). فيما عدا حالة تركيب تقنيات التحكم في الانبعاثات، تكون القيمة الافتراضية لكسر $a_{i,p}$، كسر حجم الغاز الملقم في العمليات التي تستخدم تقنيات التحكم في الانبعاثات، هي صفر. وتمثل القيم الافتراضية لكل من $U_{i,p}$ و$B_{CF4,i,p}$ و$B_{C2F6,i,p}$ و $B_{CHF3,i,p}$ و $B_{C3F8,i,p}$ قيمًا متوسطة بسيطة غير موزونة، وقد تم إعدادها لكل غاز، *لكل* عمليات التنميش و*لكل* عمليات غزل البخار الكيميائي. ويمكن أن تحل معاملات الانبعاث الخاصة بالمصنع أو الشركة محل القيم الافتراضية في حال توافرها. وتحسب المعادلة الاستخدام الخاص بالمصنع لأجهزة التحكم في الانبعاث، ولكنها لا تحسب الاختلافات الموجودة بين العمليات المفردة أو الأدوات أو بين مصانع جهات التصنيع فيما يتعلق بخليط العمليات والأدوات. ولذلك تعتبر تقديرات المستوى 2ب أقل دقة من تقديرات المستوى 3. أيضًا لاحظ أن أسلوب المستوى 2ب يُستخدم في تصنيع أشباه الموصلات وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء.

تتكون الانبعاثات الناجمة عن استخدام مركب فلوري معين ($FC_i$) من انبعاثات $FC_i$ نفسه *بالإضافة* إلى انبعاثات $CF_4$ و$C_2F_6$ و $CHF_3$ و$C_3F_8$ التي تظهر في شكل منتجات ثانوية خلال استخدام $FC_i$. يجب تكرار الحساب التالي لكل غاز ولكل نوع عملية:

**المعادلة 6-7**
**أسلوب المستوى 2ب لتقدير انبعاثات المركبات الفلورية**

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

حيث:

$E_i$ = انبعاثات الغاز *i*، كجم

P = نوع العملية (التنميش مقابل تنظيف غرفة عزل البخار الكيميائي)

$FC_{i,p}$ = كمية الغاز *i* الملقم في العملية من نوع *p* (مثل $CF_4$ و$C_2F_6$ و$C_3F_8$ و$c\text{-}C_4F_8$ و$c\text{-}C_4F_8O$ و$C_4F_6$ و$C_5F_8$ و$CHF_3$ و$CH_2F_2$ و$NF_3$ و$SF_6$)، كجم

h = كسر الغاز المتبقي في حاوية الشحن (القاع) بعد الاستخدام، كسر

$U_{i,p}$ = معدل الاستخدام لكل غاز *i* ونوع العملية *p* (الكسر المدمر أو المحول)، كسر

$a_{i,p}$ = كسر كمية الغاز *i* الملقم في نوع العملية *p* مع تقنيات التحكم في الانبعاثات (الخاص بالمصنع أو الشركة)، كسر

$d_{i,p}$ = كسر الغاز *i* المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات المستخدمة في نوع العملية *p* (في حالة استخدام أكثر من تقنية واحدة للتحكم في الانبعاثات في نوع العملية *p*، يكون ذلك هو متوسط الكسر المدمر بواسطة تقنيات التحكم في الانبعاثات تلك، حيث يتم وزن كل كسر بواسطة كمية الغاز الملقم في الأدوات باستخدام هذه التقنية)، كسر

**المعادلة 6-8**
**انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CF_4$**

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

حيث:

$BPE_{CF4,i}$ = انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CF_4$ المحولة من الغاز *i* المستخدم، كجم

$B_{CF4,i,p}$ = معامل انبعاث انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CF_4$ المحولة من الغاز *i* في نوع العملية *p*، كجم $CF_4$ منشأ/كجم غاز *i* مستخدم

$d_{CF4,p}$ = كسر المنتج الثانوي لـ $CF_4$ المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات المستخدمة في نوع العملية *p* (مثل نوع تقنية التحكم الوارد في الجدول 6-6)، كسر

**المعادلة 6-9**
**انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_2F_6$**

$$BPE_{C2F6,i} = (1-h) \bullet \sum_p \left[ B_{C2F6,i,p} \bullet FC_{i,p} \bullet \left(1 - a_{i,p} \bullet d_{C2F6,p}\right)\right]$$

حيث:

$BPE_{C2F6,i}$ = انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_2F_6$ من الغاز $i$ المستخدم، كجم

$B_{C2F6,i,p}$ = معامل انبعاث انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_2F_6$ المحولة من الغاز $i$ في نوع العملية $p$، كجم $C_2F_6$ منشأ/كجم غاز $i$ مستخدم

$d_{C2F6,p}$ = كسر المنتج الثانوي لـ $C_2F_6$ المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات المستخدمة في نوع العملية $p$ (مثل نوع تقنية التحكم الوارد في الجدول 6-6)، كسر

**المعادلة 6-10**
**انبعاثات المنتج الثانوي لغاز $CHF_3$**

$$BPE_{CHF3,i} = (1-h) \bullet \sum_p \left[ B_{CHF3,i,p} \bullet FC_{i,p} \bullet \left(1 - a_{i,p} \bullet d_{CHF3,p}\right)\right]$$

حيث:

$BPE_{CHF3,i}$ = انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CHF_3$ من الغاز $i$ المستخدم، كجم

$B_{CHF3,i,p}$ = معامل انبعاث انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CHF_3$ المحولة من الغاز $i$ في نوع العملية $p$، كجم $CHF_3$ منشأ/كجم غاز $i$ مستخدم

$d_{CHF3,p}$ = كسر المنتج الثانوي لـ $CHF_3$ المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات المستخدمة في نوع العملية $p$ (مثل نوع تقنية التحكم الوارد في الجدول 6-6)، كسر

**المعادلة 6-11**
**انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_3F_8$**

$$BPE_{C3F8,i} = (1-h) \bullet \sum_p \left[ B_{C3F8,i,p} \bullet FC_{i,p} \bullet \left(1 - a_{i,p} \bullet d_{C3F8,p}\right)\right]$$

حيث:

$BPE_{C3F8,i}$ = انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_3F_8$ من الغاز $i$ المستخدم، كجم

$B_{C3F8,i,p}$ = معامل انبعاث انبعاثات المنتج الثانوي لـ $C_3F_8$ المحولة من الغاز $i$ في نوع العملية $p$، كجم $C_3F_8$ منشأ/كجم غاز $i$ مستخدم

$d_{C3F8,p}$ = كسر المنتج الثانوي لـ $C_3F_8$ المدمر بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات المستخدمة في نوع العملية $p$ (مثل نوع تقنية التحكم الوارد في الجدول 6-6)، كسر

لاحظ أنه في بعض صيغ التنميش أو التنظيف، يمكن استخدام عدة سلائف مركبات فلورية في نفس الوقت ويمكن أن تنشأ انبعاثات $CF_4$ أو $C_2F_6$ أو $CHF_3$ أو $C_3F_8$ في شكل منتجات ثانوية من تحلل كل سلف مركب فلوري. في هذه الحالات، يجب الإبلاغ عن انبعاثات $CF_4$ أو $C_2F_6$ أو $CHF_3$ أو $C_3F_8$ في شكل منتجات ثانوية على أنها تنشأ من غاز المركب الفلوري مع أكبر معدل تدفق.

### أسلوب المستوى 3 – البارامترات الخاصة بالعملية

من الممكن أيضا استخدام أسلوب المستوى 3 المعادلات 6-7 و6-8 و6-9 و6-10 و6-11. إلا أن هذا الأسلوب يتطلب القيم الخاصة بالمصنع أو الخاصة بالشركة لكل البارامترات المستخدمة في هذه المعادلات لكل عملية مفردة أو لكل مجموعة صغيرة من العمليات (على سبيل المثال تنميش نيتريد أكسجين السيليكون أو تنظيف غرفة أداة عزل البخار الكيميائي المحسن (PECVD) للبلازما). لذلك فعند استخدام المعادلات 6-7 و6-8 و6-9 و6-10 و6-11 يحتاج القائمون على الحصر إلى تفسير قيمة "p" في هذه المعادلات على أنها "العملية" (على سبيل المثال تنميش نيتريد أكسجين السيليكون أو تنظيف غرفة أداة عزل البخار الكيميائي المحسن (PECVD) للبلازما)، وليس "نوع العملية".

ولتحقيق أغراض الشفافية والقدرة على المقارنة، يجب الاهتمام عند توثيق القيم المستخدمة في بارامترات الانبعاثات هذه (انظر القسم 6-2-2).

### تكون $CF_4$ من الرقائق التي تحتوي على الكربون خلال تصنيع أشباه الموصلات

تحسب أساليب المستويات 2أ و2ب و3 انبعاثات $CF_4$ التي تتكون خلال الإزالة من خلال تنميش المواد التي تحتوي على الكربون ذو ثابت غازل كهربي منخفض (k) أو تنظيف مفاعلات عزل البخار الكيميائي منخفضة الغازل الكهربائي الثابت (k) أو رقائق الكربيد خلال تصنيع أشباه

على سبيل المثال، يؤدي تنظيف مفاعلات عزل البخار الكيميائي منخفضة العازل الكهربائي التي تحتوي على $NF_3$ إلى إنتاج $CF_4$ في شكل منتج ثانوي. في هذه الحالات، يجب استخدام المعادلة 6-7 للإبلاغ عن انبعاثات $NF_3$ واستخدام نتيجة المعادلة 6-8 لكي تعكس انبعاثات $CF_4$ الناجمة عن العملية. في الحالات التي يتم فيها استخدام $F_2$ أو $COF_2$ أو $ClF_3$ في تنظيف الغرفة، يمكن أيضًا أن يتكون $CF_4$. في هذه الحالة يتم تقدير انبعاثات $CF_4$ باستخدام المعادلة 6-8 وجمع الحاصل إلى إجمالي انبعاثات $CF_4$ التي يتم الحصول عليها من المعادلة 6-7. في كلتا الحالتين، يجب قياس $B_{CF4,i,p}$ ككسر من كتلة $CF_4$ التي يتم إنتاجها عبر كتلة غاز التنظيف أو التنميش المستخدم في المفاعل.

بعد تقدير انبعاثات غاز كل مركب فلوري وانبعاثات $CF_4$ و$C_2F_6$ و $CHF_3$ و$C_3F_8$ التي في شكل منتجات ثانوية، يجب أن تجمع الشركات أو القائمون على الحصر هذه الانبعاثات في كل الغازات للوصول إلى تقدير مجموع انبعاثات المركب الفلوري من العمليات المعينة.

**المربع 6-1**
**مثال على تصنيع أشباه الموصلات**

على سبيل المثال، في حالة استخدام مصدر $NF_3$ (لتنظيف الغرفة والتنميش) و$CHF_3$ (التنميش) و$CF_4$ (التنميش)، يتم تقدير إجمالي الانبعاثات، في حالة استخدام رقائق منخفضة العازل الكهربائي، باستخدام المعادلة 6-7 لكل من $NF_3$ و$CHF_3$ و$CF_4$ والمعادلة 6-8 لغاز $CF_4$ المكون عند إزالة الرقائق منخفضة العازل الكهربائي باستخدام $NF_3$. في صيغة المعادلة، يكون الإجمالي:

إجمالي انبعاثات المركب الفلوري = $E_{NF3} + E_{CHF3} + E_{CF4} + BPE_{CF4,NF3}$

## 6-1-2-2 سوائل توصيل الحرارة

يوجد أسلوبان لتقدير الانبعاثات الناجمة عن استخدام سوائل توصيل الحرارة. يعتمد اختيار الأسلوب على تنوع بيانات الأنشطة الخاصة باستخدام سوائل توصيل الحرارة، وقد وردت في شجرة القرارات (انظر الشكل 6-2 شجرة قرارات تقدير انبعاثات المركب الفلوري من سوائل توصيل الحرارة وانظر القسم 1-5 من الفصل 1، الاختيار من بين مقاربة رصيد الكتلة ومعامل الانبعاث).

**المستوى 1- سوائل توصيل الحرارة**

يعتبر المستوى 1 ملائمًا في حالة عدم توافر البيانات الخاصة بالشركة حول سوائل توصيل الحرارة. ويعتبر أقل الأسلوبين من ناحية دقة تقدير الانبعاثات الناجمة عن فقدان سوائل توصيل الحرارة. على خلاف أسلوب المستوى 2، يقدم هذا المستوى تقديرًا لمجموع الانبعاثات – يتم التعبير عن متوسط الانبعاثات الموزونة عبر كل المركبات الفلورية السائلة في شكل كتلة $C_6F_{14}$[10]. يعتمد الحساب على معامل الانبعاث العام الذي يعبر عن متوسط الانبعاثات المجمعة لوحدة السيليكون المستهلكة خلال تصنيع أشباه الموصلات. توضح المعادلة 6-12 الصيغة.

**المعادلة 6-12**
**أسلوب المستوى 1 لتقدير إجمالي انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن سوائل توصيل الحرارة**

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

حيث:

$FC_{liquid, total}$ = إجمالي انبعاثات المركب الفلوري المعبر عنه في كتلة $C_6F_{14}$ و$Mt\ C_6F_{14}$

$EF_l$ = معامل الانبعاث (انبعاثات المركب الفلوري المجمعة لجيغا المتر المربع من السيليكون المستهلك خلال الفترة يتم التعبير عنها في شكل كتلة $C_6F_{14}$ (انظر الجدول 6-2)) طن متري $C_6F_{14}$/جيغا متر مربع

$C_u$ = متوسط سعة الاستخدام لكل منشآت تصنيع أشباه الموصلات في البلد خلال الفترة، كسر

$C_d$ = السعة المحددة لمنشآت تصنيع أشباه الموصلات في البلد، جيغا متر مربع

**أسلوب المستوى 2- سوائل توصيل الحرارة**

يوجد أسلوب واحد في المستوى 2 لتقدير الانبعاثات الفعلية الناجمة عن استخدام كل سائل مركب فلوري. هذا هو أسلوب التوازن الكتلي الذي يحسب استخدام المركب الفلوري السائل خلال السنة. ويعتبر هذا الأسلوب ملائمًا في حالة توافر البيانات الخاصة بالمصنع. خلال السنة، يتم استخدام المركبات الفلورية السائلة لملء الأجهزة التي تم شراؤها حديثًا ولتعويض فاقد المركب الفلوري السائل الناتج عن تشغيل الجهاز عبر التبخر. لا يهتم أسلوب المستوى 2 بفاقد السائل الذي يحدث خلال ملء الجهاز الجديد أو الحالي أو عند الاستغناء عن جهاز قديم (وهو ما يعد معقولاً بالنسبة للسوائل

[10] في حالة غياب تقديرات احتمالية الاحترار العالمي، يتم استخدام احتمالية الاحترار العالمي لغاز $C_6F_{14}$ على إنه البديل (لتحديد معامل الانبعاث الافتراضي). (انظر قائمة الحصر الأمريكية لغازات الدفيئة والبالوعات: 1990 – 2003، ذيل الجدول 4-58، الصفحة 166 (هيئة حماية البيئة الأمريكية، 2005))

**المعادلة 6-13**
**أسلوب المستوى 2 لتقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن سوائل توصيل الحرارة**

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

حيث:

$FC_i$ = انبعاثات $FC_i$، كجم

$\rho_i$ = كثافة سائل $FC_i$، كجم/لتر

$I_{i,t-1}(l)$ = قائمة حصر مركب $FC_i$ السائل في نهاية الفترة السابقة، لتر

$P_{i,t}(l)$ = صافي مشتريات مركب $FC_i$ السائل خلال الفترة (صافي المشتريات والعائدات)، لتر

$N_{i,t}(l)$ = إجمالي شحنة (أو سعة اللوحة) للجهاز الجديد، لتر

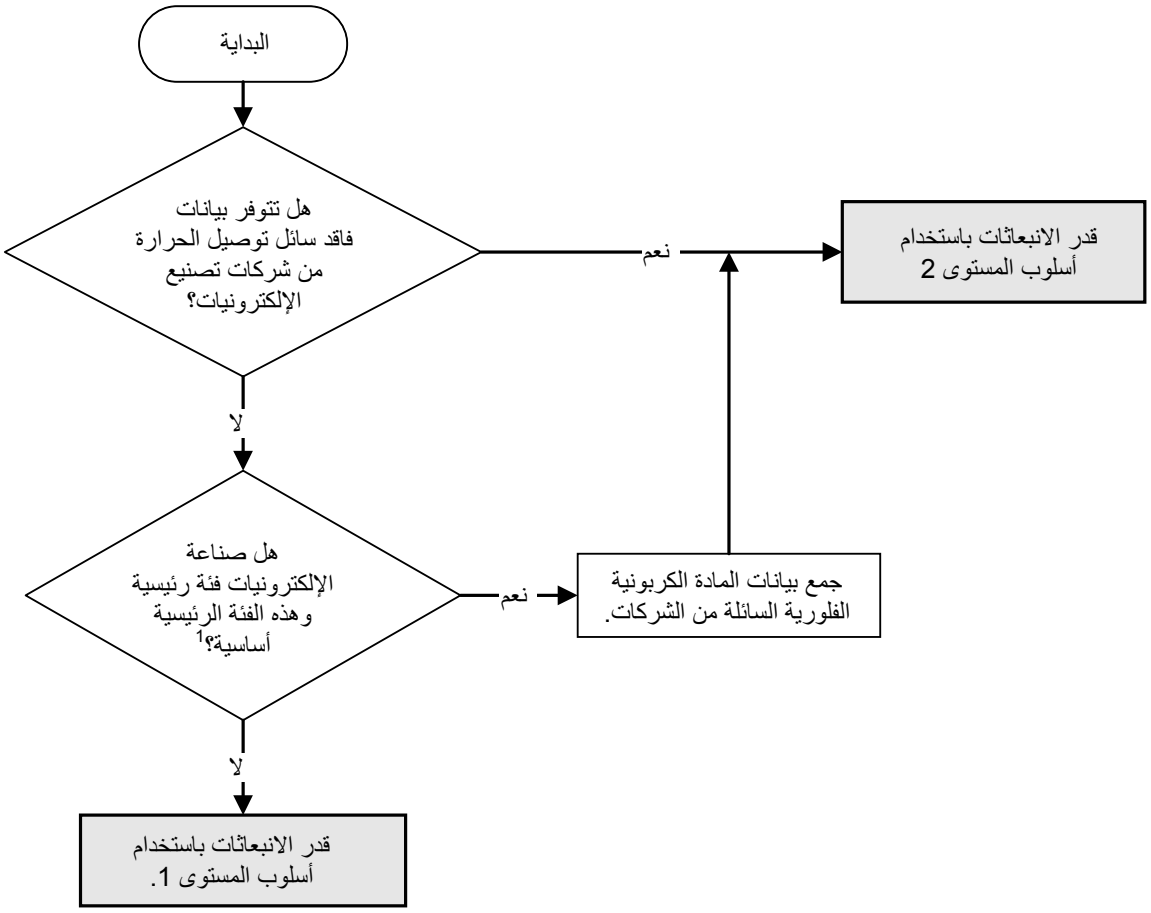
$R_{i,t}(l)$ = إجمالي شحنة (أو سعة اللوحة) للجهاز المباع أو الذي تم الاستغناء عنه، لتر

$I_{i,t}(l)$ = قائمة حصر مركب $FC_i$ السائل في نهاية الفترة، لتر

$D_{i,t}(l)$ = كمية $FC_i$ التي تم استردادها وإرسالها بعيدًا عن الموقع من الأجهزة التي تم الاستغناء عنها خلال الفترة، لتر

[11] تتراوح أسعار سوائل توصيل الحرارة بين 55 إلى 130 دولارًا أمريكيًا للتر. تقدر شركة 3M، إحدى شركات تصنيع سوائل توصيل الحرارة المعروفة، أن مصنع إنتاج فينتاج 2000 قد يفقد حوالي 1900 لتر في السنة بسبب التبخر. وتشير جهات تصنيع أجهزة الاختبار التي تستخدم سوائل توصيل الحرارة إلى أن معدلات الفقد تبلغ 30 لترًا/سنة/نظام للتصميمات الجديدة التي تقلل من الفاقد المتبخر و50 لترًا/سنة/نظام للتصميمات القديمة.

**الشكل 6-2 شجرة قرارات تقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن فقد سائل توصيل الحرارة من تصنيع الإلكترونيات**




ملاحظة:

1. انظر المجلد 1، الفصل 4، اختيار المنهجيات وتعريف الفئات الرئيسية (مع ملاحظة القسم 4-1-2 حول المصادر المحدودة)، للاطلاع على مناقشة الفئات الرئيسية واستخدام شجر القرارات.

## 6-2-2 اختيار معاملات الانبعاث[12]

### 6-2-2-1 التنميش وتنظيف عزل البخار الكيميائي لأشباه الموصلات وشاشات عرض الكريستال السائل وأجهزة الفلطائية الضوئية

**المستوى 1**

ورد في الجدول 6-2 أدناه معاملات الانبعاث الافتراضية الخاصة بأسلوب المستوى 1.

عند استخدام المستوى 1، لا يكون من *الممارسة السليمة* القيام بأي تعديل على مجموعة المركبات الفلورية أو على قيم معاملات الانبعاث المفترضة في الجدول 6-2. كما لا ينبغي على القائمين على الحصر الجمع بين الانبعاثات التي تم تقديرها باستخدام أسلوب المستوى 1 مع الانبعاثات التي تم تقديرها باستخدام أساليب المستوى 2 أو 3. على سبيل المثال، ولا ينبغي على القائمين على الحصر استخدام معامل المستوى 1 لمركب $CF_4$ لتقدير انبعاثات $CF_4$ الناجمة عن أشباه الموصلات وجمعه مع نتائج غازات المركبات الفلورية الناجمة عن أسلوب المستوى 2 أو المستوى 3. كما تجدر الإشارة إلى أن معاملات انبعاث المركبات الفلورية للمستوى 1 الواردة في الجدول 6-2 لا يجب استخدامها لأي غرض بخلاف تقدير انبعاثات المركبات الفلورية المجمعة السنوية الناجمة عن أشباه الموصلات وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء أو تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية لإعداد قائمة حصر وطنية بغازات الدفيئة.

[12] يمكن العثور على مصادر وأساليب لإعداد معاملات الانبعاثات في بيرتون (2006)، ذلك في حالة عدم العثور عليها في الفصل 6.

**الجدول 6-2**
**معاملات الانبعاث الخاصة بالغاز للمستوى 1 لتقدير الانبعاثات الناجمة عن تصنيع الإلكترونيات**

| قطاع صناعة الإلكترونيات | معامل الانبعاث (الكتلة لمنطقة وحدة الركيزة التي تتم معالجتها) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CF_4$ | $C_2F_6$ | $CHF_3$ | $C_3F_8$ | $NF_3$ | $SF_6$ | $C_6F_{14}$ |
| أشباه الموصلات، كجم/م2 | 0.9 | .1 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.2 | غير متاح |
| شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء | 0.5 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.9 | .4 | غير متاح |
| خلايا الفلطائية الضوئية[أ]، ج/م2 | 5 | 0.2 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| سوائل توصيل الحرارة[ب]، كجم/م2 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.3 |

[أ] تم تبني معاملات الانبعاث الواردة في الأعمال غير المنشورة لكل من فثيناكيس وأليسيما وأجوستينيلي. (فثيناكيس، 2003) لاحظ أن المعامل ينطبق فقط على التقنيات الخاصة بالسيليكون ويُستخدم للتخفيف.

[ب] يفترض معامل الانبعاث أن سوائل توصيل الحرارة لها نفس احتمالية الاحترار العالمي وأن $C_6F_{14}$ يمثل بديلاً ملائمًا. تم وصف أصل هذا المعامل في بيرتون، 2004، ويعتمد في جزء منه على عملي توما وتوسينانت (2001).

**المستوى 2**

كما ورد أعلاه، لا تعتبر معاملات الانبعاث التي تعتمد على متغيرات إنتاج إلكترونيات بسيطة كافية لحساب كل المعاملات التي تؤثر على الانبعاثات. تعتبر البيانات الخاصة بالبارامترات التالية ضرورية لإعداد تقدير يمكن الوثوق به:

- الغازات المستخدمة؛
- نوع العملية المستخدمة (التنميش أو عزل الغاز الكيميائي)؛
- طراز أداة العملية المستخدمة؛
- تقنية تقليل الانبعاثات.

تم إعداد القيم الافتراضية للبارامترات المستخدمة في أساليب المستوى 2أ و2ب (انظر الشكل 6-1) على أساس القياسات المباشرة والأدبيات وآراء الخبراء (انظر الجداول 6-3 و6-4 و6-5 الخاصة بمعاملات الانبعاث الافتراضية لانبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن تصنيع أشباه الموصلات [12] وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء[13] وخلايا الفلطائية الضوئية [12] على التوالي). بالنظر إلى الصعوبة التي تكتنف تمثيل شروط الإنتاج المختلفة في صناعة الإلكترونيات، نجد أن بارامترات الانبعاث الافتراضية بعدم التيقن. في حين يمكن زيادة الدقة للمجموعات الأكبر من البيانات التي تم قياسها وعند تطبيق المعاملات على العمليات المشابهة باستخدام صيغ كيميائية مشابهة أو مطابقة، فإن إعداد معاملات الانبعاث الافتراضية يشتمل بالضرورة على متوسطات كل البيانات.

يتوقع خبراء صناعة الإلكترونيات أن الابتكارات الفنية السريعة التي يقدمها موردو الأجهزة والمواد الكيميائية وجهات تصنيع الإلكترونيات ستؤدي إلى خفض الانبعاثات في المستقبل بنسب كبيرة (أي من 2006 وما بعدها). ونتيجة لذلك، فإن معاملات الانبعاث الخاصة بهذه الفئات يجب أن تتطور لكي تعكس هذه التغييرات. لقد وضعت صناعتا شاشات العرض المسطحة بتقنيات الترانزستور رقيق الغشاء وأشباه الموصلات آليات عبر المجلس العالمي لأشباه الموصلات واللجنة العالمية للتعاون في صناعة شاشات عرض الكريستال السائل، على التوالي لتقييم معاملات الانبعاث العالمية. وربما يفكر القائمون على صناعة خلايا الفلطائية الضوئية في الوقت الراهن في وضع آلية لتتبع انبعاثات المركبات الفلورية خلال تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية. (فثيناكس، 2006)

وربما يزيد استخدام المركبات الفلورية خلال تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية أو لا يزيد . وتشير الأدلة الراهنة إلى أنه في حالة زيادة استخدام المركبات الفلورية في هذه الصناعة، ستكون هناك مساع كبيرة للتحكم في الانبعاثات الناجمة عنها (أجوستينيلي *وآخرون*، 2004؛ رينتخ *وآخرون*، 2005). ربما يود القائمون على الحصر في إجراء مشاورات دورية مع القائمين على الصناعة لتحسين الإدراك بالظروف الوطنية والعالمية.

يشتمل الجدولان 6-3 و6-4 على إدخالين لـ $NF_3$:$NF_3$ البعيد و$NF_3$. يشير الأول إلى أسلوب تنظيف يتم فيه إنتاج عوامل تنظيف الرقائق التي تتكون من $NF_3$ (ذرات-F) في التيار العلوي (البعيد) للبلازما من الغرفة الجاري تنظيفها. والثاني، الذي تتم الإشارة إليه ببساطة باسم $NF_3$، يشير إلى عمليات تنظيف $NF_3$ المستمرة التي تعتبر مناظرة لعملية غازات التنظيف الأخرى مثل $C_2F_6$ و$C_3F_8$.

القيمة الافتراضية لكسر الغاز المتبقي في حاوية الشحن (القاع) هي 0.10.

[13] معاملات الانبعاث الخاصة بتصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء عبارة عن متوسطات بسيطة (غير موزونة) تم إعدادها من خلال القيم الخاصة بالعملية والخاصة بالغاز المنشورة بواسطة نيشيدا *وآخرون*. (2005).

**الجدول 6-3**
**معاملات الانبعاث الخاصة بالغاز للمستوى 2 لتقدير الانبعاثات الناجمة عن تصنيع أشباه الموصلات**

| | غازات الدفيئة ذات القار الذي يتسم باحتمالية الاحترار العالمي | | | | | | | | | | | | غازات الدفيئة بدون القار الذي يتسم باحتمالية الاحترار العالمي | | | منتجات المركبات الفلورية التي لا تنتج غازات دفيئة‡ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| غاز العملية (i) | $CF_4$ | $C_2F_6$ | $CHF_3$ | $CH_2F_2$ | $C_3F_8$ | c-$C_4F_8$ | $NF_3$ البعيد | $NF_3$ | $SF_6$ | $C_4F_6$ | $C_5F_8$ | $C_4F_8O$ | $F_2$ | $COF_2$ |
| **المستوى 2أ** | | | | | | | | | | | | | | |
| **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 | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{CF4}$** | غير متاح | 0.2 | 0.07 | 0.08 | 0.1 | 0.1 | †0.02 | 0.09 | غير متاح | 0.3 | 0.1 | 0.1 | †0.02 | †0.02 |
| **$B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.1 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.2 | 0.04 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{C3F8}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.04 | غير متاح | غير متاح |
| **المستوى 2ب** | | | | | | | | | | | | | | |
| **تنميش 1-Ui** | *0.7 | *0.4 | *0.4 | *0.06 | غير متاح | *0.2 | غير متاح | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ 1-Ui** | 0.9 | 0.6 | غير متاح | غير متاح | 0.4 | 0.1 | 0.02 | 0.2 | غير متاح | غير متاح | 0.1 | 0.1 | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{CF4}$** | غير متاح | *0.4 | *0.07 | *0.08 | غير متاح | 0.2 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | *0.3 | 0.2 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.2 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | *0.2 | 0.2 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{CF4}$** | غير متاح | 0.1 | غير متاح | غير متاح | 0.1 | 0.1 | †0.02 | †0.1 | غير متاح | غير متاح | 0.1 | 0.1 | †0.02 | †0.02 |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{C3F8}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.04 | غير متاح | غير متاح |

ملاحظات: "غير متاح" تشير إلى أنه لا يُطبق اعتمادًا على المعلومات المتوافرة حاليًا.

‡ معاملات الانبعاث الافتراضية لكل من $F_2$ و$COF_2$ يمكن تطبيقها على مفاعلات تنظيف عزل البخار الكيميائي منخفضة العازل الكهربائي مع $ClF_3$ .

*التقديرات تشكل عمليات التنميش التي تستخدم العديد من الغازات

† تشير التقديرات إلى وجود عمليات التنميش منخفضة العازل الكهربائي والتي تحتوي على العديد من الغازات والكربيد والتي يمكن أن تحتوي على إضافات المركبات الفلورية التي تحتوي على الكربون.

**الجدول 6-4**
**معاملات الانبعاث الخاصة بالغاز للمستوى 2 لتقدير الانبعاثات الناجمة عن تصنيع شاشات عرض الكريستال السائل**

| | غازات الدفيئة ذات القار الذي يتسم باحتمالية الاحترار العالمي | | | | | | | | | | | | غازات الدفيئة بدون القار الذي يتسم باحتمالية الاحترار العالمي | | | منتجات المركبات الفلورية التي لا تنتج غازات دفيئة | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| غاز العملية (i) | $CF_4$ | $C_2F_6$ | $CHF_3$ | $CH_2F_2$ | $C_3F_8$ | c-$C_4F_8$ | $NF_3$ البعيد | $NF_3$ | $SF_6$ | $C_4F_6$ | $C_5F_8$ | $C_4F_8O$ | $F_2$ | $COF_2$ |
| **المستوى 2أ** | | | | | | | | | | | | | | |
| **1-Ui** | 0.6 | غير متاح | 0.2 | غير متاح | غير متاح | 0.1 | 0.03 | 0.3 | 0.6 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{CF4}$** | غير متاح | غير متاح | 0.07 | غير متاح | غير متاح | 0.009 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{CHF3}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.02 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | 0.05 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{C3F8}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **المستوى 2ب** | | | | | | | | | | | | | | |
| **تنميش 1-Ui** | 0.6 | غير متاح | 0.2 | غير متاح | غير متاح | 0.1 | غير متاح | غير متاح | 0.3 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ 1-Ui** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.03 | 0.3 | 0.9 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{CF4}$** | غير متاح | غير متاح | 0.07 | غير متاح | غير متاح | 0.009 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{CHF3}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.02 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | 0.05 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{CF4}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{C3F8}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |

ملاحظات: "غير متاح" تشير إلى أنه لا يُطبق اعتمادًا على المعلومات المتوافرة حاليًا.

**الجدول 6-5**
**معاملات الانبعاث الخاصة بالغاز للمستوى 2 لتقدير الانبعاثات الناجمة عن تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية**

| | غازات الدفيئة ذات القار الذي يتسم باحتمالية الاحترار العالمي | | | | | | | | | | غازات الدفيئة بدون القار الذي يتسم باحتمالية الاحترار العالمي | | منتجات المركبات الفلورية التي لا تنتج غازات دفيئة | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| غاز العملية (i) | $CF_4$ | $C_2F_6$ | $CHF_3$ | $CH_2F_2$ | $C_3F_8$ | c-$C_4F_8$ | $NF_3$ البعيد | $NF_3$ | $SF_6$ | $C_4F_6$ | $C_5F_8$ | $C_4F_8O$ | $F_2$ | $COF_2$ |
| **المستوى 2أ** | | | | | | | | | | | | | | |
| **Ui-1** | 0.7 | 0.6 | 0.4 | غير متاح | 0.4 | 0.2 | غير متاح | 0.2 | 0.4 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{CF4}$** | غير متاح | 0.2 | غير متاح | غير متاح | 0.2 | 0.1 | غير متاح | 0.05 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{6F2C}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.1 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{C3F8}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **المستوى 2ب** | | | | | | | | | | | | | | |
| **تنميش Ui-1** | 0.7 | 0.4 | 0.4 | غير متاح | غير متاح | 0.2 | غير متاح | غير متاح | 0.4 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيمياني لـ Ui-1** | غير متاح | 0.6 | غير متاح | غير متاح | 0.1 | 0.1 | غير متاح | 0.3 | 0.4 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{CF4}$** | غير متاح | 0.2 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.1 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 0.1 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيمياني لـ $B_{CF4}$** | غير متاح | 0.2 | غير متاح | غير متاح | 0.2 | 0.1 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيمياني لـ $B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيمياني لـ $B_{C3F8}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |

ملاحظات: "غير متاح" تشير إلى أنه لا يُطبق اعتمادًا على المعلومات المتوافرة حاليًا.

**الجدول 6-6**
**بارامترات الكفاءة الافتراضية للمستوى 2أ و2ب لصناعة تقنيات تخفيف انبعاثات المركبات الفلورية في صناعة الإلكترونيات[أ، ب، هـ]**

| تقنية التحكم في الانبعاثات | $CF_4$ | $C_2F_6$ | $CHF_3$ | $C_3F_8$ | c-$C_4F_8$ | $NF_3$[د] | $SF_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| التدمير[ج] | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.95 | 0.9 |
| الاحتجاز/الاسترداد[د] | 0.75 | 0.9 | 0.9 | غير مختبر | غير مختبر | غير مختبر | 0.9 |

[أ] القيم عبارة عن متوسطات بسيطة (غير موزونة) لكفاءات تدمير تقنيات التخفيف. معاملات تقنية التحكم في الانبعاث لا تنطبق على تقنيات التحكم في الانبعاثات التي لا تستطيع تخفيف $CF_4$ على كفاءة تدمير أو إزالة تبلغ 85≤ في المائة عندما يكون $CF_4$ موجودًا كغاز إدخال أو منتج ثانوي وكل غازات المركبات الفلورية على درجة 90≤ في المائة. في حالة استخدام جهات التصنيع لأنواع أخرى من تقنيات التحكم في الانبعاثات، تكون كفاءة التدمير صفر في المائة عند استخدام أساليب المستوى 2.معاملات تقنية التحكم في الانبعاثات بالمستوى 2 تنطبق فقط على الأجهزة الوسيطة التي يتم تسخينها كهربائيا وتزود بالوقود بواسطة الاحتراق وأجهزة البلازما التي

- تم تصميمها خصيصًا لتخفيض المركبات الفلورية،
- يتم استخدامها في إطار العمليات التي حددتها جهة التصنيع ووفقًا لجداول الصيانة المحددة و
- تم قياسها والتأكد منها في ظل شروط عملية فعلية، باستخدام بروتوكول صحيح من الناحية الفنية، والذي يحسب أخطاء القياس المعروفة، بما في ذلك على سبيل المثال تكون المنتج الثانوي الناتج عن $CF_4$ خلال $C_2F_6$ بالإضافة إلى تأثير التخفيف واستخدام الأكسجين أو كليهما خلال احتراق أنظمة التخفيف

[ج] القيم المتوسطة لتقنيات التخفيف الوسيطة والبلازما والتي تزود بالوقود عن طريق الاحتراق.

[د] القيم المتوسطة الخاصة بتقنيات الاسترداد والاحتجاز .

[هـ] بيانات البائعين التي تم التحقق منها بواسطة الجهات المصنعة لأشباه الموصلات. يجب استخدام المعاملات فقط عند استخدام تقنية التحكم في الانبعاثات وصيانتها وفقًا لمواصفات جهة تصنيع جهاز التخفيف.

[و] يعتبر استخدام $NF_3$ في عملية التنميش قليلاً مقارنة بعزل البخار الكيميائي. عادة لا تكون انبعاثات $NF_3$ المجمعة من عملية التنميش وعزل البخار الكيميائي باستخدام المستوى 2ب أكبر من التقديرات التي يتم التوصل إليها باستخدام أساليب المستوى 2أ والمستوى 1.

**معاملات انبعاث أداة العملية**

تتشابه الإجراءات الخاصة بحساب معاملات انبعاث أداة العملية في أساليب المستوى 2أ و2ب. ويتم تعريف معاملات انبعاث أداة العملية على أنها كمية غازات الدفيئة المنبعثة مقسومة على كمية غازات الدفيئة المستخدمة في العملية. ومعاملات الانبعاث تناظر مصطلح "$(1 - U_i)$" في صيغ المستوى 2. على سبيل المثال، يعني معامل الانبعاث 0.9 لغاز $CF_4$ (انظر الجدول 6-3 أعلاه، قيمة المستوى 2أ) أن 90 في المائة من $CF_4$ المستخدم في العملية ينبعث في شكل $CF_4$.

وأيضًا يتم حساب معاملات انبعاث المنتج الثانوي. وتعتبر انبعاثات $CF_4$ هي أكبر الانبعاثات الناجمة عن المنتج الثانوي. في حين أنه من المعتقد عمومًا أن الغازات الوحيدة التي تنبعث منها كميات كبيرة من $CF_4$ في شكل منتجات ثانوية هي $C_2F_6$ و$C_3F_8$، فإن البيانات التي تقدمها جهات تصنيع الأداة وموردو المواد الكيميائية أظهرت أن $CF_4$ يتكون أيضًا من خليط من الغازات (على سبيل المثال التي تحتوي على $CHF_3$ أو $CH_2F_2$) و$c\text{-}C_4F_8$. ونتيجة لهذه المناقشة، يتم حساب انبعاثات المنتج الثانوي لـ $CF_4$ لكل من $CHF_3$ و$CH_2F_2$ و$C_2F_6$ و$C_3F_8$ و $c\text{-}C_4F_8$ و$c\text{-}C_4F_8O$. على سبيل المثال، تعني قيمة 0.1 لـ $C_3F_8$ (من الجدول 6-3 عاليه، قيمة المستوى 2أ) أن 10 في المائة من $C_3F_8$ المستخدم يتم تحويلها إلى $CF_4$. ومع ذلك يمكن أن ينبعث $C_2F_6$ من تحلل جزيئات مثل $C_4F_6$. وكما ورد من قبل، يمكن أيضًا أن يتكون $CF_4$ عند التنميش أو تنظيف الغرف التي يوجد بها الرقائق التي تحتوي على الكربون.

لحساب معاملات انبعاث أداة العملية وفقًا للمستوى 2، يتم جمع البيانات من جهاز العملية وجهات تصنيع الغاز. ويتم جمع البيانات وفقًا لنوع العملية (إما عزل بخار كيميائي أو تنميش) وأيضًا حسب نوع الغاز (على سبيل المثال، $C_2F_6$ أو$CF_4$ ). الأساليب التي تم استخدامها لإجراء اختبارات الانبعاثات هي جهاز قياس طيف الكتلة رباعي الأقطاب (QMS) وأسلوب فورير للكشف الطيفي المحول باستخدام الأشعة تحت الحمراء (FTIR)، وهما أفضل أسلوبين معروفين حاليا لقياس انبعاثات العملية. وقد تم استخدام مقاييس المعايرة (عادة 1 في المائة أخلاط مع توازن $N_2$) لتحديد كميات النتائج. ورد في "الخطوط التوجيهية للخصائص البيئية لأجهزة أشباه الموصلات" متطلبات بروتوكول القياس ومراقبة الجودة التي تم اتباعها. (مايرز *وآخرون*، 2001)[14] ومعاملات الانبعاث الخاصة بالمستوى 2ب (انظر الجدول 6-3 و6-4 أعلاه) عبارة عن متوسط بسيط (غير موزون) للبيانات التي تم تجميعها لكل غاز تنميش وعزل البخار الكيميائي، مقربة لرقم هام واحد .[12،16]

ولتحديد معاملات انبعاث أداة العملية في المستوى 2أ، يتطلب الأمر معرفة كميات الغاز المستخدمة في عمليات تصنيع أشباه الموصلات النموذجية. تم الحصول على معاملات انبعاث المستوى 2أ باستخدام الأوزان التي قدمها خبراء الصناعة لنسبة كل غاز مستخدم في عمليات التنميش والتنظيف. على سبيل المثال فإن معايير انبعاث $C_2F_6$ (الجدول 6-3) في المستوى 2ب هي 0.5 (التنميش) و0.6 (عزل البخار الكيميائي). ويبلغ توزيع $C_2F_6$ بين عمليات التنميش وتنظيف غرفة عزل البخار الكيميائي خلال عملية تصنيع أشباه الموصلات 20:80. ويؤدي تطبيق هذه الأوزان لكل من معاملات الانبعاث إلى توفير 0.6 لكل معامل للمستوى 2أ لـ $C_2F_6$ إلى رقم هام واحد. والتوزيع المناظر لاستخدام $SF_6$ في تصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء يبلغ 50:50، وهو ما يوفر 0.6 لمعامل انبعاث المستوى 2أ المناظر (الجدول 6-4).[15]

[14] تم استخدام هذه الخطوط التوجيهية بواسطة جهات تصنيع شاشات العرض المسطحة لقياس انبعاثات المركبات الفلورية خلال تصنيع جهاز اللوحات المسطحة.

[15] تمثل معدلات استخدام $SF_6$ التي تبلغ 50:50 متوسط المناطق الرئيسية في إنتاج شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء في اليابان وجمهورية كوريا وتايوان. وقد حدد هذه النسبة نيشيدا (2006) وكيم (2006).

بالنسبة لمعاملات انبعاث المستوى 3، تستخدم الجهات المصنعة لأشباه الموصلات القيم الخاصة بالمصنع أو الشركة بدلاً من استخدام القيم الافتراضية الواردة في الجدول 6-1 أعلاه. ولضمان جودة معاملات الانبعاث، يجب إجراء اختبار للانبعاثات وفقًا للأساليب المعتمدة [16].في حالة إجراء مورد آخر لاختبار الانبعاثات، يجب أن تتأكد الجهة المصنعة لأشباه الموصلات من أن المورد الآخر قادر على الوفاء بكافة المتطلبات المنصوص عليها في المراجعة 3.0 للخطوط التوجيهية للخصائص البيئية للأجهزة (اتحاد صناعة أشباه الموصلات (SIA)، 2000) .ويجب أن تتأكد جهة تصنيع أشباه الموصلات التي تستخدم معامل الانبعاث الذي قدمه مورد جهاز أداة العملية من أن معاملات الانبعاث صالحة لعملية التصنيع الخاصة بها. أساليب التصنيع التي تستخدم بارامترات عملية (مثل الضغط ومعدل التدفق) التي تنحرف عن شروط خط الوسط ربما توجد لها معاملات انبعاث مختلفة عن المعاملات التي تقدمها الجهة المصنعة للأداة.

**معاملات تقنية التحكم في الانبعاثات لأساليب المستوى 2**

تتقدم خطى تطور تقنيات التحكم في الانبعاثات جنبًا إلى جنب مع تقنية تصنيع الإلكترونيات. وتعتمد معاملات تقنية التحكم في الانبعاث الافتراضية الواردة في الجدول 6-6 على اختبارات أجهزة التحكم التي تم تطويرها لأدوات وعمليات معينة. ومن المتوقع أن تتباين النتائج فيما بين الأدوات ومعدلات تدفق الغاز. لا تنطبق معاملات تقنية التحكم في الانبعاث على كل الأدوات أو العمليات في منشآت تصنيع أشباه الموصلات أو شاشات عرض الكريستال أو خلايا الفلطائية الضوئية. تنطبق معاملات كفاءة التدمير الافتراضي في المستوى 2 الواردة في الجدول 6-6 فقط عندما يستطيع القائمون على الحصر التأكد، عبر الاتصال بمديري المنشآت والوثائق اللاحقة، من أن تقنيات التحكم في الانبعاثات قيد التشغيل وأنها تخضع للصيانة وفقًا لمواصفات الجهة المصنعة. في حالة استخدام الشركات لأنواع أخرى من أجهزة تخفيف الانبعاثات، يجب أن يفترضوا أن الكفاءة تصل إلى صفر في المائة في ظل أساليب المستوى 2أ و2ب.

افتراضات معاملات انبعاثات تقنية التحكم في الانبعاث لأساليب المستوى 2 (أ وب) تشتمل على:

(i) عدم إدراج تقنيات معينة للتحكم في الانبعاثات؛ تم تحديد معاملات تقنية التحكم في الانبعاث الخاصة بكل مادة كيميائية اعتمادًا على النتائج التي تم التوصل إليها خلال اختبار تقنيات التحكم في الانبعاثات في تطبيقات تصنيع أشباه الموصلات؛

(ii) يجب استخدام معاملات تقنية التحكم في الانبعاث فقط عند تطبيق التخفيف على الانبعاثات التي تنخفض عن نطاق التشغيل المحدد بواسطة جهة تصنيع جهاز التخفيف لكي تفي أو تتجاوز المعاملات المحددة في الجدول 6-6؛

(iii) تنطبق معاملات تقنية التحكم في الانبعاث فقط على جزء الانبعاثات الذي يمر عبر جهاز تحكم يعمل بشكل ملائم وخاضع للصيانة؛ ولا ينبغي تطبيق معاملات الانبعاث عند تفادي جهاز التحكم، وعند استخدام جهاز تحكم لا يعمل وفقًا لمواصفات جهة التصنيع أو لا يخضع للصيانة وفقًا للمواصفات.

(iv) لا تنطبق معاملات تقنية التحكم في الانبعاث على تقنيات التحكم في الانبعاثات التي لا تستطيع تخفيف انبعاثات $CF_4$ في درجة كفاءة إزالة تدمير تبلغ $\geq$ 85 في المائة عندما يكون $CF_4$ موجودًا في شكل غاز تلقيم أو كمنتج ثانوي ووصول درجة كل غازات المركبات الفلورية إلى $\geq$90 في المائة. في حالة استخدام جهات التصنيع لأنواع أخرى من تقنيات التحكم في الانبعاثات، تبلغ درجة كفاءة التدمير الخاصة بها صفر عند استخدام أساليب المستوى 2.

تم حساب معاملات التحكم في الانبعاثات الافتراضية للمستوى 2 الواردة في الجدول 6-6 وبارامترات الكفاءة الافتراضية لتقنيات تخفيف انبعاثات المركبات الفلورية في صناعة الإلكترونيات من البيانات التي تم الحصول عليها من موردي الأجهزة وموردي تقنيات التخفيف وجهات تصنيع الأجهزة الإلكترونية. جدير بالذكر أن البيانات التي تم الحصول عليها من أجهزة التخفيف التي تم تصميمها لتخفيف المركبات الفلورية تمت الاستعانة بها في الحساب. تم الحصول على البيانات من أجهزة تخفيف الاحتراق (والتي استخدمت جميعها نوعًا ما من الوقود) وأجهزة تخفيف البلازما وأجهزة التخفيف التي يتم تسخينها إلكترونيًا وأجهزة التخفيف الوسيطة.

القيم الممثلة في الجدول 6-6، بارامترات الكفاءة الافتراضية لتقنيات تخفيف انبعاثات المركبات الفلورية في صناعة الإلكترونيات هي نتائج كل البيانات التي تم الحصول عليها من التقنيات المطورة ولكل غاز تلقيم، مع التقريب إلى نسبة الـ 5 في المائة التالية (على سبيل المثال، يمكن تقريب متوسط 98 في المائة إلى 95). تم تقريب المتوسط لكي يعكس (1) اختلاف أجهزة التحكم في الانبعاثات في الكفاءة اعتمادًا على الغاز الذي تم تطويره للتدمير و(2) اعتماد كفاءة أجهزة التحكم في الانبعاثات على نوع الأداة المركبة فيها (رقائق 150 أو 200 أو 300ملم ) وكمية غاز المركب الفلوري المتدفق إلى هذه الأداة وإجمالي تدفق العادم عبر جهاز التحكم في الانبعاثات. جهاز التحكم في الانبعاثات الذي يستطيع تدمير 99 في المائة من المركب الفلوري عند تطويره لتدمير هذا المركب الفلوري يستطيع تدمير أقل من 95 في المائة من هذا المركب الفلوري عند تطويره لتدمير شيء آخر أو عند استخدامه في أداة لم يتم تصميمه لأغراضها أو في حالة تجاوز المركب الفلوري أو إجمالي تدفق العادم الحد المعين. يجب أن تضمن جهات تصنيع الإلكترونيات وجهات تصنيع أدوات التخفيف أن نظام التخفيف المركب حجمه ملائم وأنه يخضع للصيانة، علاوة على ذلك يجب أن يضمنوا أن جهاز التحكم يفي أو يتجاوز معامل تقنية التحكم في الانبعاث الافتراضي الموضح في الجدول 6-6.

### 6-2-2-2 سوائل توصيل الحرارة

ورد في الجدول 6-2 معامل الانبعاث الخاص بأسلوب المستوى 1. لا يوجد معامل انبعاث خاص بأسلوب المستوى 2 لتقدير الانبعاثات الناجمة عن تبخر سوائل توصيل الحرارة.

## 6-2-3 اختيار بيانات الأنشطة

تتكون بيانات الأنشطة الخاصة بصناعة الإلكترونيات من بيانات مبيعات الغازات واستخداماتها أو الكمية السنوية لركيزة الإلكترونيات التي تمت معالجتها (على سبيل المثال م2 من السيليكون المعالج لأشباه الموصلات). بالنسبة لأساليب المستوى 2 التي تركز على البيانات، من الضروري توافر بيانات مشتريات الغاز على مستوى المصنع أو الشركة. بالنسبة لأساليب المستوى 1، سيحتاج القائمون على الحصر إلى تحديد منطقة السطح الكلي لركائز الإلكترونيات التي تمت معالجتها لسنة معينة. يمكن تقدير استهلاك السيليكون باستخدام الإصدار الملائم من قاعدة بيانات هيئة مراقبة

[16] أحد أمثلة أساليب الاختيار المعتمدة دوليًا هي أسلوب ميارز *وآخرون*..(2001)

تعكس بيانات الأنشطة الواردة في الجدول 6-7 أرقام السعات المحددة. لا تعمل مصانع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء وأشباه الموصلات بالسعات المحددة لفترات مستمرة، على سبيل المثال سنة كاملة. وإنما تتذبذب السعة حسب المنتج المطلوب. بالنسبة لتصنيع أشباه الموصلات، تُظهر إحصائيات الصناعة المتوافرة للجماهير أن سعة الاستخدام المتوسطة السنوية العالمية خلال الفترة من 1991 إلى 2000 تراوحت بين 76 و91 في المائة، وكانت القيمة المتوسطة 82 في المائة والقيمة الأكثر احتمالاً هي 80 في المائة. في حالة عدم توافر بيانات سعة الاستخدام الخاصة بالبلد، تكون سعة الاستخدام المقترحة لتصنيع أشباه الموصلات هي 80 في المائة. يجب استخدام هذه القيمة بشكل متسق في كافة سنوات المتسلسلة الزمنية للتقديرات. بالنسبة لتصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء، لا تتوافر للجماهير بيانات سعة الاستخدام. وكما هو الحال بالنسبة لصناعة أشباه الموصلات، فإن صناعة شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء تقلل من أسعار المنتج للحفاظ على أعلى سعة استخدام عملية للمصنع. ولذلك فعند المناظرة، يُقترح استخدام 80 في المائة لتقدير استهلاك ركيزة الزجاج باستخدام سعات الاستخدام الواردة في الجدول 6-7 لبلدان تصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء. بالنسبة لتصنيع خلايا الفلطائية الضوئية، تتراوح بيانات سعات الاستخدام المنشورة بين 77-92 في المائة، ووصل المتوسط في سنتي 2003 و2004 إلى 86 في المائة. لذلك فإن 86 في المائة هو الرقم الافتراضي الموصى به لـ $C_u$ (انظر المعادلة 6-1) للاستخدام.

عند تقدير الانبعاثات خلال تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية، يجب حساب كسر الصناعة التي تستخدم المركبات الفلورية بالفعل ($C_{PV}$ في المعادلة 6-1). ولأن عمليات المسح الحديثة تشير إلى أن ما يتراوح بين 40-50 في المائة من تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية يستخدم بالفعل المركبات الفلورية، كما تشير إلى زيادة اتجاه الاستخدام، فإن القيمة الافتراضية الموصى بها لـ $C_{PV}$ هي 0.5.

يوجز الجدول 6-7 سعة البلدان في سنوات 2003 و2004 و2005، والتي بشكل مجمل تشير إلى 90 في المائة من السعة العالمية في سنة 2003.

[17] يعتبر مصطلح "المصانع" مرادفًا لمنشآت التصنيع/الغرفة النظيفة. عادة ما تتم الإشارة إلى مصانع تصنيع شاشات العرض المسطحة وأشباه الموصلات بأنها مواقع التصنيع، والمشتق منها كلمة "المصانع".

**الجدول 6-7**
**إجمالي السعات المحددة للبلد من السيليكون والزجاج لعام 2003 و2004 و2005**

| | السعات السنوية المحددة للسيليكون، ملم2 | | | السعات السنوية المحددة للزجاج، ملم2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **إجمالي البلد** | 2003[1] | 2004[2] | 2005[2] | 2003[1] | 2004[2] | 2005[2] |
| أستراليا | 0.0008 | 0.0008 | 0.0008 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| النمسا | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| بلجيكا | 0.0040 | 0.0040 | 0.0040 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| كندا | 0.0041 | 0.0041 | 0.0041 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| الصين | 0.1436 | 0.1982 | 0.3243 | 0.0432 | 0.0432 | 0.8154 |
| الجمهورية التشيكية | 0.0057 | 0.0057 | 0.0057 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| فرنسا | 0.0653 | 0.0674 | 0.0674 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| ألمانيا | 0.1622 | 0.1622 | 0.1622 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| الصين، هونج كونج | 0.0059 | 0.0059 | 0.0059 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| المجر | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| الهند | 0.0128 | 0.0128 | 0.0128 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| أيرلندا | 0.0175 | 0.0430 | 0.0430 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| إسرائيل | 0.0310 | 0.0310 | 0.0564 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| إيطاليا | 0.0431 | 0.0431 | 0.0609 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| اليابان | 0.9091 | 0.9235 | 0.9639 | 4.5746 | 5.3256 | 6.9201 |
| لاتفيا | 0.0019 | 0.0019 | 0.0019 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| ماليزيا | 0.0284 | 0.0284 | 0.0284 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| هولندا | 0.0301 | 0.0301 | 0.0301 | 0.0209 | 0.0209 | 0.0209 |
| جمهورية بيلاروسيا | 0.0077 | 0.0077 | 0.0077 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| روسيا | 0.0250 | 0.0250 | 0.0325 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| كوريا الجنوبية | 0.3589 | 0.3742 | 0.3937 | 5.8789 | 9.4679 | 12.4857 |
| سنغافورة | 0.1730 | 0.1730 | 0.1985 | 0.2821 | 0.2821 | 0.2821 |
| سلوفاكيا | 0.0043 | 0.0043 | 0.0043 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| جنوب إفريقيا | 0.0021 | 0.0021 | 0.0021 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| السويد | 0.0019 | 0.0019 | 0.0019 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| سويسرا | 0.0098 | 0.0098 | 0.0098 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| تايلاند | 0.0000 | 0.0000 | 0.0094 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| تركيا | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| المملكة المتحدة | 0.0597 | 0.0597 | 0.0936 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| الولايات المتحدة الأمريكية | 0.6732 | 0.6921 | 0.7190 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| فيتنام | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| الإجمالي العالمي | 3.3206 | 3.4972 | 3.8849 | 15.0572 | 23.9959 | 33.7459 |

[1] إجمالي البلد يشتمل على المصانع المنتجة

[2] إجمالي البلد يشتمل على المصانع قيد الإنشاء والتي تم الإعلان عنها.

غير متاح = غير معمول به.

المصادر: مقتطفات من قاعدة بيانات هيئة مراقبة المصانع العالمية ، إصدار يناير 2004 لتصنيع أشباه الموصلات ومصانع شاشات عرض الكريستال السائل على قرص قاعدة البيانات (شركاء التسويق الإستراتيجي، 2004أ) إصدار أكتوبر 2004 لتصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء (زملاء التسويق الإستراتيجي، 2004ب).

| الجدول 6-8<br>إجمالي سعة إنتاج البلد من خلال الفلطائية الضوئية[أ] لعام 2003، ملم2 | |
|---|---|
| أستراليا | 0.135 |
| النمسا | 0.0307 |
| كندا | 0.0154 |
| الدنمرك | 0.00254 |
| فرنسا | 0.162 |
| ألمانيا | 0.817 |
| إيطاليا | 0.100 |
| اليابان | 3.72 |
| النرويج | 0.0138 |
| البرتغال | 0.115 |
| كوريا الجنوبية | 0.462 |
| إسبانيا | 0.715 |
| السويد | 0.377 |
| سويسرا | 0.00238 |
| المملكة المتحدة | 0.0269 |
| الولايات المتحدة | 1.02 |
| [أ]سعات تقنيات تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية، تشمل التقنيات التي قد لا تستخدم المركبات الفلورية خلال تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية، ومتوسط سعة الاستخدام العالمية لعام 2003 = 86%<br>المصدر:الوكالة الدولية للطاقة، 2004, الدول المشاركة في عملية مسح تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية. | |

## 6-2-4 الاستيفاء

يجب أن يكون من الممكن لدى العديد من البلدان القيام بحساب كامل للانبعاثات الناجمة عن صناعة أشباه الموصلات وذلك نظرًا لوجود عدد محدود من الشركات والمصانع. توجد أربع قضايا تتعلق بالاستيفاء يجب تناولها:

- **المنتجات الثانوية الأخرى:** يتم توليد عدد من المنتجات الثانوية الناتجة عن التحويل نتيجة لاستخدام المركبات الفلورية لتنظيف الغرفة والتنميش. وكما برز أعلاه، فإن تكون $CF_4$ و$C_2F_6$ يمكن أن يكون ناتجًا عن تحلل غازات المركبات الفلورية الأخرى. كما أنه قد لوحظ تكون $CF_4$ عند تنظيف غرف عزل البخار الكيميائي منخفضة العازل الكهربائي. في هذه الحالة، يجب استخدام أسلوب المستوى 3 لتقدير الانبعاثات بدقة.
- **المواد الكيميائية الجديدة:** سيكون الاستيفاء قضية هامة للغاية في المستقبل وذلك لأن الصناعة تقوم بتقدير وتبني عمليات مواد كيميائية جديدة لتحسين المنتجات. كما تؤدي الجهود المبذولة على نطاق الصناعة لتقليل انبعاثات المركبات الفلورية إلى زيادة سرعة مراجعة المواد الكيميائية الجديدة. ونتيجة لذلك، فمن *الممارسة السليمة* في الصناعة إدماج الآليات التي تحسب غازات الدفيئة غير المدرجة في تقرير التقييم الثالث للهيئة (على سبيل المثال $C_5F_8$ و$C_4F_6$ و™Fluorinerts و®Galdens). وتشتمل مواد هذه المركبات الفلورية الجديدة على احتمالية احترار عالمي عالية أو ربما تؤدي إلى ظهور انبعاثات منتجات ثانوية ذات احتمالية احترار عالمي عالية.
- **مصادر أخرى:** قد تنطلق كمية صغيرة من المركبات الفلورية خلال التعامل مع الغاز (على سبيل المثال التوزيع) وبواسطة مصادر مثل مصانع الأبحاث والتطوير (على سبيل المثال، الجامعات) وموردو الأدوات. ولا يُعتقد أن تكون هذه الانبعاثات ذات أهمية (على سبيل المثال أقل من 1 في المائة من إجمالي الانبعاثات الناجمة عن الصناعة).

- **العمليات أو المنتجات الأخرى:** تم تعريف استخدام المركبات الفلورية في صناعة الإلكترونيات في التطبيقات التي ينجم عنها انبعاثات، بما في ذلك: الأنظمة الميكانيكية الكهربائية الدقيقة (MEMS) و[18] تصنيع محركات الأقراص الصلبة وأجهزة الاختبار (المركبات الفلورية السائلة) ولحام إعادة تدفق مرحلة البخار[19] والتنظيف الدقيق.[20]

## 5-2-6 إعداد متسلسلة زمنية متسقة

بدأ استخدام المركبات الفلورية في صناعة أشباه الموصلات في أواخر سبعينيات القرن الماضي وتسارع بشكل هائل بداية من تسعينيات القرن الماضي. وقد يؤدي تحديد سنة أساس لمستوى الانبعاثات إلى ظهور صعوبات وذلك لأنه لا تتوافر بيانات كثيرة حول الانبعاثات التي حدثت قبل عام 1995. وإذا ما اعتمدت تقديرات الانبعاثات التاريخية على فرضيات بسيطة (على سبيل المثال استخدام انبعاثات مكافئة)، فهذا يعني أنه يمكن تحسين هذه التقديرات بتطبيق الأساليب الموصوفة عاليه. في حالة عدم توافر بيانات تاريخية تسمح باستخدام أسلوب المستوى 3 أو 2، فيمكن استخدام أسلوب المستوى 1 الذي يستعين بمعاملات الانبعاث الافتراضية. بعد ذلك يمكن تطبيق المستوى 1 و2 في نفس الوقت لكل السنوات التي تتوافر بشأنها بيانات أكثر لإجراء مقارنة أو لتحديد معيار. ينبغي القيام بذلك وفقًا للخطوط التوجيهية الواردة في المجلد 1، الفصل 5. ولضمان اتساق تسجيل الانبعاثات بمرور الزمن، يجب على القائمين على الحصر إعادة حساب انبعاثات المركبات الفلورية لكل السنوات التي تم الإبلاغ عنها عند تغيير إجراءات حساب الانبعاثات (على سبيل المثال، في حالة انتقال القائمين على الحصر من استخدام القيم الافتراضية إلى استخدام القيم الفعلية المحددة على مستوى المصنع). في حالة عدم توافر بيانات خاصة بالمصنع لكل سنوات المتسلسلة الزمنية، سيتعين على القائمين على الحصر التفكير في كيفية استخدام قياسات المصنع الحالية لإعادة حساب انبعاثات السنوات السابقة. قد يكون من الممكن تطبيق بارامترات الانبعاث الحالية لمصنع على بيانات المبيعات من سنوات سابقة، بشرط عدم تغيير عمليات المصنع بشكل جوهري. تقتضي الضرورة إعادة هذا الحساب للتأكد من أن أي تغيرات تطرأ على أنظمة الانبعاث حقيقية وليست تغييرات في الإجراءات بشرية المنشأ.

## 3-6 تقدير أوجه عدم التيقن

عند استخدام أسلوب المستوى 3 يرجح أن يكون عدم التيقن المقترن بالتقديرات الناتجة قليلا للغاية. وبالنظر إلى العدد المحدود من المصانع والمراقبة القريبة لعمليات الإنتاج على مستوى المصنع، يجب أن يتسنى جمع البيانات لاستخدامها في أساليب المستوى 2ب أو المستوى 3. وعلى القائمين على الحصر السعي للحصول على استشارة خبراء الصناعة فيما يتعلق بدرجات عدم التيقن، وذلك باستخدام مقاربات الحصول على آراء الخبراء الموضحة في المجلد 1، الفصل 3.

من بين كل الأساليب يعتبر المستوى 1 هو أكثر المستويات عدم تيقن. حيث يعتبر استخدام معامل مفرد لحساب الانبعاثات الناجمة عن المركبات الفلورية من مجموعة متنوعة من منتجات أشباه الموصلات تبسيطًا مغاليًا. تم تقييم المعاملات الواردة في الجدول 6-2 في مقابل تصنيع منتجات متقدمة للعمليات المنطقية والتاريخية في أواخر التسعينيات من القرن الماضي، بعدد طبقات يتراوح بين 3 إلى 5 طبقات، على التوالي، تم تصنيعها على رقائق السيليكون. المصانع الموجودة في البلدان التي تنتج في الوقت الراهن وفق أحدث التقنيات (ولا تستعين بتدابير تقليل انبعاثات المركبات الفلورية) تكون أكبر من حيث المساحة، في حين أن البلدان التي تُصنع المنتجات باستخدام تقنيات أقدم أو أجهزة تصنيع أكثر بساطة تستخدم نفس المصانع أو مصانع أصغر.

تمثل معاملات انبعاث المستوى 1 لتصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء متوسطًا لانبعاثات البيروفلوروكربونات المجمعة المقدرة لوحدة منطقة ركيزة الزجاج المستهلك خلال تصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء للمنطقة التي تتوافر بشأنها البيانات (بيرتون 2004أ). الانبعاثات المقدرة التي تم الإبلاغ عنها لليابان استخدمت معاملات المستوى 2ب لتصنيع أشباه الموصلات من *دليل الممارسات السليمة وإدارة عدم التيقن المقترن بقوائم حصر غازات الدفيئة الوطنية* (الهيئة، 2000) في تصنيع أشباه الموصلات (نيشيدا *وآخرون*، 2004). لم يتم الإبلاغ عن أسلوب تقدير الانبعاثات الناجمة عن جهات تصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء في تايوان (ليو *وآخرون*، 2004). ومع ذلك فقد أبلغ ليو (2004) لاحقًا عن معاملات انبعاث لها نفس حجم المعامل الذي وضعه بيرتون (2004ب). من المحتمل أن تكون درجة عدم التيقن المقترنة بمعامل انبعاث المستوى 1 لتصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء كبيرةً، لكنها غير معروفة في الوقت الحالي.

عند استخدام أسلوب المستوى 3 لتصنيع أشباه الموصلات وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء، ستكون التقديرات الناجمة للانبعاثات أكثر دقة من أساليب المستوى 2أ أو 2ب أو المستوى 1، وذلك بدرجة ±30 في المائة (فاصل ثقة يبلغ 90 في المائة). يبدو أن درجة عدم التيقن من كفاءة تقنية التحكم في الانبعاثات تساهم بدرجة كبيرة في عدم التيقن، لاسيما التنوع في فترة توقف أجهزة التحكم في الانبعاثات ومعدلات التدفق إلى أجهزة التحكم في الانبعاثات التي قد تتجاوز الحدود المعينة للجهاز.

ستكون تقديرات الانبعاثات الناجمة عن استخدام السوائل الموصلة للحرارة باستخدام أسلوب المستوى 2 أكثر دقة من أسلوب المستوى 1، بدرجة ±20 في المائة (بفاصل ثقة يبلغ 95 في المائة).

---

[18] يمكن تقدير الأنظمة الميكانيكية الكهربية الدقيقة (MEMS) باستخدام أساليب تشبه الأساليب المستخدمة مع القطاعات الفرعية الأخرى في صناعة الإلكترونيات. ويتطلب الأمر توافر معاملات التخفيف ومعاملات الانبعاث الخاصة بالشركة. يتم أيضًا استخدام كميات صغيرة للغاية من المركبات الفلورية في منشآت/معامل الأبحاث والتطوير.

[19] يمكن تقدير الانبعاثات الناجمة عن لحام إعادة تدفق مرحلة البخار لكي تعادل الصافي السنوي لمشتريات المركبات الفلورية لصيانة جهاز لحام إعادة تدفق مرحلة البخار.

[20] ورد في القسم 7-2 (المذيبات) من هذا المجلد الانبعاثات الناجمة عن التنظيف الدقيق التي يتم حسابها.

## 1-3-6 حالات عدم التيقن في معامل الانبعاثات

درجات عدم التيقن في معاملات الانبعاث المقترحة لأساليب المستوى 2ب و2أ واردة في الجدول 6-9 لتصنيع أشباه الموصلات وفي الجدول 6-10 لتصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء. وقد تم إعداد المعاملات خصيصًا لهذه الخطوط التوجيهية. بالنسبة للمستوى 2ب، تم تقدير الأخطاء النسبية لكل إدخال (العملية والغاز في حالة المستوى 2ب) على أنها الانحراف المعياري للمعاملات الواردة في مجموعة الخبراء وتم تعديلها للمتوسط البسيط (غير الموزون) وتم تقريبها لرقم واحد هام[12]. بعد ذلك تمت مضاعفة كل قيمة لتقدير فاصل ثقة يبلغ 95 في المائة. كما تم استخدام نفس الإجراء لتقدير الأخطاء النسبية لمعاملات تكون المنتج (ب). وقد تم تحديد التقديرات المناظرة لأسلوب المستوى 2أ لتقديرات المستوى 2ب، وذلك باستخدام تقديرات استخدام الغاز التي تمت الاستعانة بها في إعداد معاملات الانبعاث (انظر القسم 6-2-2 المستوى 2).

سيكون لمعاملات انبعاث المستوى 1 نطاق عدم تيقن يميل للاقتراب من الصفر ويمتد إلى 200 في المائة (فاصل ثقة يبلغ 95 في المائة لتصنيع أشباه الموصلات وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء). لا تتوافر تقديرات عدم التيقن لتصنيع خلايا الفلطائية الضوئية.

## 2-3-6 حالات عدم التيقن في بيانات الأنشطة

يشكل استهلاك الغاز وحدة الأنشطة لتقدير الانبعاثات خلال تصنيع أشباه الموصلات وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء وخلايا الفلطائية الضوئية لأساليب المستوى 2أ و2ب. يمكن قياس أو تقدير استهلاك الغاز من البيانات الخاصة بمشتريات الغاز، ويتطلب معرفة الغاز غير المستخدم الذي تمت إعادته إلى موردي الغاز في حاويات الشحن. درجات عدم التيقن (فاصل ثقة 95 في المائة) في استهلاك الغاز والغاز غير المستخدم، سواء تم قياسه أو تقديره بمعرفة الخبراء وردت في الجدول 6-10، الأخطاء النسبية (فاصل ثقة 95 في المائة) لبيانات الأنشطة لأساليب المستوى 2أ و2ب لتصنيع أشباه الموصلات وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء.

بالنسبة لأسلوب المستوى 1 فإن وحدة الأنشطة تمثل ركيزة الاستهلاك. وترجع درجات عدم التيقن في بيانات الأنشطة للمستوى 1 بشكل أساسي إلى إدخالات البيانات المفقودة في قواعد بيانات هيئة مراقبة المصانع العالمية وشاشة العرض المسطحة. يبلغ تقدير الاعتماد على الإدخالات المحددة من بيانات هيئة مراقبة المصانع العالمية في الجدول 6-7 حوالي ±10 في المائة (فاصل ثقة 95 في المائة)، وهو ما يعكس الأخطاء التي تحدث نتيجة للإدخالات غير الصحيحة أو المفقودة في قاعدة البيانات. فاصل الثقة 95 في المائة في استخدام السعة خلال الفترة من 1991 إلى 2000 يبلغ ±12 في المائة (أي من 70 في المائة استخدام إلى 90 في المائة استخدام). من المفترض أن تكون الإدخالات المناظرة لتصنيع شاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء وخلايا الفلطائية الضوئية مشابهة لإدخالات تصنيع أشباه الموصلات.

**الجدول 6-9**
**التقديرات الافتراضية للأخطاء النسبية (%) حسب المستوى 2 لتقدير معاملات الانبعاث الخاصة بتقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن تصنيع أشباه الموصلات، فاصل ثقة 95 في المائة**

| | غازات الدفيئة ذات القار الذي يتسم باحتمالية الاحترار العالمي | | | | | | | | | | | | غازات الدفيئة بدون القار الذي يتسم باحتمالية الاحترار العالمي | | منتجات المركبات الفلورية التي لا تنتج غازات دفيئة | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| غاز العملية (i) | $CF_4$ | $C_2F_6$ | $CHF_3$ | $CH_2F_2$ | $C_3F_8$ | $c\text{-}C_4F_8$ | $NF_3$ البعيد | $NF_3$ | $SF_6$ | $C_4F_6$ | $C_5F_8$ | $C_4F_8O$ | $F_2$ | $COF_2$ |
| **المستوى 2أ** | | | | | | | | | | | | | | |
| **1-Ui** | 15 | 30 | 100 | 400 | 20 | 80 | 400 | 70 | 300 | 300 | [†]80 | 40 | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{CF4}$** | غير متاح | 90 | 300 | 200 | 60 | 100 | 200 | 200 | غير متاح | 200 | [†]100 | 80 | 200 | 200 |
| **$B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 200 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 200 | 200 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{C3F8}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 40 | غير متاح | غير متاح |
| **المستوى 2ب** | | | | | | | | | | | | | | |
| **تنميش 1-Ui** | 60 | 100 | 100 | 700 | غير متاح | 200 | غير متاح | 300 | 300 | 300 | [†]200 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ 1-Ui** | 10 | 30 | غير متاح | غير متاح | 0.4 | 30 | 400 | 70 | غير متاح | غير متاح | [†]30 | 40 | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{CF4}$** | غير متاح | 200 | 300 | 200 | غير متاح | 200 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 200 | [†]200 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 200 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 200 | [†]200 | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{CF4}$** | غير متاح | 80 | غير متاح | غير متاح | 60 | 60 | 200 | 200 | غير متاح | غير متاح | [†]60 | 80 | 200 | 200 |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{C3F8}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 40 | غير متاح | غير متاح |

ملاحظات: "غير متاح" تشير إلى أنه لا يُطبق اعتمادًا على المعلومات المتوافرة حاليًا.

[*] القيم التي تزيد عن 100% تشير إلى توزيع يميل إلى قيم تقترب من الصفر وتمتد حتى القيمة المتوفرة [†] .تعتمد التقديرات على مشابهة مع $C_5F_8$ حيث لا تكفي التقديرات فاصل الثقة.

**الجدول 6-10**
**التقديرات الافتراضية للأخطاء النسبية (%) حسب المستوى 2 لتقدير لمعاملات الانبعاث الخاصة بتقدير انبعاثات المركبات الفلورية الناجمة عن تصنيع أشباه شاشات عرض الكريستال السائل، فاصل ثقة 95 في المائة**

| | غازات الدفينة ذات القار الذي يتسم باحتمالية الاحترار العالمي | | | | | | | | | | | | غازات الدفينة بدون القار الذي يتسم باحتمالية الاحترار العالمي | | | منتجات المركبات الفلورية التي لا تنتج غازات دفينة | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| غاز العملية (i) | $CF_4$ | $C_2F_6$ | $CHF_3$ | $CH_2F_2$ | $C_3F_8$ | c-$C_4F_8$ | $NF_3$ البعيد | $NF_3$ | $SF_6$ | $C_4F_6$ | $C_5F_8$ | $C_4F_8O$ | $F_2$ | $COF_2$ |
| **المستوى 2أ** | | | | | | | | | | | | | | |
| **1-Ui** | 50 | غير متاح | 8 | غير متاح | غير متاح | 5 | 70 | 20 | 20 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{CF4}$** | غير متاح | غير متاح | 30 | غير متاح | غير متاح | 40 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{CHF3}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 20 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **$B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | 40 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **المستوى 2ب** | | | | | | | | | | | | | | |
| **تنميش 1-Ui** | 50 | 100 | 8 | غير متاح | غير متاح | 5 | غير متاح | 60 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ 1-Ui** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 70 | 20 | 6 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{CF4}$** | غير متاح | غير متاح | 30 | غير متاح | غير متاح | 40 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{CHF3}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | 20 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **تنميش $B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | 40 | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{CF4}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{C2F6}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |
| **عزل البخار الكيميائي لـ $B_{C3F8}$** | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح | غير متاح |

ملاحظات: "غير متاح" تشير إلى أنه لا يُطبق اعتمادًا على المعلومات المتوافرة حاليًا.

# 4-6 ضمان الجودة / مراقبة الجودة والإبلاغ والتوثيق

## 1-4-6 ضمان الجودة / مراقبة الجودة

من *الممارسة السليمة* إجراء اختبارات مراقبة الجودة على النحو الوارد في المجلد 1، الفصل 6 وأن يقوم خبير بمراجعة تقديرات الانبعاثات. وكذا يمكن إجراء اختبارات إضافية لمراقبة الجودة كما وردت في المجلد 1 وإجراءات ضمان الجودة، لا سيما في حالة استخدام أساليب مستوى أعلى لتحديد الانبعاثات الناجمة عن فئة المصدر هذه. يوصى بأن يستخدم القائمون على الحصر إجراءات المستويات الأعلى لضمان / مراقبة جودة للفئات الرئيسية كما هو محدد في المجلد 1 و الفصل 4.

كما ورد في المجلد 1، الفصل 6 المزيد من الإرشادات العامة لإجراء مراقبة /ضمان جودة أعلى. ونتيجة للطبيعة التنافسية العالية التي تتسم بها صناعة أشباه الموصلات، يجب أن تشتمل عملية التحقق شروط ضمان سرية المعلومات التجارية. ويجب توثيق الأساليب المستخدمة، كما ينبغي التفكير في إجراء مراجعة دورية للقياسات وحساب البيانات. وينبغي التفكير في إجراء مراجعة ضمان جودة للعمليات والإجراءات.

## 2-4-6 الإبلاغ والتوثيق

يجب توخي الحرص بحيث لا يتم تضمين الانبعاثات الناجمة عن مركبات الكربون الفلورية الهيدروجينية وبدائل المواد المستنفدة للأوزون مع الانبعاثات الناجمة عن تصنيع أشباه الموصلات. من *الممارسة السليمة* توثيق وأرشفة كل المعلومات المطلوبة لإجراء تقديرات لحصر الانبعاثات الوطنية كما ورد في المجلد 1 في القسم 6-11. ومن غير العملي أن يشتمل تقرير الحصر الوطني على كافة الوثائق. ومع ذلك، ينبغي أن يشتمل الحصر ملخصات للأساليب المستخدمة وإشارات مرجعية إلى مصادر البيانات حتى تتسم تقديرات الانبعاثات التي تم الإبلاغ عنها بالشفافية وحتى يتسنى تتبع الخطوات التي اتبعت في حسابها.

يؤدي الإبلاغ الصريح للانبعاثات الناجمة في هذه الصناعة إلى زيادة شفافية مقارنة الانبعاثات. وحيث ينبعث عدد من غازات المركبات الفلورية في هذه الصناعة، فإن الإبلاغ حسب أنواع الغاز الفردية بدلاً من نوع المادة الكيميائية سيؤدي أيضًا إلى تحسين شفافية البيانات ومدى الاستفادة منها. ويجب أن تضع الجهود المبذولة لزيادة الشفافية في اعتبارها حماية المعلومات التجارية السرية المرتبطة باستخدام غاز معين. يجب أن يؤدي جمع بيانات الانبعاثات الخاصة بالغاز على مستوى البلد إلى حماية هذه المعلومات في البلدان التي توجد بها ثلاث جهات تصنيع أو أكثر.يوضح الجدول 6-11، المعلومات الضرورية لإعداد تقديرات تتسم بالشفافية الكاملة للانبعاثات الناجمة عن تصنيع أشباه الموصلات، المعلومات المساعدة الضرورية لضمان الشفافية الكاملة في تقديرات الانبعاثات التي يتم الإبلاغ عنها.

من *الممارسة السليمة* في المستوى 3 توثيق إعداد معاملات الانبعاث الخاصة بالبلد وتفسير الانحراف عن القيم الافتراضية العامة. وبالنظر إلى اعتبارات السرية، ربما يود القائمون على الحصر تجميع هذه المعلومات من جهات التصنيع. في الحالات التي تبلغ فيها إحدى جهات التصنيع في بلد ما معاملات انبعاث أو تحويل مختلفة لمركب فلوري معين أو نوع عملية معين، يمكن أن يوفر القائمون على الحصر نطاقًا للمعاملات التي تم الإبلاغ عنها واستخدامها.

**الجدول 6-11**
**المعلومات الضرورية للحصول على الشفافية الكاملة لتقديرات الانبعاثات الناجمة عن تصنيع الإلكترونيات**

| البيانات | المستوى 1 | المستوى 2أ | المستوى 2ب | المستوى 3 |
|---|---|---|---|---|
| مساحة السطح الإجمالية لركيزة الإلكترونيات التي تمت معالجتها (على سبيل المثال م2 سيليكون وم2 زجاج) | X | | | |
| سعة استخدام تصنيع أشباه الموصلات وشاشات العرض المسطحة بتقنية الترانزستور رقيق الغشاء وخلايا الفلطائية الضوئية | X | | | |
| كسر تصنيع خلايا الفلطائية الضوئية التي تستخدم غازات المركبات الفلورية | X | | | |
| انبعاثات كل مركب فلوري (بدلا من الانبعاثات المجمعة لكل المركبات الفلورية) | | X | X | X |
| مبيعات/مشتريات كل مركب فلوري | | X | | |
| كتلة كل مركب فلوري مستخدم في كل عملية أو نوع عملية | | | X | X |
| كسر كل مركب فلوري مستخدم في العمليات التي تستخدم تقنيات للتحكم في الانبعاثات | | X | X | X |
| معدل الاستخدام لكل مركب فلوري أو نوع عملية (هذه المعلومات والمعلومات التالية ضرورية فقط في حالة عدم استخدام القيمة الافتراضية) | | | | X |
| كسر كل مركب فلوري محول إلى $CF_4$ لكل عملية أو نوع عملية | | | | X |
| كسر الغاز المتبقي في حاوية الشحن | | | | X |
| كسر كل مركب فلوري تم تدميره بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات | | | | X |
| كسر كل منتج ثانوي ناتج عن $CF_4$ تم تدميره بواسطة تقنية التحكم في الانبعاثات | | | | X |

## المراجع


Agnostinelli, G., Dekkers, H. F. W., DeWolf, S. and Beaucarne, G. (2004). "Dry Etching and Texturing Processes for Cystalline 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 $CF_4$ and $C_2F_6$ 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 $SF_6$ usage for etching and CVD chamber-cleaning in Japanese, Korean and Taiwan TFT-FPD manufacture.

Leu, C-H., (2004) "$SF_6$ Abatement Strategy in Taiwan", presented at $SF_6$ 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.sematech.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 $SF_6$ 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., Steinhauser, 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 Saarbrucken, Germany, July 2004.

SIA (2000). "Equipment Environmental Characterisation Guidelines", Revision 3.0, Semiconductor Induistry 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.