الإرشادات بشأن البيئة والصحة، والسلامة الخاصة بتصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات الأخرى

مقدّمة

الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة (**EHS**) هي وثائق مرجعية فنّية تتضمن أمثلة عامة وأمثلة من صناعات محددة على الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة (**GIIP**).[1] وحين تشارك مؤسسة واحدة أو أكثر من المؤسسات الأعضاء في مجموعة البنك الدولي في أحد المشروعات ينبغي تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة هذه حسب مقتضيات السياسات والمعايير التي تعتمدها تلك المؤسسة. وتستهدف هذه الإرشادات بشأن قطاع الصناعة أن يتم استخدامها جنباً إلى جنب مع وثيقة **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**، التي تتيح الإرشادات لمن يستخدمونها فيما يتعلق بالقضايا المشتركة في هذا المجال والممكن تطبيقها في جميع قطاعات الصناعة. وبالنسبة للمشروعات المُعقّدة، قد يلزم استخدام إرشادات متعددة حسب تعدد قطاعات الصناعة المعنيّة. ويمكن الاطلاع على القائمة الكاملة للإرشادات الخاصة بالقطاعات الصناعية على شبكة الإنترنت على الموقع:

http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines

وتتضمّن الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة مستويات الأداء والإجراءات التي يمكن للتكنولوجيا الحالية أن تحققها في المنشآت الجديدة بتكلفة معقولة. وقد يشمل تطبيق هذه الإرشادات في المنشآت القائمة وضع أهداف وغايات خاصة بكل موقع على حدة، مع اعتماد جدول زمني مناسب لتحقيقها.

وينبغي أن يكون تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة بما يتناسب مع المخاطر والتهديدات المُحددة في كل مشروع، استناداً إلى نتائج التقييم البيئي الذي يأخذ في الاعتبار متغيرات كل موقع على حدة ومنها: الوضع في البلد المُضيف، والطاقة الاستيعابية في البيئة المعنيّة، والعوامل الأخرى الخاصة بالمشروع. كما يجب أن تستند تطبيق التوصيات الفنّية المحددة إلى الرأي المهني المتخصّص الذي يصدر عن أشخاص مؤهلين من ذوي الخبرة العملية.

وحين تختلف اللوائح التنظيمية المعتمدة في البلد المضيف عن المستويات والإجراءات التي تنص عليها هذه الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة، فمن المتوقع من المشروعات تطبيق أيهما أكثر صرامة. وإذا كانت المستويات أو الإجراءات الأقل صرامة من المنصوص عليه في هذه الإرشادات هي الملائمة – في ضوء أوضاع المشروع المعني – يحتاج الأمر إلى تبرير كامل ومُفصّل بشأن أية بدائل مُقترحة في إطار التقييم البيئي للموقع المحدد. وينبغي أن يُبيّن ذلك التبرير أن اختيار أي من مستويات الأداء البديلة يؤمّن حماية صحة البشر والبيئة.

[1] هي من حيث تعريفها ممارسة المهارات والاجتهاد والحصافة والتبصّر المُتوقعة على نحو معقول من المهنيين ذوي المهارات والخبرة العملية في النوع نفسه من العمل وفي الأوضاع نفسها أو المماثلة بشكل عام. وقد تشمل الأوضاع التي يمكن أن يجدها المهنيّون من ذوي المهارات والخبرة العملية عند قيامهم بتقييم مجموعة أساليب منع ومكافحة التلوّث المُتاحة لأحد المشروعات – على سبيل المثال لا الحصر – مستويات مختلفة من تدهور البيئة ومن الطاقة الاستيعابية البيئية، مع مستويات مختلفة من الجدوى المالية والفنّية.

التطبيق

تشمل الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات الأخرى معلومات ذات صلة بمشاريع ومنشآت تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات الأخرى. ولا تشمل معلومات عن استخراج المواد الخام، وتجميع المكونات العامة، وتصنيع الحاجبات لتجميع المكونات الداخلية في الهيكل البلاستيكي، أو إنتاج الموصلات القياسية. ويحتوي الملحق (أ)على وصف كامل لأنشطة الصناعة الخاصة بهذا القطاع. وهذه الوثيقة تم تنظيمها وفق الأقسام التالية:

القسم 1.0 - الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها

القسم 2.0 - مؤشرات الأداء ورصده

القسم 3.0 - ثبت المراجع والمصادر الإضافية

الملحق (أ)- وصف عام لأنشطة الصناعة

1.0 الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها

يعرض القسم التالي موجزاً لقضايا البيئة والصحة والسلامة المرتبطة بتصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات الأخرى والتي تحدث أثناء مرحلة التشغيل، هذا فضلاً عن التوصيات المتعلقة بكيفية التعامل معها. وتجدر الإشارة إلى أن التوصيات المتعلقة بالتعامل مع قضايا البيئة والصحة والسلامة الشائعة في غالبية المنشآت الصناعية الكبرى خلال مرحلة الإنشاء وإيقاف التشغيل واردة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.**

1.1 البيئة

تشمل القضايا البيئية المتعلقة بمشاريع تصنيع أشباه الموصلات و الإلكترونيات الأخرى بصفة أساسية ما يلي:

- استخدام المواد الخطرة والتعامل مع النفايات
- الانبعاثات الهوائية
- المياه المستعملة
- استخدام الطاقة
- التعديلات العامة للعمليات

المواد الخطرة والنفايات

تنتج جميع عمليات تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات الأخرى تقريباً نفايات خطرة ذات أخطار محتملة، مثل المياه المستهلكة مزالة الأيونات (المحتوية على حمض غير عضوي)، المذيبات والمظهرات المستهلكة (مثل الهيدروكربونات الأيزوبارافينية)، محاليل التنظيف المستهلكة، الحمأة الناتجة من معالجة المياه المستعملة، مادة الإيبوكسي المستهلكة (تصنيع لوح الدارة المطبوعة وأشباه الموصلات)، محاليل السيانيد المستهلكة (الطلي الكهربي)، وبقايا مساعدات اللحام والمعادن (تجميع الدارة المطبوعة).

إضافة إلى التدابير ذات الصلة المعنية بالتعامل مع المواد الخطرة الواردة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**، تشمل الأساليب المحددة لمنع التلوث التعديلات التالية في العمليات وبدائلها: [2]

[2] يجب تقييد استعمال الرصاص، الزئبق، الكادميوم، الكروم (الكروم السداسي)، ثنائي فينيل متعدد البروم، والاسترات ثنائية الفينيل متعدد البروم

- تنفيذ تعديلات على العمليات أو المعدات، من بينها: [3]
  - تجديد أحواض الطلي عن طريق الترشيح بالكربون المنشط لإزالة تراكم الملوثات العضوية، مما يؤدي إلى خفض حجم أحواض الطلي التي يتم التخلص منها ويقلل الحاجة إلى كيماويات جديدة؛
  - استخدام أنظمة كبائن الغاز الأوتوماتيكية للتحكم في انبعاث الغازات المنفلتة من الأسطوانات، خاصة أثناء عمليات التغيير؛
  - استخدام بدائل أخرى عند استبدال لحامات الرصاص، مثل سبائك القصدير، وغيرها من اللحامات الخالية من الرصاص؛
- استبدال المواد الخام أو استباعدها - على سبيل المثال، الاستبدال بمحاليل الطلي المحتوية على السيانيد (للطلي بالذهب في صناعة ألواح الدارات المطبوعة) نحاس الكبريتات الحمضية، كبريتيت الذهب، النيكل اللاكهربي؛ إحلال أحواض طلي الكروم الثلاثي محل أحواض الكروم السداسي (في تصنيع ألواح الدارات المطبوعة، وإن كان قد بطل استخدام أحواض الطلي الكرومية).
- عزل المواد والنفايات الخطرة، وفصلها، وتحضيرها - على سبيل المثال، عزل حمأة المياه المستعملة حسب الملوثات المعدنية يعزز من استعادة النفايات؛ تخزين كيماويات الطلي لعزل المواد غير المتوافقة، مثل السيانيدات من الأحماض، والمواد المؤكسدة من المحروقات؛
- استعادة المعادن وإعادة تدويرها، وبصفة أساسية في قطاعات أشباه الموصلات وتجميع ألواح الدارات المطبوعة - على سبيل المثال، استعادة النحاس والمعادن النفيسة بواسطة عملية التحليل الكهربي؛ إزالة واستعادة النحاس والقصدير من الألواح عن طريق الترسيب بالتحليل الكهربي الكيميائي؛ استعادة الزرنيخ والغاليوم من نفايات تصنيع زرنيخيد (أرسينيد) الغاليوم (عن طريق الفصل الحراري لنفايات زرنيخيد الغاليوم الصلبة واستعادة زرنيخيد الغاليوم من نفايات التلميع)؛
- تقليل انبعاث سلفونات البيرفلورو أوكتان في تصنيع أشباه الموصلات عن طريق التقليص التدريجي للاستخدامات غير الهامة للمواد المحتوية على سلفونات البيرفلورو أوكتان، مثل بعض خلائط التنميش التي يوجد لها بدائل. أما بالنسبة لاستخدام سلفونات البيرفلورو أوكتان الهامة التي لا يوجد لها بدائل، مثل التكنولوجيات ذات الطول الموجي الأقصر المستخدمة في تصنيع أشباه الموصلات، يجب إجراء عمليات التخلص من النفايات تحت المراقبة، خاصة إذا كان الأمر يتضمن الحرق. [4]

أو التخلص منها على مراحل كما هو موضح من قبل الاتحاد الأوروبي (2003a و2003b). والتخلص التدريجي من استخدام الكلوروفلوروكربونات. وجاري دراسة تقييد استخدام سلفونات البيرفلورو أوكتانات من خلال تعديل توجيهات الاتحاد الأوروبي EU Council Directive 76/769/EEC (COM/2005/0618 final - COD 2005/0244). وتم اعتماد تدابير اختيارية للحد من استخدام وانبعاث سلفونات البيرفلورو أوكتانات من قبل المجلس العالمي لأشباه الموصلات والمنظمة الدولية للمعدات والمواد شبه الموصلة.

[3] تتوفر معلومات إضافية في الملحق □(أ).

[4] سلفونات البيرفلورو أوكتان مدرجة على قائمة المواد التي لها خصائص سامة، مستديمة وقابلة للتراكم البيولوجي، ومن ثم يتم التفكير في ضمها إلى قائمة الملوثات العضوية الدائمة لاتفاقية ستوكهولم. وكما سبق الإشارة أعلاه، أتم قطاع الصناعة (المجلس العالمي لأشباه الموصلات والمنظمة الدولية لمعدات ومواد أشباه الموصلات) اتفاقية عالمية طوعية تصف التخلص من جميع الاستخدامات ما عدا الاستخدامات الهامة وتتطلب حرق جميع الانبعاثات عديمة المياه المستعملة التي تحتوي على سلفونات البيرفلورو أوكتان. يمكن العثور على تلك الاتفاقية على الموقع http://www.sia-online.org/pre_stat.cfm?ID=294

تناقش **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** كيفية التعامل مع المواد الخطرة. تشمل التدابير الخاصة بذلك القطاع تحديداً ما يلي:

- مناطق تخزين الكيماويات المستخدمة في العمليات يجب أن تخضع لفحص دوري للتعرف على وجود تسريب؛
- يجب أن تكون الأنابيب تحت الأرضية أنابيب مزدوجة، مع وجود وسيلة للتعرف على حالات التسريب من الأنبوب الداخلي.
- يجب صناعة المواسير التي تنقل المواد الخطرة من مواد متوافقة وأن تكون مدعومة بشكل كاف، وملصق عليها بطاقات تسمية واضحة، ومركب بها وصلات عالية الجودة. ويجب أن يشمل تصميم المواسير مصارف من أدنى نقطة، وفتحات تنفيس من أعلى نقطة، وصمامات عزل كل 30 متراً على الأكثر؛
- يجب استخدام أوعية احتواء النفايات المنسكبة.

تناقش **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** كيفية التعامل مع النفايات الصلبة والخطرة. في ذلك القطاع، يجب أن توضع بطاقات تسمية واضحة على جميع النفايات ذات الخواص الخطرة (مثل المياه المستهلكة مزالة الأيونات، المذيبات المستهلكة، محاليل التنظيف المستهلكة، الحمأة الناتجة من معالجة المياه المستعملة، مادة الإيبوكسي المستهلكة، ومحاليل السيانيد المستهلكة، إضافة إلى مواد أخرى) وتخزينها بشكل منفصل عن النفايات العامة، ووضعها في مناطق تخزين خاصة ومحصورة ومقاومة كيميائياً. ومن الضروري تخزينها واحتواؤها بشكل آمن نظراً لقابلية التفاعل والسمية الشديدتين لنفايات الصناعة ومنتجاتها الثانوية، كما هو مبين في القسم التالي المعني بالصحة والسلامة المهنية؛

الانبعاثات الهوائية

تشمل الانبعاثات الرئيسية ذات الأهمية الناتجة من صناعة أشباه الموصلات والإلكترونيات غازات الدفيئة، والمواد السامة، والمتفاعلة، والأكالة (على سبيل المثال، الأبخرة الحمضية، عوامل الإشابة، غازات التنظيف، والمركبات العضوية المتطايرة) التي تنتج من عمليات التشتيت، والتنظيف، والتنميش الرطب. [5]

هناك ثلاثة أنواع لأنظمة خفض الغازات السامة والخطرة:

- الأنظمة الموجودة في موضع الاستعمال التي تعد صغيرة نسبياً وتكون مخصصة في العادة لأداة تقوم بعملية واحدة. ويمكن لتلك الأنظمة أن تزيل 99.99 في المائة من الغازات المتدفقة. على سبيل المثال يمكن لجهاز غسل عند موضع الاستعمال إزالة الأرسين إلى أقل من 50 جزءاً في المليون. ثمة ستة تكنولوجيات أساسية مستخدمة في تقليل الملوثات الغازية والدقائقية، بما فيها مركبات البيرفلوروكروبون، عند موضع الاستعمال، كما يلي:
  - o الغسل الرطب في تصنيع أشباه الموصلات، على الرغم من محدودية نطاق معالجتها. تستخدم أجهزة الغسل الرطب أيضاً في معالجة الغازات الحمضية والمنتجات الثانوية للمعالجة بالإحراق/الأكسدة؛
  - o القواعد الكيماوية الساخنة في تصنيع أشباه الموصلات؛

[5] تم تحديد وجود ما يقرب من 30 ملوثاً خطراً للهواء في تصنيع أشباه الموصلات من قبل الوكالة الأمريكية لحماية البيئة، إلا أنه من المقدر أن أكثر من 90 في المائة من كافة الانبعاثات هي حمض الهيدروكلوريك، وحمض الهيدروفلوريك، وإيثيرات غليكول البروبيلين وأسيتاتها، والميثانول، والزايلينات.

- الإحراق / الأكسدة بواسطة محارق الوقود أو الحجرات المسخنة كهربائياً، وتستخدم في الغالب مع أجهزة الغسل الرطب (تصنيع أشباه الموصلات وألواح الدارات المطبوعة)؛
- مفاعلات البلازما في تصنيع أشباه الموصلات، على الرغم من نطاق معالجتها المحدود وتطلبها لوحدات خفض إضافية لاحقة؛
- ممتزات باردة في صناعة تجميع ألواح الدارات المطبوعة؛
- مصافي، مرشحات، أجهزة فصل دوامية، وأجهزة الترسيب في صناعة تجميع ألواح الدارات المطبوعة لإزالة المواد الصلبة وتكثيف الأبخرة من تيار العادم.

- الأنظمة الأكبر حجماً نسبياً والتي توضع خارج المسبك (مسبك أشباه الموصلات) والتي يمكن أن تعالج معدلات تدفق مرتفعة للنفايات السائلة من مصادر مختلفة؛
- أجهز غسل الانبعاث الطارئ المناسبة لاستيعاب الانبعاث الكبير والمفاجئ للغازات السامة تكون مخصصة في العادة لتهوية العادم في مناطق تخزين أسطوانات الغاز. وتهدف أجهزة غسل الانبعاثات الطارئة إلى منع الانبعاثات غير المحكومة. ولكن يمكن حصر معظم الغازات السامة في كبائن خاصة بحيث يتم غسلها أو إطلاقها في الهواء الجوي بعد إجراء رصد دقيق لتركيز الغاز لضمان إطلاق الغازات دون التسبب في حدوث تأثيرات على الصحة والبيئة.

مركبات البيرفلوروكربون وغازات الدفيئة الأخرى

تستخدم مركبات البيرفلوروكربون—التي تشمل رباعي فلوريد الكربون، سداسي فلورو الإيثان C_2F_6، وثماني فلوروبروبان C_3F_8—ثلاثي فلوريد النيتروجين (NF_3)، الهيدروفلوروكربون(CHF_3) HFC-23 ، وسداسي فلوريد الكبريت (SF_6) في تصنيع أشباه الموصلات، كغازات تنظيف في أنظمة الترسيب الكيميائي للبخار، في تنميش البلازما، وبصفة أساسية، في تصنيع شاشات العرض البلورية ذات شرائح الترانزيستور الرقيقة. تتمثل القضية البيئية الرئيسية المرتبطة بمركبات البيرفلوروكربون في إمكانياتها العالية لإحداث احترار عالمي، نتيجة طول بقائها في الهواء الجوي. [6]

تشمل طرق خفض ومكافحة انبعاث مركبات البيرفلوروكربون ما يلي: [7]

- تحسين العمليات، خاصة عمليات التنظيف في الترسيب الكيميائي للبخار؛
- البديل الكيميائي، على سبيل المثال، استخدام $c\text{-}C_4F_8$ أو NF_3 كغاز بديل سهل الإحلال لتنظيف الحجرة بدلاً من C_2F_6 في الحجرة المعدلة للترسيب الكيميائي للبخار، مما يقلل من الانبعاث في الهواء الجوي؛
- التخفيف، من خلال تفكيك الجزيئات إلى منتجات ثانوية لا تحتوي على مركبات البيرفلوروكربون، بواسطة

[6] في مايو / أيار 2005، اتفق أعضاء المجلس العالمي لأشباه الموصلات على خفض انبعاثات مركبات البيرفلوروكربون بمقدار 10 في المائة على الأقل من قيمة خط الأساس (قيمة عام 1995 التي سجلتها الجمعيات الأوروبية، والأمريكية واليابانية؛ وعام 1997 للجمعية الكورية؛ 1998 لتايوان) بحلول عام 2010.

[7] تتوفر معلومات إضافية عن خفض انبعاث مركبات البيرفلوروكربون من خلال مجموعة متنوعة من تكنولوجيات مكافحة الانبعاث في (Intergovernmental Panel on Climate Change (2000.

الإحراق، التحليل الحفزي، أو أنظمة التدمير البلازمية (تستخدم الأخيرة مع أدوات التنميش فقط، التي تقل عن أو تساوي 200 مم). يمكن تطبيق تكنولوجيا التدمير الحراري على عمليات تنظيف الحجرات وعمليات التنميش في المسبك (تطبيقات موضع الاستعمال) أو على مستوى المسبك (تطبيقات نهاية خط الإنتاج).

- التقاط مركبات البيرفلوروكربون من تيارات العادم وإعادة استخدامها، ولكن ذلك يعد عملية صعبة من الناحيتين الفنية والاقتصادية.

- تناقش **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** معلومات إضافية عن التعامل مع غازات الدفيئة.

الأدخنة الحمضية

ترتبط الانبعاثات المحتملة للأدخنة الحمضية (بصفة أساسية، حمض الهيدروكلوريك وحمض الهيدروفلوريك) بالعمليات التالية في تصنيع أشباه الموصلات وصناعة تجميع ألواح الدارات المطبوعة:

- عمليات التنظيف، والتنميش، وإزالة المقاوم الضوئي في تصنيع أشباه الموصلات؛

- عملية التنميش، التي قد ينطلق منها أبخرة كلوريد الهيدروجين؛

- علمية التنظيف، عمليات التحضير السطحي، التنميش بكلوريد النحاسيك، والطلي في تصنيع ألواح الدارات المطبوعة.

انبعاثات رذاذ حمض الكبريتيك تكون أيضاً مرتبطة بمعالجة الرقاقات بواسطة أخلاط التنميش الحمضي. ويحتوي الخليط الشائع الاستخدام على حمض الكبريتيك وبيروكسيد الهيدروجين.

يتم خفض انبعاث الدخان الحمضي من خلال تركيب أجهزة غسل رطب أفقية (تدفق عرضي) أو رأسية (تدفق معاكس). تشمل تدابير منع التلوث أيضاً ما يلي:

- استخدام مخمد ضبابي على أسطح محاليل الأحواض واستخدام عوامل ترطيب (مواد خفض الشد السطحي)؛

- إعادة استخدام حمض الكبريتيك المستخدم أثناء تصنيع الرقاقات بواسطة التسخين والتقطير في العمليات لتنقية تيار الحمض؛ والذي يستعاد ويضخ مرة أخرى إلى المحطات الرطبة؛

- تركيب أغطية لأحواض الطلي والرفادات الشبكية المزيلة للضباب.

المركبات العضوية المتطايرة

تستخدم المركبات العضوية المتطايرة بصفة أساسية في تصنيع أشباه الموصلات وصناعة تجميع ألواح الدارات المطبوعة. وقد تنطلق المركبات العضوية المتطايرة في معظم عمليات التنظيف والليثوغرافية الضوئية، أثناء عمليات تجفيف المقاوم الضوئي، والتظهير، وإزالة المقاوم الضوئي. وفي العادة، يتم امتزاز انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة على أنظمة الكربون المنشط لتيسير الاستعادة و/ أو تعالج بواسطة المؤكسدات الحرارية. تتألف طرق مكافحة التلوث المطبقة أو أجهزة المكافحة المضافة المستخدمة في مكافحة الانبعاثات مما يلي:

- المؤكسدات الحرارية المتجددة، والتي تكون عملية في الغالب عندما تتجاوز معدلات التدفق الحجمي لتيار عادم العمليات 3000 قدم مكعب معياري في الدقيقة تقريباً؛

- مركزات الزيوليت الدوارة بواسطة المؤكسدات الحرارية الاسترجاعية، التي تستخدم لتركيز تيارات المركبات العضوية المتطايرة المخففة قبل إرسالها إلى جهاز تدمير أو استعادة؛

- الامتزاز بالكربون ذي القاعدة الثابتة بالإنصال بالبخار لاستعادة المركبات العضوية المتطايرة (إما إعادة الاستخدام أو إعادة التدوير خارج الموقع)؛

- الامتزاز بالكربون على القاعدة المميعة بمج النيتروجين الساخن واستعادة المركبات العضوية المتطايرة (إما إعادة الاستخدام أو إعادة التدوير خارج الموقع)؛

- الامتزاز بالبوليمر على القاعدة المميعة بتجديد النيتروجين الساخن واستعادة المركبات العضوية المتطايرة حيثما كان عملياً أو بالمؤكسدات الحرارية الاسترجاعية.

أكاسيد النيتروجين

كما هو الحال مع القطاعات الصناعية الأخرى، تشمل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في تصنيع أشباه الموصلات المنتجات الثانوية لعمليات الاحتراق. وتنشأ تلك المنتجات الثانوية عن غلايات نظام التسخين، مولدات الطاقة الاحتياطية في حالات الطوارئ، والمؤكسدات الحرارية التي تقلل انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة. وتناقش **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** التقنيات ذات الصلة لمنع ومكافحة الانبعاث.

الغبار

تولد عمليات الثقب والحفر أثناء تصنيع ألواح الدارات المطبوعة كميات كبيرة من الغبار، بينما لا تعد صناعات أشباه الموصلات وتجميع ألواح الدارات المطبوعة من المصادر الهامة لإطلاق الغبار. وقد يتولد بعض الغبار المحدود من القطع بالليزر، والتشذيب، والتلميع الكيميائي الآلي وعملية التجليخ الخلفي في تصنيع أشباه الموصلات، بالإضافة إلى الناتج من تصنيع الأجهزة المغناطيسية والمكونات غير النشطة. وتشمل تدابير المكافحة الموصى بها ما يلي:

- أنظمة ترسيب المياه

- التخفيف بواسطة المرشحات الكيسية أو المرسبات الالكتروستاتيكية

استهلاك الطاقة

نظراً لوجود العديد من العمليات الحرارية واعتماد التعامل مع الرقاقات بشكل كبير على الآلات، يتضمن تصنيع أشباه الموصلات استخداماً هائلاً للطاقة، مما يستلزم استخدامها بالشكل الأمثل. يجب تطبيق استخدام المعدات المتخصصة، التي تجمع بين كفاءة الأداء المحسنة وفعالية استخدام الطاقة، على سبيل المثال:

- معدات التهوية التي تتحكم في الرطوبة ودرجة الحرارة، مما يسمح بتوفير الطاقة بنسبة تصل إلى 25 في المائة؛

- المبردات عالية الكفاءة؛ و

- استعادة الحرارة من مكثفات المياه التي تستخدم مبادلات الحرارة ربما تتيح للمنشآت الصناعية الحديثة توفيراً يصل إلى 40 في المائة من احتياجاتها.

التقنيات المتقدمة في مجال تخفيف الانبعاثات توفر أيضاً معدات جديدة تتميز بكفاءة معززة في تخفيف الانبعاثات مع استهلاك أقل للطاقة.

المياه المستعملة

المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية

ربما تتأثر النفايات السائلة بالمركبات العضوية وغير العضوية، مثل المعادن، والأحماض والقلويات، والسيانيدات، والمواد الصلبة العالقة. ولتقليل كل من استهلاك المياه والآثار المحتملة للتصريف، يجب استعادة مياه الشطف لإعادة المياه المعالجة إلى العملية لإعادة استخدامها .

قد تحتوي المياه المستعملة الناتجة من العمليات على مركبات عضوية خاصة المذيبات غير المكلورة (مثل المحتوية على البيرول، المحتوية على الأمين، المقاومات المحتوية على الفلور / الإيثير، الكحول الأيزوبروبيلي، وهيدروكسيد أمونيوم رباعي الميثيل) ناتجة من عدد من خطوات تصنيع أشباه الموصلات وتجميع ألواح الدارات المطبوعة، بما في ذلك التنظيف، وتجفيف المقاوم، والتظهير، وإزالة المقاوم؛ المعادن الناتجة من عمليات المعدنة والصقل الكيميائي الميكانيكي؛ الأحماض والقلويات من محاليل التنظيف المستهلكة، عمليات التصنيع مثل التنميش، التنظيف والمعدنة، إلى جانب عمليات أخرى؛ السيانيدات من عملية المعدنة، والمواد الصلبة الجامدة الناتجة من بقايا الأفلام والجزيئات المعدنية (الناشئة عن الليثوغرافية الضوئية، المعدنة، والتجليخ الخلفي، وعمليات التقطيع).

معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات

بما أن عمليات تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات تستخدم مجموعة متنوعة من المواد الخام، والكمياويات والعمليات، فقد تتطلب معالجة المياه المستعملة استخدام عمليات للوحدات خاصة بعملية التصنيع المستخدمة والملوث المحدد. تشمل أساليب معالجة المياه المستعملة الناتجة من العمليات الصناعية في ذلك القطاع (1) عزل المصدر والمعالجة المسبقة لتيارات المياه المستعملة التي تحتوي على تركيزات عالية من المركبات غير القابلة للانحلال البيولوجي باستخدام فصل الأطوار مثل استعادة المذيب، والإنصال الهوائي، والأكسدة الكيميائية، وعمليات الامتزاز، الخ. (2) خفض المعادن الثقيلة باستخدام الترسيب الكيميائي، التجلط والترويب، والاستعادة الالكتروكيميائية، والتبادل الأيوني، الخ. (3) الأكسدة الكيميائية للسيانيدات؛ و(4) إزالة المياه والتخلص من البقايا في مدافن مخصصة للنفايات الخطرة. كما يلزم استخدام وسائل مكافحة هندسية إضافية من أجل (1) الإزالة المتقدمة للمعادن باستخدام الترشيح الغشائي أو غيرها من تكنولوجيات المعالجة الفيزيائية / الكيميائية، (2) إزالة المواد العضوية العنيدة والمواد العضوية المهلجنة باستخدام الكربون المنشط أو الأكسدة الكيميائية المتقدمة، (3) خفض سمية النفايات السائلة باستخدام التكنولوجيا الملائمة (مثل التناضح العكسي، التبادل الأيوني، الكربون المنشط، الخ.)، و(4) احتواء ومعالجة المواد العضوية المتطايرة المنصلة من عمليات الوحدات المختلفة في نظام معالجة المياه المستعملة.

وتناقش **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** كيفية التعامل مع المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية وأمثلة لأساليب المعالجة. ويتعين على المنشآت، من خلال استخدامها لهذه التكنولوجيات وأساليب الممارسة الصحيحة المتعلقة بكيفية التعامل مع المياه المستعملة، أن تفي

بالقيم الإرشادية المعنية بتصريف المياه المستعملة والمبينة بالجدول ذي الصلة بالقسم 2 من وثيقة قطاع الصناعة هذا.

المجاري الأخرى للمياه المستعملة واستهلاك المياه

تقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** الإرشادات المعنية بكيفية التعامل مع المياه المستعملة غير الملوثة الناتجة عن العمليات التي تتم في المنشآت الصناعية ومياه الأمطار غير الملوثة ومياه الصرف الصحي. ويجب توجيه مجاري المياه المستعملة الملوثة إلى نظام معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية. وتقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توصيات لخفض استهلاك المياه، لاسيما في الأماكن التي تكون فيها المصادر الطبيعية محدودة.

تصنيع ألواح الدارات المطبوعة

تم وضع العديد من إجراءات منع التلوث في عملية تصنيع ألواح الدارات المطبوعة المبينة في الملحق(أ). وتشمل الأمثلة على تعديلات العمليات التي تعود بفوائد بيئية ما يلي:

- *تصنيع الألواح*: تكنولوجيا التثبيت السطحي بدلاً تكنولوجيا الثقب النافذ المطلي، المادة المشكلة بالحقن، الطلي المضاف؛
- *التنظيف وتحضير السطح*: استخدام منظفات غير اختلابية، إطالة عمر الحوض، تحسين كفاءة الشطف، التنظيف بالتيار المعاكس، وإعادة تدوير/استخدام المنظفات ومواد الشطف؛
- *طباعة وتقنيع الأشكال*: مقاوم قابل للمعالجة المائية، الطباعة الحريرية بدلاً من الليثوغرافية الضوئية، الطباعة بالحبر النفاث، المقاوم الضوئي الجاف، إعادة تدوير/استخدام نازعات المقاوم الضوئي، عزل التيارات، واستعادة المعادن؛
- *الطلي الكهربي والطلي اللاكهربي*: يستبدل به الإنتاج الآلي للألواح، الأحواض التي لا تحتوي على السيانيد، إطالة عمر الحوض، إعادة تدوير/استخدام المنظفات ومواد الشطف، تحسين كفاءة الشطف، الشطف بالتيار المعاكس، عزل التيارات، واستعادة المعادن.
- *التنميش*: استخدام الطلي التفاضلي، مواد التنميش غير الاختلابية، ومواد التنميش غير المحتوية على الكروم، طلي الأشكال مقابل طلي الألواح، العمليات الإضافية مقابل العمليات المسقطة، إعادة تدوير/استخدام مواد التنميش؛
- لا ينتج عن استعادة المعادن باستخدام الاستخلاص التجديدي بالطرق الإلكتروليتية وتكنولوجيا التبادل الأيوني أي صرف من النفايات السائلة تقريباً للتيارات المعزولة الحاملة للمعادن. ويتم استعادة المعادن الثقيلة على هيئة ألواح من المعدن، مما يؤدي إلى استبعاد التخلص من 95 في المائة من الحمأة. يجب التخلص من الحمأة الحاملة للمعادن التي لم يتم معالجتها لاستعادة المعادن منها في مدافن مؤمنة.

1.2 الصحة والسلامة المهنية

تشمل المخاطر على الصحة والسلامة المهنية المرتبطة بمشاريع تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات الأخرى، بصفة أساسية، ما يلي:

- التعرض للمواد المنطلقة من الركائز أثناء التداول أو المعالجة الميكانيكية؛

- التعرض للكيماويات الخطرة الناتجة من العمليات، بما في ذلك المساحيق المعدنية؛
- المخاطر البدنية والتعرض لمخاطر الطاقة (الحركية، الكهربية، الهوائية، والهيدروليكية)؛
- التعرض للإشعاع المؤين وغير المؤين وأشعة الليزر

الركائز

على الرغم من أن الركائز السليكونية لأشباه الموصلات (ثاني أكسيد السليكون) غير سامة، إلا أن الغبار المنبعث من تصنيعها واستخدامها قد يكون خطراً. ومن ناحية ثانية يشكل كل من أرسينيد(زرنيخيد) الغاليوم وفوسفيد الإنديوم تأثيرات صحية وبدنية أشد خطراً. ويشكل استنشاق الدقائقيات أكثر طرق التعرض لأرسينيد الغاليوم وفوسفيد الإنديوم شيوعاً. ونظراً للسمية الشديدة لكل من الزرنيخ والإنديوم، وضعت مستويات تعرض مهني منخفضة لتلك المركبات. ويعد فوسفيد الإنديوم قابلاً للالتهاب ويمكنه التفاعل مع بخار الماء والأحماض لتكوين الفوسفين، وهو غاز سام قابل للالتهاب. ويعد أرسينيد الغاليوم خطراً عند تجليخه أو قطعه أو تلميعه.

وينطوي منع ومكافحة تلك المخاطر على اعتماد تدابير مكافحة هندسية وإدارية لوقاية العمال. وعادة ما يتم اعتماد احتياطات الاستخدام التالية:

- استخدام الاستخلاص الموضعي من الجلخ أو التخضين الرطب. ويجب أن تتم تلك العمليات على الراطب، وأن تشطف البقايا بعناية. يجب تجنب التجليخ أو التحضين الجاف لأرسينيد الغاليوم؛
- يجب استخدام الاستخلاص والتهوية في جميع العمليات التي تشتمل على تلك الركائز، بما في ذلك التقطيع، التجليخ، الصقل، أو التنميش؛
- يجب تنظيف الملابس بشكل دوري لمنع الملوثات، والتشجيع على اتباع ممارسات الصحة والنظافة الشخصية؛
- يجب تجنب التسخين المفرط، كما يجب تجنب الملامسة مع العوامل الشديدة المختزلة للأحماض لإنتاج غاز الأرسين أو الفوسفين شديدي السمية.
- ويجب تخزين خامات التغذية من الأرسين والفوسفين في حاويات منخفضة الضغط.

الكيماويات الخطرة المستخدمة في العمليات

تتضمن عملية تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات استخدام العديد من الكيماويات التي قد تسبب مخاطر محتملة. [8] وكذلك ربما تستخدم المساحيق المعدنية في تصنيع المكونات السلبية والأجهزة المغناطيسية. ويجب وضع برامج حماية كيميائية خاصة بكل مادة على وجه التحديد وتنفيذها وفقاً لما موضح تفصيلاً في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. و يجب حماية العمال من التعرض للكيماويات المستخدمة في العمليات الواردة فيما يلي على سبيل المثال لا الحصر: الأحماض، القواعد، المذيبات، مساحيق المعادن،

[8] تتضمن القائمة النموذجية ما يلي: الأسيتون، الأمونيا، هيدروكسيد الأمونيوم، الأرسين، ثالث فلورايد البورون، ثاني أكسيد الكربون الكلور، ثلاثي فلورايد الكلور، ثنائي البوران، ثنائي كلوروسيلان، ثنائي السيلان، الفلور، أرسينيد الغاليوم، الجيرمان، حمض الهيدروكلوريك، حمض الهيدروفلوريك، الهيدروجين، فوسفيد الإنديوم، الميثان، حمض النيتريك، أكسيد النتريك، فلورايد النتروجين، أكسيد النيتروز، الأوزون، أوكسي كلوريد الفسفور، الفوسفين، حمض الفوسفوريك، السيلان، حمض الكبريتيك، رباعي فلورو الميثان، ثلاثي كلوروسيلان، أرسينيك ثلاثي الميثيل، وإنديوم ثلاثي الميثيل.

الحمأة المعدنية، إضافة إلى الغازات السامة، البردية، وتلقائية الاشتعال. وإضافة إلى ذلك، تتضمن التوصيات المعنية بذلك القطاع تحديداً ما يلي:

- الاستبدال بالمواد الخطرة، مثل إيثيرات الغليكول المحتوية على الإيثيلين، بدائل أقل خطراً في تصنيع أشباه الموصلات؛
- في حالة استخدام السيلان (SiH_4) أو غازات أخرى قد تتسبب في مخاطر محتملة (مثل، HF، H_2) في تصنيع أشباه الموصلات، يجب تركيب أنظمة إنذار متكاملة مزودة بأجهزة اكتشاف الغاز مع ضبط أجهزة الإنذار على هوامش الأمان المحددة تنظيمياً أو صناعياً؛
- استخدام أنظمة تصنيع معزولة، أتوماتيكية، لمنع تعرض العاملين في حالة عدم جدوى استخدام بدائل للمواد الكيماوية الخطرة في كل من صناعة أشباه الموصلات وتجميع ألواح الدارات المطبوعة؛
- استخدام وسائل مكافحة هندسية مثل أنظمة استخلاص وتهوية للغبار والبخار لإزالة المركبات المحمولة في الهواء من منطقة العمل ويجب تركيبها في كل من صناعة أشباه الموصلات وتجميع ألواح الدارات المطبوعة.

المخاطر البدنية والمخاطر المتعلقة بالطاقة

تشمل المخاطر البدنية التي تقع في صناعة أشباه الموصلات والإلكترونيات حركة الأشياء الثقيلة - على سبيل المثال ناقلات الرقاقات الكبيرة (خاصة الرقاقات من مقاس 300 مم) والمنتجات النهائية المغلفة، والعمل بالقرب من المعدات الآلية. وتقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توصيات عامة لمنع المخاطر البدنية والمتعلقة بالطاقة (بما في ذلك الطاقة الحركية، والكهربية، والهوائية، والهيدروليكية) في أماكن العمل وكذا كيفية التعامل معها.

الإشعاع المؤين وغير المؤين وأشعة الليزر

ربما تتضمن عمليات التصنيع مصادر للإشعاع المؤين مثل أشعة إكس، وأشعة غاما، ودقائقيات ألفا وبيتا، وجميعها تتميز بطول موجي قصير وطاقة عالية. وتشمل الأنواع المحتملة للإشعاع غير المؤين في عملية التصنيع إشعاع التردد اللاسلكي (المستخدم في المعدات المنتجة للبلازما)، الإشعاع فوق البنفسجي، الإشعاع تحت الأحمر، والضوء المرئي. وتنتج الإشعاعات غير المؤينة من بعض أنواع السخانات عالية القدرة، ومعدات الاختبار، والهوائيات عالية القدرة.

تصنف أشعة الليزر حسب قدرتها على إحداث أضرار بالعين أو الجلد. وفي حالة توجيهها إلى شيء أو انعكاسها منه، فمن الممكن أن تتمص أشعة الليزر، متسببة في رفع درجة الحرارة وإحداث تغيير في المادة المتعرضة لها.

ويجب منع التعرض لمصادر الإشعاع من خلال استخدام هياكل واقية وأنظمة إقفال بيني للمعدات المصدرة لها، ويجب تدريب العمال على أهمية تلك الهياكل الواقية وأنظمة الإقفال البيني وصيانتها. تقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** معلومات إضافية عن التعرض للإشعاع.

يجب تركيب وسائل مكافحة هندسية، مثل الهياكل الواقية المزودة بأنظمة إقفال بيني، تركيبات ترشيح واقية، وآليات إقفال بيني للأنظمة لمنع مخاطر استخدام الليزر.

1.3 صحة المجتمعات المحلية وسلامتها

تماثل الآثار التي تتعلق بصحة المجتمعات المحلية وسلامتها والتي تحدث أثناء تشغيل وإنشاء، وإيقاف تشغيل وحدات

تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات الأخرى الآثار التي تحدث في غالبية المنشآت الصناعية، وتتناولها بالمناقشة **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

2.0 مؤشرات الأداء والمعايير الإرشادية للصناعة

2.1 البيئة

إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة

يعرض كل من الجدول رقم 1 و2 الإرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة لذلك القطاع. وتشرح القيم الإرشادية الخاصة بالانبعاثات والنفايات السائلة الناتجة عن العمليات في هذا القطاع الممارسة الصناعية الدولية الجيدة كما هي واردة في المعايير ذات الصلة للبلدان التي لديها أطر تنظيمية معترف بها. كما يمكن تطبيق هذه الإرشادات في ظروف التشغيل العادية داخل المنشآت المصممة والمشغلة على نحو ملائم من خلال تطبيق أساليب منع التلوث والسيطرة عليه والتي تم تناولها بالمناقشة في الأقسام السابقة من هذه الوثيقة. وينبغي تطبيق هذه المستويات بدون تخفيف، فيما لا يقل عن 95 في المائة من وقت تشغيل المصنع أو الوحدة، بعد حسابها كنسبة من ساعات التشغيل السنوية. ويجب تبرير عدم تطبيق هذه المستويات بالنسبة لأوضاع مشروع محلي محدد في التقييم البيئي.

تنطبق الإرشادات بشأن النفايات السائلة على عمليات التصريف المباشر للنفايات السائلة المعالجة في المياه السطحية من أجل الاستخدام العام. يمكن تحديد مستويات التصريف الخاصة بالموقع بناء على مدى توفر وظروف استخدام الأنظمة العامة لتجميع ومعالجة مياه الصرف الصحي أو، إن كان تصريفها يتم مباشرة على المياه السطحية، عندئذ يتم تحديد المستويات بناء على نظام تصنيف استخدام المياه المستقبلة كما هو موضح في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

تنطبق الإرشادات المعنية بانبعاث الملوثات على الانبعاثات الناتجة عن العمليات. وتعالج **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** الإرشادات الخاصة بانبعاث الملوثات من مصادر الاحتراق المرتبطة بأنشطة توليد الطاقة الحرارية والكهربائية من مصادر لها قدرة تساوي أو تقل عن 50 ميغاواط؛ أما انبعاثات مصادر الطاقة الأكبر فتعالجها **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل الطاقة الحرارية**. كما تقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** الإرشادات المعنية باعتبارات البيئة المحيطة استناداً إلى إجمالي حمل الانبعاثات.

الجدول 1 - مستويات النفايات السائلة		
الملوثات	الوحدة	القيمة الإرشادية
الأس الهيدروجيني	—	9–6
الحاجة الكيميائية للأكسجين	ملغم/ لتر	160
حاجة حيوية كيميائية للأكسجين[5]	ملغم/ لتر	50
إجمالي المواد الصلبة العالقة	ملغم/ لتر	50
زيوت وشحوم	ملغم/ لتر	10
فوسفور كلي	ملغم/ لتر	2
الفلوريد	ملغم/ لتر	5
أمونيا	ملغم/ لتر	10
السيانيد (إجمالي)	ملغم/ لتر	1
السيانيد (الحر)	ملغم/ لتر	0.1
الهالوجينات الممتزة المرتبطة بالمواد العضوية	ملغم/ لتر	0.5
زرنيخ	ملغم/ لتر	0.1
كروم (سداسي التكافؤ)	ملغم/ لتر	0.1
كروم (إجمالي)	ملغم/ لتر	0.5
كادميوم	ملغم/ لتر	0.1
نحاس	ملغم/ لتر	0.5
رصاص	ملغم/ لتر	0.1
الزئبق	ملغم/ لتر	0.01
نيكل	ملغم/ لتر	0.5
قصدير	ملغم/ لتر	2
الفضة	ملغم/ لتر	0.1
سيلينيوم	ملغم/ لتر	1
زنك	ملغم/ لتر	2
زيادة درجة الحرارة	°مئوية	<3[أ]
[أ] عند حافة منطقة مزج مثبتة علمياً تأخذ في الاعتبار نوعية المياه المحيطة، واستخدام المياه المستقبلة، والمستقبلات المحتملة، والطاقة التمثيلية.		

الجدول 2 - مستويات الانبعاثات في الهواء[ج]		
الملوثات	الوحدة	القيمة الإرشادية
المركبات العضوية المتطايرة[أ]	ملغم/م^3 عادي	20
ملوثات الهواء العضوية الخطرة[ب]	جزء في المليون من حيث الحجم	20
ملوثات الهواء الخطرة غير العضوية[ب]	جزء في المليون من حيث الحجم	0.42
كلوريد الهيدروجين	ملغم/م^3 عادي	10
فلوريد الهيدروجين	ملغم/م^3 عادي	5
فوسفين	ملغم/م^3 عادي	0.5
الأرسين ومركبات الزرنيخ	ملغم/م^3 عادي	0.5
أمونيا	ملغم/م^3 عادي	30
أسيتون	ملغم/م^3 عادي	150

ملاحظات:
[أ] تنطبق إلى عمليات التنظيف السطحي.
[ب] تشمل ملوثات الهواء الخطرة الخاصة تحديداً بتلك الصناعة: مركبات الأنتيمون، مركبات الزرنيخ، الأرسين، رابع كلوريد الكربون، كاتيكول، الكلور، مركبات الكروم، أكريلات الإيثيل، الإيثيل بنزين، غليكول الإيثيلين، حمض الهيدروكلوريك، حمض الهيدروفلوريك، مركبات الرصاص، ميثانول، ميثيل أيزوبيوتيل كيتون، كلوريد الميثيلين، مركبات النيكل، البيركلورو إيثيلين، فوسفين، الفوسفور، تولوين، 1،1،1-ثلاثي كلورو الإيثان، ثلاثي كلورو الإيثيلين (مزال على مراحل)، الزايلينات. لا تستخدم ممارسات الصناعة الحالية الإيثيل بنزين، التولوين، الزايلين، كلوريد الميثيلين، رابع كلوريد الكربون، مركبات الكروم، والبيركلورو إيثيلين، 1،1،1-ثلاثي كلورو الإيثان، أو ثلاثي كلورو الإيثيلين.
[أ] عند نسبة أكسجين 3 في المائة.

استخدام الموارد وإنتاج النفايات

يعرض الجدول 3 أمثلة لمؤشرات استهلاك مواد الطاقة والمياه، إضافة إلى توليد النفايات في ذلك القطاع. ويتم إتاحة القيم المعيارية للصناعة بغرض المقارنة فقط وعلى المشروعات الفردية أن تستهدف التحسين المستمر في هذه المجالات.

الجدول 3 - استهلاك المياه والطاقة وتوليد النفايات		
المدخلات حسب وحدة المنتج	الوحدة	معيار الصناعة الإرشادي
مياه استهلاك النضد الرطب من المياه فائقة النقاء	**لتر/إمرارة رقاقات 300-مم**	42
استهلاك المياه فائقة النقاء	**لتر/رقاقة 200-مم**	4 000–8 000
صافي استهلاك مياه التغذية	**لتر/سم^2**	8–10
استهلاك المسابك من المياه فائقة النقاء	**لتر/سم^2**	4–6
الطاقة أدوات المسابك الإجمالية	**كيلووات ساعة/سم^2 لكل رقاقة منتجة**	0.3–0.4
إجمالي أنظمة دعم المسابك		0.5–0.6
الإنتاج لكل وحدة منتج	**الوحدة**	**معيار الصناعة الإرشادي**
النفايات[أ] إعادة تدوير وإعادة استخدام النفايات السائلة الخطرة	**%**	80
إعادة تدوير واستخدام النفايات الصلبة	**%**	85

ملاحظات:
[أ] يجب أن يسعى مصنعو أشباه الموصلات إلى الوصول إلى وحدات "لا تنتج أي نفايات".
المصدر: International Technology Roadmap for Semiconductors (2005).

الرصد البيئي

يجب تطبيق برامج الرصد البيئي الخاصة بذلك القطاع للتعامل مع جميع الأنشطة التي تم تحديد كونها تحدث آثاراً كبيرة محتملة على البيئة، أثناء العمليات العادية وفي الظروف المضطربة. ويجب أن تستند أنشطة الرصد البيئي إلى المؤشرات المباشرة وغير المباشرة المطبقة على مشروع بعينه للانبعاثات والنفايات السائلة واستخدام الموارد.

وينبغي أن يكون معدل تكرار الرصد بالقدر الكافي لتوفير بيانات تمثيلية للمعيار الجاري رصده. ويجب أن يقوم بعمليات الرصد أفراد مدربون وفقاً لإجراءات الرصد والاحتفاظ بالسجلات مع استخدام معدات تجري معايرتها وصيانتها على نحو سليم. كما ينبغي تحليل بيانات الرصد ومراجعتها على فترات منتظمة ومقارنتها بالمعايير التشغيلية حتى يتسنى اتخاذ أية إجراءات تصحيحية لازمة. وتتوفر إرشادات إضافية عن الطرق المطبقة لأخذ العينات وتحليل الانبعاثات في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.**

2.2 الصحة والسلامة المهنية

إرشادات الصحة والسلامة المهنية

يجب تقييم أداء الصحة والسلامة المهنية بالمقارنة مع إرشادات التعرض المنشورة دولياً، والتي تشمل على سبيل المثال، قيمة الحد الأقصى المقبول للتعرض (TLV®) وإرشادات التعرض المهني ومؤشرات التعرض البيولوجي (BEIs®) المنشورة من قبل المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين (ACGIH) [9]، ودليل الجيب للمخاطر الكيميائية المنشورة من قبل المعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية (NIOSH) [10]، وحدود التعرض المسموح بها (PELs) المنشورة من قبل الإدارة الأمريكية للصحة والسلامة المهنية (OSHA) [11]، والقيم الإرشادية لحدود التعرض المهني المنشورة من قبل الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي [12]، أو ما يشابهها من مصادر.

[9] متاح على الموقع التالي: http://www.acgih.org/TLV/ والموقع http://www.acgih.org/store/
[10] متاح على الموقع التالي: http://www.cdc.gov/niosh/npg/
[11] متاح على الموقع التالي:
http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992
[12] متاح على الموقع التالي:
http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

معدلات الحوادث والوفيات

يجب أن تحاول المشروعات تقليل عدد الحوادث التي يتعرض لها العاملون (العاملين المباشرين أو عمال مقاولي الباطن) إلى مستوى الصفر، خاصة الحوادث التي من شأنها أن تؤدي إلى ضياع وقت العمل، أو مختلف درجات الإعاقة، أو حتى الوفيات. ويجب إجراء مقارنة معيارية بين المعدلات السائدة في المنشأة وبين أداء المنشآت الأخرى في هذا القطاع في البلدان المتقدمة من خلال الرجوع إلى المصادر المنشورة (مثل مكتب إحصاءات العمل الأمريكي وإدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة) [13] .

رصد الصحة والسلامة المهنية

يجب رصد بيئة العمل بحثاً عن الأخطار المهنية ذات الصلة بالمشروع المحدد. وينبغي أن يقوم بتصميم وتنفيذ أنشطة الرصد مهنيون معتمدون [14] في إطار برنامج رصد للصحة والسلامة المهنية. كما يجب على المنشآت الاحتفاظ بسجلات عن الحوادث والأمراض المهنية والأحداث والحوادث الخطرة. وتتوفر إرشادات إضافية عن برامج رصد الصحة والسلامة المهنية في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

[13] متاح على الموقعين التاليين:
http://www.bls.gov/iif/
http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm

[14] يمكن أن يكون من بين المهنيين المعتمدين خبراء الصحة الصناعية المعتمدون، أو الخبراء المسجلون المعنيون بممارسة المهن، أو المهنيون المعتمدون المعنيون بالسلامة، أو الأفراد المماثلون.

3.0 ثبت المراجع والمصادر الإضافية

Australian National Pollutant Inventory. 1999. Emission Estimation Technique Manual for the Electronics and Computer Industry. Queensland, Australia.

Eastern Research Group. 1999. Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions from Semiconductors Manufacturing. Prepared for US EPA, Point Sources Committee. Morrisville, North Carolina.

European Commission. 2005. Reference Document on Best Available Techniques for Surface Treatment of Metals and Plastics. Sevilla, Spain

European Union. 2003a. Directive 2002/95/EC on Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment. Brussels, Belgium.

European Union. 2003b. Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). Brussels, Belgium.

Geng, Hwaiyu. 2005. Semiconductor Manufacturing Handbook. McGraw-Hill. New York, New York.

German Federal Government. 2002. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Berlin, Germany.

German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. 2004. Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters (Waste Water Ordinance - AbwV) of 17. June 2004. Berlin, Germany.

Harper, C.A. 1997. Passive Electronic Component Handbook. McGraw-Hill. New York, New York.

Helsinki Commission (Helcom). 2002. Reduction of Discharges and Emissions from the Metal Surface Treatment. Recommendation 23/7. Helsinki, Finland.

Intel. 2004. Environmental, Health and Safety Report. Available at http://www.intel.com/intel/other/ehs/ (accessed on March 2006)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2000. Good Practice and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Available at http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/ (accessed on June 2006)

International Technology Roadmap for Semiconductors. 2005. Environmental, Safety and Health. Available at http://public.itrs.net/ (accessed on March 2006).

Ireland Environmental Protection Agency. 1996. Integrated Pollution Control Licensing. Batneec Guidance Note for the Manufacture of Integrated Circuits and Printed Circuit Boards. Ardcavan, Ireland.

McLyman, Colonel Wm. T. 2002. High Reliability Magnetic Devices: Design and Fabrication. CRC Edition. London, United Kingdom.

New York State Department of Environmental Conservation, Pollution Prevention Unit. 1999. Environmental Compliance and Pollution Prevention Guide for the Electronics and Computer Industry. New York, New York.

Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI). Guideline F5-90. Guide for Gaseous Exhaust Emissions. Available at http://wps2a.semi.org/wps/portal/_pagr/118/_pa.118/190 (accessed on March 2006).

Semiconductor Industry Association. 2000. Occupational Health System 2000 Annual Survey of Work Injuries and Illnesses. San Jose, California.

US Environmental Protection Agency (EPA). 1995. Electronic and Computer Industry, Sector Notebook Project. Washington, DC.

US EPA. 1998. Reduction of Arsenic Wastes in the Semiconductor Industry. EPA/600/R-02/089. Washington, DC.

US EPA. 2001. Proposed Air Toxics Rule for Semiconductor Manufacturing. Fact Sheet. Washington, DC.

US EPA. 2002. 40 CFR Part 63 National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Semiconductor Manufacturing. Washington, DC.

US EPA. Design of the Environment. Printed Wiring Board. Section A, Clean Air Act Requirements. Washington, DC. Available at http://www.epa.gov/oppt/dfe/pubs/index.htm#pwb (accessed on March 2006)

US EPA. 40 CFR Part 413. Electroplating Point Source Category. Washington, DC.

US EPA. 40 CFR Part 433. Metal Finishing Point Source Category. Washington, DC.

US EPA. 40 CFR Part 469. Electrical and Electronic Components Point Source Category. Washington, DC.

World Semiconductor Council (WCS). 1999. Position Paper Regarding PFC Emissions Reduction Goal, April 26, 1999. Fiuggi, Italy.

World Semiconductor Council (WSC). 2005. Joint Statement on the Ninth Meeting. May 19, 2005, Kyoto, Japan.

WSC and SEMI. 2006. Agreement for PFOS. Voluntary Semiconductor Industry Commitment. Available at http://www.sia-online.org/pre_stat.cfm?ID=294 (accessed on April 2007)

الملحق(أ): وصف عام لأنشطة الصناعة

تشمل صناعة الإلكترونيات تصنيع أشباه الموصلات، ألواح الدارات المطبوعة، تجميعات التوصيلات السلكية المطبوعة، شاشات، مكونات سلبية، وأجهزة مغناطيسية.

تصنيع أشباه الموصلات

يستخدم في تصنيع أشباه الموصلات، السليكون، وكربيد السليكون، وأرسينيد الغاليوم، والمعادن، والكيماويات، والمياه، والطاقة. وينبغي أن تكون جميع المواد على أعلى درجة من النقاء، ومن ثم تعد أنظمة الغازات المتخصصة، وأنظمة تداول الكيماويات الأوتوماتيكية، وأنظمة الهواء الجاف النظيف ضرورية في الغرف النظيفة، خاصة في عملية الليثوغرافية الضوئية. ومن الضروري كذلك استخدام نظام مياه فائقة النقاء، حيث يحتاج تصنيع أشباه الموصلات إلى كميات كبيرة من المياه فائقة النقاء، للاستخدام بصفة أساسية في عمليات التنظيف الرطب، وكذلك في التنميش الحمضي، وعمليات المذيب، وعملية تنظيف الأدوات. وتعمل العديد من المسابك الجديدة على تقليل استهلاك المياه من خلال إعادة تدوير الجزء الهام من المياه المستعملة الناتج عن خطوات الشطف. ولا تضيف تلك العملية قدراً كبيراً من ملوثات المياه. ونظراً لأن حجم الدوائر المتكاملة آخذ في الصغر، أصبح التحكم في الاهتزازات وتصميم أساسات المنشآت أمراً أكثر أهمية.

وتشمل عملية التصنيع المئات من العمليات التي تجرى طبقة بعد أخرى على مادة بلورية صلبة، وهي السليكون بالدرجة الأولى، ومؤخراً على كربيد السليكون. كما يستخدم أرسينيد الغاليوم في العديد من التطبيقات العسكرية والتجارية، بما في ذلك أجهزة الليزر، الصمامات الثنائية المشعة للضوء، وأجهزة الاتصالات (على سبيل المثال، الهواتف الخلوية تستخدم شرائح أرسينيد الغاليوم كمولد ذبذبات موجات ميكروويف).

ويشمل تصنيع أشباه الموصلات سلسلتين أساسيتين من العمليات: تصنيع رقاقات أشباه الموصلات وتجميعها، وتغليفها، واختبارها، وتشمل تجميع الرقاقات في دوائر متكاملة قابلة للاستخدام.

يوجز *الشكل ألف-1* (الصفحة الأخيرة) الخطوات الأساسية في تصنيع أشباه الموصلات، ملقياً الضوء على مدخلات الكيماويات، والسوائل الأخرى، ونقاط توليد الانبعاثات / النفايات السائلة / النفايات.

ويحتاج تصنيع رقاقة أشباه الموصلات إلى هيكل بلوري منتظم متعدد الطبقات من السليكون (رقاقة سليكون)، يتم الحصول عليها باستخدام أساليب محكومة، مثل الترسيب الكيميائي للبخار أو الحفر الشعاعي الجزيئي. ومن ثم، تتكون طبقة رقيقة من ثاني أكسيد السليكون التي تعزل السليكون وتحميه فوق رقاقة السليكون بالمعالجة الحرارية في فرن ذي درجة حرارة عالية (900 درجة مئوية إلى 1200 درجة مئوية). بعد ذلك يتم تغطية الرقاقة بطبقة منتظمة رقيقة من مادة حساسة للضوء، تدعى مقاوم الضوء (إيجابية أو سلبية)، ويتم تعريضها للضوء فوق البنفسجي أو أشعة إكس التي تمر خلال قناع من الزجاج أو الورق الحريري، المغطى مسبقاً بشكل الدائرة.

يصبح مقاوم الضوء الإيجابي قابلاً للذوبان في المناطق المعرضة ويمكن إزالته بالمظهرات الكيميائية، كاشفاً عن الشكل المصنوع في مقاوم الضوء بفعل القناع على ثاني أكسيد السليكون (التظهير). ويتم إزالة ثاني أكسيد السليكون بواسطة

التنميش الرطب أو الجاف: تستخدم المعالجة الرطبة الأحماض، أو القواعد، أو المحاليل الكاوية؛ بينما تستخدم المعالجة الجافة، التي تدعى كذلك التنميش بالبلازما، غازاً مؤيناً متفاعلاً وتوفر دقة أعلى وتولد نفايات أقل. وأخيراً يتم إزالة مقاوم الضوء الفائض باستخدام مادة مذيبة أو عن طريق الإزالة بالبلازما. من خلال تكرار الخطوات (حتى 25 إلى 30 مرة) ابتداء من أكسدة السليكون وحتى إزالة المقاوم الضوئي واستخدام أقنعة مختلفة، يمكن تكوين مناطق مختلفة على الطبقات تكون معزولة عن بعضها البعض. وتسمى هذه العملية بأكملها الليثوغرافية الضوئية أو الليثوغرافية الدقيقة.

من شأن استخدام التنميش بالبلازما لنيتريد السليكون - وهي عملية جافة - في تكنولوجيا أشباه الموصلات المصنوعة من أكسيد المعدن أن يسمح الاستبدال بالعملية الرطبة بحمض الفوسفوريك الأكال الساخن (H_3PO_4)، ويوفر خفضاً في النفايات المولدة، وتحسين سلامة العمال، وفي الوقت نفسه تقليل عدد خطوات التصنيع.

ولتغيير قابلة توصيل مناطق السليكون، يتم وضع مطعمات عن طريق الانتشار أو الغرس الأيوني. ويمكن أن يكون الانتشار غازياً أو غير غازي، ويجرى في بيئة مرتفعة درجة الحرارة. بينما يتألف الغرس الأيوني من رشق المناطق المكشوفة من السليكون بأيونات معجلة. ويتم الربط البيني الانتقائي بين مختلف مناطق طبقات الرقاقة عن طريق المعدنة (التغشية بالمعدن): حيث يتم ترسيب مادة عازلة كهربياً وتشكيلها في عملية التقصيب؛ ثم تملأ المعالم بسبائك الألومنيوم تحت التفريغ أو بالنحاس عن طريق الطلي الكهربي أو الترسيب الكهروكيميائي. ويزال النحاس الفائض بواسطة الصقل الكيميائي الميكانيكي أو التسطيح. ومن بين طرق المعدنة الأخرى - خاصة بالنحاس - الترسيب الفيزيائي للبخار وترسيب الطبقة الذرية. وأخيراً، توضع طبقة سطحية من الأكسيد أو البولي أميد على سطح الرقاقة عن طريق الكبت السلبي لتكوين عازل واقي للدائرة.

تحتاج التطبيقات الجديدة إلى أشباه موصلات رقيقة للغاية؛ ومن ثم يتم تقليل ثخانة الرقاقة بواسطة التجليخ الخلفي أو تخفيف الإجهاد. تحتوي كل رقاقة نهائية على مئات الشرائح التي يتم اختبارها جميعاً كهربائياً (قياس) قبل قطعها إلى شرائح مفردة بواسطة نصل ماسي بالغ الدقة (تقطيع) وتوضع عليها العلامات. وبعد الاختبار الكهربي، يتم تثبيت كل شريحة على إطار من المعدن أو الخزف، موصلة بأسلاك ذهبية دقيقة، وتغليفها لتوفير دعم ميكانيكي وحماية من البيئة الخارجية. وقد تحتوي المجموعة النهائية على شريحة واحدة أو عدة شرائح موصلة.

تكنولوجيا النانو والأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة

تتضمن تكنولوجيا النانو إنشاء هياكل وظيفية على نطاق ذري أو جزيئي، بخاصية واحدة على الأقل تقاس بالنانومتر. يتيح تبخير بعض مساحيق الأكاسيد المعدنية (ZnO، Ga_2O_3، SnO_2، إلى غير ذلك) في درجة حرارة عالية تصنيع سيور وأسلاك تقاس بالنانو، من نفس الأكاسيد المعدنية. تستخدم أشباه الموصلات الناتجة بصفة عامة كحساسات، ومحولات طاقة، أو في تطبيقات أخرى في الأجهزة الإلكترونية أو الإلكترونية البصرية.

وتصنع الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة بصفة أساسية من محولات طاقة دقيقة (على سبيل المثال، حساسات دقيقة لدرجة الحرارة، والضغط، والمواد الكيميائية، والإشعاع). وتشبه طرق تصنيعها تلك المستخدمة في صناعة الشرائح. تتنوع الأدوات المستخدمة في إنتاج الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة، وتختص بخصائص كهربية محددة، وكذلك خصائص ميكانيكية

وحرارية أو كيميائية مختارة. كما يستخدم السليكون في الأغلب.

وتنطوي التكنولوجيا الأكثر شيوعاً في إنتاج الأنظمة الكهروميكانيكية الميكروية على ترسيب وتشكيل طبقة من أكسيد السليكون، يتبعها ترسيب وتشكيل طبقة من البوليسليكون، وإزالة طبقة الأكسيد، مما يتيح لطبقة البوليسليكون التحرك ككابولي، وتتم عادة في أخلاط من حمض الهيدروفلوريك.

وتعد عمليات التقطيع والفصل عمليات حرجة، نظراً لأن الأجزاء المتحركة في الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة تتسم بالهشاشة وشدة التأثر. ويتوقف اختبار الجهاز على التطبيق المستخدم فيه، ويعد تجميع أجهزة الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة كثير الاحتياجات بصفة عامة نظراً لهشاشتها وشدة تأثرها. كما يتوقف التغليف أيضاً على التطبيق المحدد، إلا أن جميع عمليات التغليف تهدف إلى حماية القالب من التأثيرات البيئية، دون الحيلولة من الوصول إلى البارامترات البيئية الضرورية للتشغيل السليم (على سبيل المثال، التطبيق في حساس الضغط بالحقائب الهوائية). تستخدم أجهزة الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة في العديد من القطاعات الصناعية، تشمل من بين ما تشمل قطاعات السيارات، والتحكم الصناعي، ومعدات المكاتب، والفضاء الجوي، والطب، والاتصالات.

تصنيع ألواح الدارات المطبوعة

يرتبط تصنيع ألواح الدارات المطبوعة بالتنميش وطلي أشكال الدوائر على مواد قاعدية، تتكون من طبقات في الغالب. ويمكن أن تكون ألواح الدارات المطبوعة أحادية الجانب، ثنائية الجانب، متعددة الطبقات، ومرنة. ويمكن استخدام التكنولوجيات الإضافية، شبه الإضافية، أو الإسقاطية، إلا أن التكنولوجيا الإسقاطية هي الأكثر تطبيقاً. ويتألف تحضير الألواح من التنظيف، والترقيق، وحفر الثقوب؛ ويلزم إجراء تنظيف كيميائي وميكانيكي قبل الطلي اللاكهربي. تسمح خطوة التصوير بنقل أشكال الدائرة إلى اللوح من خلال عملية الليثوغرافية الضوئية أو الطباعة الحريرية؛ يستخدم الطلي الكهربي (النحاس عادة) لزيادة ثخانة الطبقات الموصلة وحمايتها من الحت أو التآكل. في تغطية اللحامات (أو تسوية اللحامات بالهواء الساخن)، يتم تغطيس ألواح الدارات المطبوعة في لحام مصهور، يكون في العادة من سبيكة قابلة للصهر في درجة حرارة منخفضة (على سبيل المثال، سبائك قصدير خالية من الرصاص). ويتم التخلص من اللحام عن طريق التسوية بالهواء الساخن. يتضمن تصنيع ألواح الدارات المطبوعة خطوات الإنتاج النهائية التي تجرى فيها الاختبارات الكهربائية، والمعاينات البعدية والبصرية، والتغليف، ووضع ملصقات تعريف.

صناعة تجميع ألواح الدارات المطبوعة

تتكون ألواح الدارات المطبوعة بصورة أساسية من قاعدة من راتنج إيبوكسي مضغوط، تفلون، ألياف زجاجية، Kevlar™ أو خزف، يثبت عليها أشباه موصلات (السليكون، كربيد السليكون، أو أرسينيد الغاليوم) ومكونات سلبية. ويتم توصيل مكونات كهربية محددة ولحامها على ألواح الدارات المطبوعة. وعادة ما يستخدم صهير كيميائي لتنظيف الألواح وتسهيل توصيل اللحام لاحقاً. ويمكن إجراء اللحام بأساليب مختلفة، بما في ذلك اللحام الموجي، تكنولوجيا التثبيت السطحي، واللحام اليدوي. تتوفر في عملية تجميع ألواح الدارات المطبوعة، بدائل غير مستنفدة للأوزون لتنظيف تجميعات ألواح الدارات المطبوعة بما في ذلك، على سبيل المثال، مذيبات عضوية أخرى، مزيج الهيدروكربون/العوامل السطحية، الكحولات، ومزيج المذيبات العضوية)، والعمليات المائية وشبه المائية. يتم حالياً، إزالة بقايا الصهير بالمياه مزالة الأيونات؛ بينما تم الآن حظر

استخدام الفريون 113 (كلوروفلوروكربون - 113) وثلاثي كلورو الإيثان، اللذين كانا يستخدمان سابقاً. وقد ثبت في الصناعة أنه يمكن تصنيع تجميعات متطورة من ألواح الدارات المطبوعة دون تنظيف عن طريق استخدام مواد الصهير التي تخلف القليل من البقايا ولا تتسبب في كثير من التلوث على الألواح.

تصنيع الشاشات

تصنف شاشات العرض المسطحة إلى شاشات إسقاط وعرض مباشر، ويمكن تصنيفها كذلك إلى فئات فرعية أخرى انبعاثية وغير انبعاثية. ولعل من أشهر شاشات العرض المسطحة شاشات العرض البللوري السائل، التي يتم التحكم في ترتيب البلور السائل فيها من خلال المجال الكهربي. ويتوقف ما يشاهده المشاهد على الترتيب الجزيئي للبلور السائل. ويتم صف مرشح لوني وشريحة ترانزيستور رقيقة ولحامها معاً، مع إبقاء مسافة بينهما؛ ثم تحقن البلورات السائلة وتلحم لحاماً نهائياً. وأخيراً، يتم تجميع المستقطب، الغلاف الحامل للشريط، الإلكترونيات، الإضاءة الخلفية، والشاسيه.

وتتميز شاشات العرض العضوية المشعة للضوء بهيكل يسير وتعد من شاشات الحالة الصلبة نظراً لعدم وجود فراغ، أو سائل، أو غاز بداخلها. وتستخدم شاشات العرض العضوية المشعة للضوء جزيئات صغيرة من مواد إنارية يتم ترسيبها بواسطة التبخير الخوائي. تستخدم شاشات العرض البوليمرية المشعة للضوء بوليمرات مواد إنارية ترسب عادة بالطباعة النفاثة للحبر أو التغشية باللف. ولتحسين أدائها يضاف شريحة ترانزيستور رقيقة. تتميز شاشات العرض العضوية المشعة للضوء بيسر عملية إنتاجها، والكفاءة الضوئية العالية، والمحرك منخفض الجهد، إلا أن عمرها قصير.

تصنيع المكونات السلبية

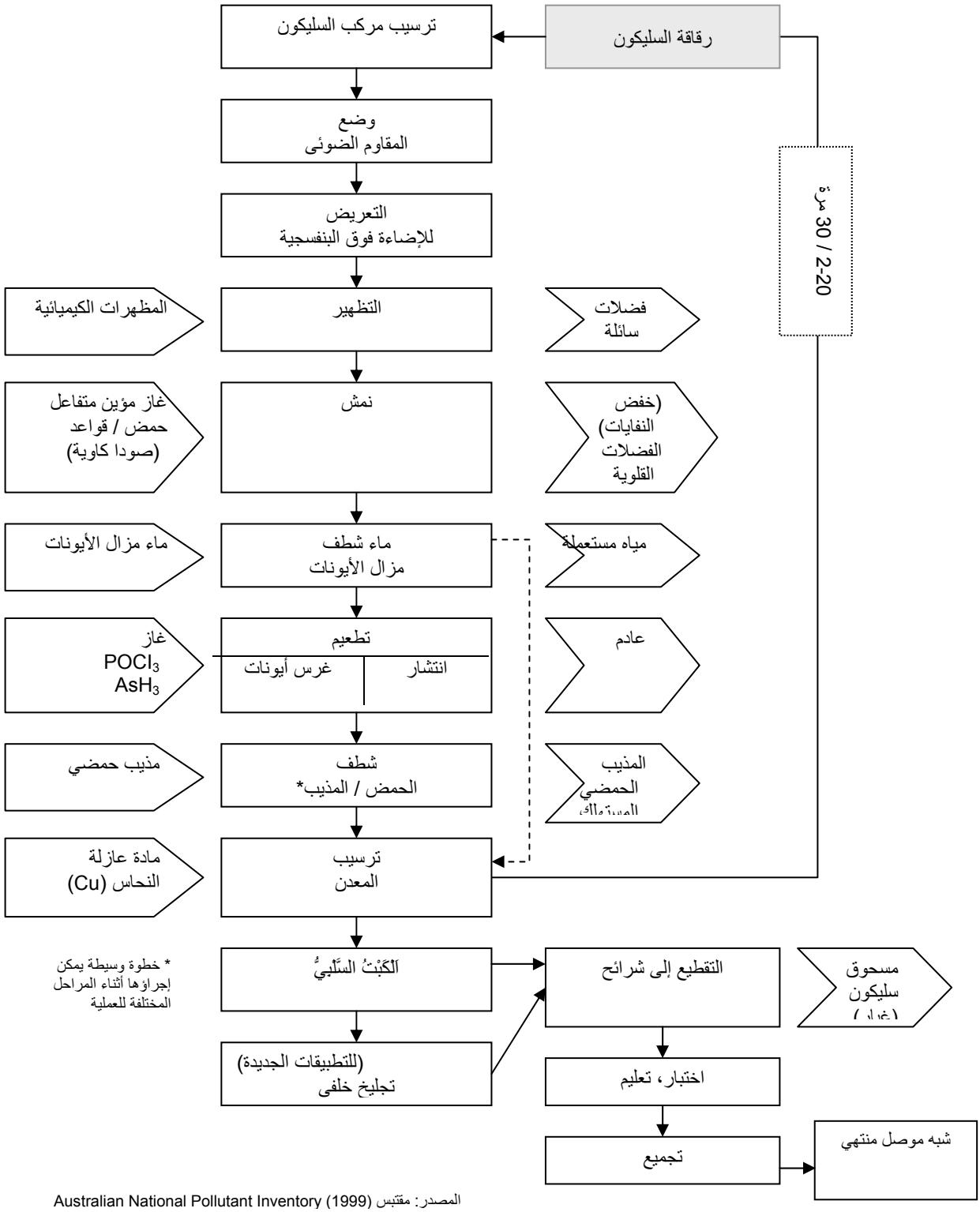
من التكنولوجيات الرئيسية لإنتاج المكونات السلبية ضغط و/أو تلبيد المساحيق - الألومينا (Al_2O_3)، نيتريد الألومنيوم (AlN)، وما إلى ذلك—للحصول على خزف يتميز بخصائص عازلة، أو موصلة، أو كهرضغطية. يعد إنتاج الركائز الخزفية العازلة (Al_2O_3، AlN) أكثر المنتجات المصنعة شيوعاً للدوائر الدقيقة المتكاملة.

وبالنسبة للركائز عالية القدرة يستخدم AlSiC أو CuSiC للحصول على توصيل حراري محسن، مقارنة بالألومينا المعتادة Al_2O_3. وبمزج الإضافات على قاعدة من الكربون أو كربيد السليكون، يتم إنتاج مقاومات من أي أبعاد وقيمة أومية. وتستخدم الخصائص الكهرضغطية بالأساس في جميع مجالات استخدام حساسات الضغط (السيارات)، حساسات الشد، والمنظفات فوق الصوتية في الصناعة، أو لبث موجات فوق صوتية في تخطيط الصدى. وتستخدم خزفيات أكسيد الزنك الخاصة في أجهزة كبت الجهد الزائد (المقاومة المتغيرة).

تصنيع الأجهزة المغناطيسية

تقوم عمليات تصنيع الأجهزة المغناطيسية على مزج المساحيق المغناطيسية (الحديد أو العناصر الأرضية النادرة) للحصول على أفلام أو شرائط مغناطيسية لتخزين البيانات في صناعة المعلوميات، وخزف أو معدن ملبد ذي خصائص مغناطيسية محسنة، يستخدم في تصنيع الجزء المركزي للمحولات النبضية الصغيرة أو المغناطيسات الخاصة زائدة القوة في صناعة المحركات أو لمعدات الرنين المغناطيسي الثابتة.بعض الكلمات غير مرئية في الشكل أدناه

الشكل ألف-1: منظر تخطيطي



المصدر: مقتبس Australian National Pollutant Inventory (1999)