

الإرشادات بشأن البيئة والصحة، والسلامة الخاصة

بتصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات الأخرى

مقدمة

وتتضمن الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة مستويات الأداء والإجراءات التي يمكن للتكنولوجيا الحالية أن تتحققها 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 المحددة في كل مشروع، استناداً إلى نتائج التقييم البيئي الذي يأخذ في الاعتبار متغيرات كل موقع على حدة ومنها: الوضع في البلد المضيف، والطاقة الاستيعابية في البيئة المعنية، والعوامل الأخرى الخاصة بالمشروع. كما يجب أن تستند تطبيق التوصيات الفنية المحددة إلى الرأي المهني المتخصص الذي يصدر عن أشخاص مؤهلين من ذوي الخبرة العملية.

وحيث 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 المعنى – يحتاج الأمر إلى تبرير كامل ومحفظ بشأن أية بدائل مُقترحه في إطار التقييم البيئي للموقع المحدد. وينبغي أن يُبين ذلك التبرير أن اختيار أي من مستويات الأداء البديلة يؤمّن حماية صحة البشر والبيئة.

الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة (EHS) هي وثائق مرجعية فنية تتضمن أمثلة عامة وأمثلة من صناعات محددة على الممارسات الدولية الحيدة 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 المعقّدة، قد يلزم استخدام إرشادات متعددة حسب تعدد قطاعات الصناعة المعنية. ويمكن الاطلاع على القائمة الكاملة للإرشادات الخاصة بالقطاعات الصناعية على شبكة الإنترنت على الموقع:

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

¹ هي من حيث تعرّيفها ممارسة المهارات والاجتهاد والحسافة والتبصر المتوقعة 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 المهنيون من ذوي المهارات والخبرة العملية عند قيامهم بتنفيذ مجموعة أساليب منع ومكافحة التلوّث المتاحة لأحد المشروعات – على سبيل المثال لا الحصر – مستويات مختلفة من تدهور البيئة ومن الطاقة الاستيعابية البيئية، مع مستويات مختلفة من الجدوى المالية والفنية.

1.1 البيئة

التطبيق

تشمل القضايا البيئية المتعلقة بمشاريع تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات 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 تقريرًا نفايات خطرة ذات أخطار محتملة، مثل المياه المستهلكة مزالة الأيونات (المحتوية على حمض غير عضوي)، المذيبات والمظهرات المستهلكة (مثل الهيدروكربونات الأيزوبرافينية)، محليل التنظيف المستهلكة، الحمأة الناتجة من معالجة المياه المستعملة، مادة الإيبوكسي المستهلكة (تصنيع لوح الدارة المطبوعة وأشباه الموصلات)، محليل السيانيد المستهلكة (الطلبي الكهربائي)، 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

تشمل الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات الأخرى معلومات ذات صلة بمشاريع ومؤسسات 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.

² يجب تقييد استعمال الرصاص، الزئبق، الكلاديوم، الكروم (الكروم السادس)، ثنائي فينيل متعدد البروم، والاسترات ثنائية الفينيل متعدد البروم

- كيماويات الطلي لعزل المواد غير المتواقة، 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 الكهربائي؛ إزالة واستعادة النحاس والقصدير من الألواح عن طريق الترسيب بالتحليل الكهربائي 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 الهمامة للمواد المحتوية على سلفونات البيرفلورو أوكتان، مثل بعض خلائط التتميش التي يوجد لها بدائل. أما بالنسبة لاستخدام سلفونات البيرفلورو أوكتان الهمامة 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

⁴ سلفونات البيرفلورو أوكتان مدرجة على قائمة المواد التي لها خصائص سامة، مستتبة 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 تصنف التخلص من جميع الاستخدامات ما عدا الاستخدامات الهمامة وتطلب 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

- تنفيذ تعديلات على العمليات أو المعدات، من بينها:³
 - تجديد أحواض الطلي عن طريق الترشيح بالكريبون المنشط لإزالة تراكم الملوثات العضوية، مما يؤدي إلى خفض حجم أحواض الطلي التي يتم التخلص منها ويقلل الحاجة إلى كيماويات جديدة؛
 - استخدام أنظمة كائن الغاز الأوتوماتيكية للتحكم في انبعاث الغازات المنفلترة 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 استبعادها - على سبيل المثال، الاستبدال بمحاليل الطلي المحتوية على السيانيد (للطلي بالذهب في صناعة ألواح الدارات المطبوعة) نحاس الكبريتات الحمضية، كبريتيت الذهب، النikel اللاكتهبي؛ إحلال أحواض طلي الكروم الثلاثي محل أحواض الكروم السادس (في تصنيع ألواح الدارات المطبوعة، وإن كان قد بطل استخدام أحواض الطلي الكرومية).
 - عزل المواد والنفايات الخطيرة، وفصلها، وتحضيرها - على سبيل المثال، عزل حمأة المياه المستعملة حسب الملوثات المعدنية يعزز من استعادة النفايات؛ تخزين

أو التخلص منها على مراحل كما هو موضح من قبل الاتحاد الأوروبي (2003a و 2003b). والتخلص التدريجي من استخدام الكلوروفلوروكربيونات. وجرى 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 والماد شبه الموصلة.³ توفر معلومات إضافية في الملحق □(أ).

الانبعاثات الهوائية

تشمل الانبعاثات الرئيسية ذات الأهمية الناتجة من صناعة أشباه الموصلات والإلكترونيات غازات الدفيئة، والمواد السامة، والمترادفة، والأكاليل (على سبيل المثال، الأبخرة الحمضية، عوامل الإشارة، غازات التنظيف، والمركبات العضوية المتطايرة) التي تنتج من عمليات التشتت، والتنظيف، والتمييع الربط.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 المتقدمة. على سبيل المثال يمكن لجهاز غسل عند موضع الاستعمال إزالة الأرسين إلى أقل من 50 جزءاً في المليون. ثمة سنة تكنولوجيات أساسية مستخدمة في تقليل الملوثات الغازية والدقيقة، بما فيها مركبات البيرفلوروكروبون، عند موضع الاستعمال، كما يلي:

- الغسل الربط في تصنيع أشباه الموصلات، على الرغم من محدودية نطاق معالجتها. تستخدم أجهزة الغسل الربط أيضاً في معالجة الغازات الحمضية والمنتجات الثانوية للمعالجة بالإحراق/الأكسدة؛
- القواعد الكيماوية الساخنة في تصنيع أشباه الموصلات؛

⁵ تم تحديد وجود ما يقرب من 30 مليون طن 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، وإيثرات غليوكول البروبيلين وأسيتاتها، والميثانول، والزيلينات.

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 تسرب؛
- يجب أن تكون الأنابيب تحت الأرضية أنابيب مزدوجة، مع وجود وسيلة للتعرف على حالات التسريب من الأنابيب الداخلي.
- يجب صناعة المواسير التي تنقل المواد الخطرة من مواد متواقة وأن تكون مدوعمة 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 الأقل؛
- يجب استخدام أو عية 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 مزال الأيونات، المذيبات المستهلكة، محليل 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 واحتواها بشكل آمن نظراً لقابلية التفاعل والسمية الشديدة لنفايات الصناعة ومنتجاتها الثانوية، كما هو مبين في القسم التالي المعنى بالصحة والسلامة المهنية؛

مركبات البيرفلوروكربيون وغازات الدفيئة الأخرى

تستخدم مركبات البيرفلوروكربيون—التي تشمل رباعي فلوريد الكربون⁴، سداسي فلورو الإيثان C_2F_6 ، وثنائي فلوروبروبان C_3F_8 —ثلاثي فلوريد النيتروجين (NF_3)، الهيدروفلوروكربيون (CHF_3) HFC-23 ، وسداسي فلوريد الكبريت (SF_6) في تصنيع أشباه الموصلات، كغازات تنظيف في أنظمة الترسيب الكيميائي للبخار ، في تتميش البلازما، وبصفة أساسية، في تصنيع شاشات العرض البلورية ذات شرائح الترانزistor الرقيقة. تمثل القضية البيئية الرئيسية المرتبطة بمركبات البيرفلوروكربيون في إمكانياتها العالية لإحداث احترار عالمي، نتيجة طول بقائها في الهواء الجوي.⁶

تشمل طرق خفض ومكافحة انبعاث مركبات البيرفلوروكربيون ما يلي:⁷

- تحسين العمليات، خاصة عمليات التنظيف في الترسيب الكيميائي للبخار ،
- البديل الكيميائي، على سبيل المثال، استخدام $C-C_4F_8$ 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 البيرفلوروكربيون، بواسطة

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

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

◦ الإحرق / 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 حفاض إضافية لاحقة؛

◦ ممترات باردة في صناعة تجميع ألواح الدارات المطبوعة؛

◦ مصافي، مرشحات، أجهزة فصل دوامية، وأجهزة الترسيب في صناعة تجميع ألواح الدارات المطبوعة لازالة المواد الصلبة وتكليف 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 كائن 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.

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 محمد ضبابي على سطح محليل الأحواض واستخدام عوامل ترطيب (مواد خفض الشد السطحي)؛
- إعادة استخدام حمض الكبريتيك المستخدم أثناء تصنيع الرفاقات بواسطة التسخين والتقطير في العمليات لتنقية تيار الحمض؛ والذي يستعاد ويُضخ 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 الواح الدارات المطبوعة. وقد تنطلق المركبات العضوية المتطايرة في معظم عمليات التنظيف والليثوغرافية الضوئية، أثناء عمليات تجفيف المقاوم الضوئي، والتطهير، وإزالة المقاوم الضوئي. وفي العادة، يتم امتزاز انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة على أنظمة الكربون المنشط لتيسير الاستعادة و/ أو تعالج بواسطة المؤكسدات الحرارية. تتالف طرق مكافحة التلوث المطبقة أو أجهزة المكافحة المضافة المستخدمة في مكافحة الانبعاثات مما يلي:

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

- النقاط مرകبات البيرفلوروكربون من تيارات العامد وإعادة استخدامها، ولكن ذلك بعد عملية صعبة من الناحيتين الفنية والاقتصادية.
- تناقض 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 الواح 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، والطلبي في تصنيع الواح الدارات المطبوعة.

انبعاثات رذاذ حمض الكبريتيك تكون أيضاً مرتبطة بمعالجة الرفاقات بواسطة أخلط التتميش الحمضي. ويحتوي الخليط

الغبار

تولد عمليات التقب والحفر أثناء تصنيع ألواح الدارات المطبوعة كميات كبيرة من الغبار، بينما لا تد صناعات أشباه الموصلات وتحمي 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 الإلكتروستاتيكية

استهلاك الطاقة

نظرًا لوجود العديد من العمليات الحرارية واعتماد التعامل مع الرفاقات 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 تحكم 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 مبادرات الحرارة ربما تتيح للمنشآت الصناعية الحديثة توفيرًا يصل إلى 40 في المائة من احتياجاتها.

- المؤكسدات الحرارية المتتجدة، والتي تكون عملية في الغالب عندما تتجاوز معدلات التدفق الحجمي لتيار عادم العمليات 3000 قدم مكعب معياري في الدقيقة تقريباً؛
- مركبات الزيوليت الدوارة بواسطة المؤكسدات الحرارية الاسترجاعية، التي تستخدم لتركيز تيارات المركبات العضوية المتطرورة المخففة قبل إرسالها إلى جهاز تدمير أو استعادة؛
- الامتزاز بالكربون ذي القاعدة الثابتة بالإنسال بالبخار لاستعادة المركبات العضوية المتطرورة (إما إعادة الاستخدام أو إعادة التدوير خارج الموقع)؛

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

- الامتزاز بالبوليمر على القاعدة الممीعة بتجديد النيتروجين الساخن واستعادة المركبات العضوية المتطرورة 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 المتطرورة. وتناقش الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة التقنيات ذات الصلة لمنع ومكافحة الانبعاث.

معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات

بما أن عمليات تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات تستخدم مجموعة متنوعة من المواد الخام، والكميات 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 المسقبة 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 الخطيرة. 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 العينية والمواد العضوية المهلجة 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 المنطلقة من عمليات الوحدات المختلفة في نظام معالجة المياه المستعملة.

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

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 والفلويات، والسيانيدات، والمواد الصلبة العالقة. ولتقليل كل من استهلاك المياه والأثار المحتملة للتصريف، يجب استعادة مياه السطف لإعادة المياه المعالجة إلى العملية لإعادة استخدامها .

قد تحتوي المياه المستعملة الناتجة من العمليات على مركبات عضوية خاصة بالمذيبات غير المكلورة (مثل المحتوية على البيبرول، 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، والنظير، وإزالة المقاوم؛ المعادن الناتجة من عمليات المعدنة والصلقل الكيميائي الميكانيكي؛ الأحماض والفلويات من محليل التنظيف المستهلكة، عمليات التصنيع مثل التتميش، التنظيف والمعدنة، إلى جانب عمليات أخرى؛ السيانيدات من عملية المعدنة، والمواد الصلبة الجامدة الناتجة من بقايا الأفلام والجزئيات المعدنية (الناشئة عن الليثوغرافية الضوئية، المعدنة، والتجليخ الخلقي، وعمليات التقطيع).

تدوير/استخدام نازعات المقاوم الضوئي، عزل التيار،
 واستعادة المعادن؛

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

- **الطي الكهربائي والطي اللاكهربائي:** يستبدل به الإنتاج الآلي للأواح، الأحواض التي لا تحتوي على السيانيد، إطالة عمر الحوض، إعادة تدوير/استخدام المنظفات ومواد الشطف، تحسين كفاءة الشطف، الشطف بالتيار المعاكس، عزل التيار، واستعادة المعادن.

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.

- التتميش: استخدام الطyi التقاضي، مواد التتميش غير الاختلابية، ومواد التتميش غير المحتوية على الكروم، طyi الأشكال مقابل طyi الأواح، العمليات الإضافية مقابل العمليات المسقطة، إعادة تدوير/استخدام مواد التتميش؛

- لا ينتج عن استعادة المعادن باستخدام الاستخلاص التجديدي بالطرق الإلكترولوبية وتكنولوجيا التبادل الأيوني أي صرف من النفايات السائلة تقريباً للتبارات المعزولة الحاملة للمعادن. ويتم استعادة المعادن الثقيلة على هيئة أواح من المعادن، 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.

تصنيع أواح الدارات المطبوعة

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

- **تصنيع الأواح:** تكنولوجيا التثبيت السطحي بدلاً تكنولوجيا الثقب النافذ المطلي، المادة المشكّلة بالحقن، الطyi المضاف؛

- **التنظيف وتحضير السطح:** استخدام منظفات غير اختلابية، إطالة عمر الحوض، تحسين كفاءة الشطف، التنظيف بالتيار المعاكس، وإعادة تدوير/استخدام المنظفات ومواد الشطف؛

- **طباعة وتقسيع الأشكال:** مقاوم قابل للمعالجة المائية، الطباعة الحريرية بدلاً من الليثوغرافية الضوئية، الطباعة بالحبر النفاث، المقاوم الضوئي الجاف، إعادة

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؛

- يجب استخدام الاستخلاص والتلوية في جميع العمليات التي تشتمل على تلك الركائز، بما في ذلك التقطيع، التجليخ، الصقل، أو التتميش؛

- 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 للأحماس 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. ويجب حماية العمال من التعرض للكيماويات المستخدمة في العمليات الواردة فيما يلي على سبيل المثال لا الحصر: الأحماس، القواعد، المذيبات، مساحيق المعادن،

- التعرض للكيماويات الخطرة الناتجة من العمليات، بما في ذلك المساحيق المعدنية؛
- المخاطر البدنية والتعرض لمخاطر الطاقة (الحركية، الكهربائية، 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(زريخيد) الغاليوم وفوسفید الإنديوم تأثيرات صحية وبدنية أشد خطراً. ويشكل استنشاق الدقائقات أكثر طرق التعرض لأرسينيد الغاليوم وفوسفید الإنديوم شيئاً. ونظرًا للسمية الشديدة لكل من الزرنيخ والإنديوم، وضعت مستويات تعرض مهني منخفضة لتلك المركبات. ويعد فوسفید الإنديوم قابلاً للالتهاب ويمكنه التفاعل مع بخار الماء والأحماس 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 الرابط، وأن تشطف البقايا بعناية. يجب تجنب التجليخ أو التخضين الجاف لأرسينيد الغاليوم؛

⁸ تتضمن القائمة النموذجية ما يلي: الأسيتون، الأمونيا، هيدروكسيد الأمونيوم، الأرسين، ثالث فلورايد البورون، ثاني أكسيد الكربون الكلور، ثلاثي فلورايد الكلور، ثاني البوران، ثاني كلوروسيلان، ثاني السيلان، الفلور، أرسينيد الغاليوم، الجيرمان، حمض الهيدروكلوريك، حمض الهيدروفوريك، الهيدروجين، فوسفید الإنديوم، الميثان، حمض النيترريك، أكسيد النيتروك، فلورايد النيتروجين، أكسيد النيتروز، الأوزون، أوكسبي كلوريدي الفسفر، الفوسفين، حمض الفسفوريك، السيلان، حمض الكربونيك، رباعي فلورو الميثان، ثلاثي كلوروسيلان، أرسينيك ثلاثي الميثيل، وإنديوم ثلاثي الميثيل.

ذلك الطاقة الحركية، والكهربائية، والهوائية، والهيدروليكيّة) 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 للబلازم)، الإشعاع فوق البنفسجي، الإشعاع تحت الأحمر، والضوء المرئي. وتتنج 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 تتصبص أشعة الليزر، متسببة في رفع درجة الحرارة وإحداث تغيير في المادة المعرضة لها.

ويجب منع التعرض لمصادر الإشعاع من خلال استخدام هيكل واقية وأنظمة إقفال بیني 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 بیني، تركيبات ترشيح واقية، وآليات إقفال بیني لأنظمة 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

الحمة 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، أوتوماتيكية، 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 محمولة في الهواء من منطقة العمل و يجب 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 الرفاقات الكبيرة (خاصة الرفاقات 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

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.

تطبق الإرشادات المعنية بابعاث الملوثات على الانبعاثات الناتجة عن العمليات. و تعالج الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة الإرشادات الخاصة بابعاث الملوثات من مصادر الاحتراق المرتبطة بأنشطة توليد الطاقة الحرارية والكهربائية من مصادر لها قدرة تساوي أو تقل عن 50 ميجاواط، أما انباعات 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.

تصنيع أشباه الموصلات والإلكترونيات الأخرى الآثار التي تحدث في غالبية المنشآت الصناعية، وتناولها 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 و 2 الإرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة لذلك القطاع. و تشرح 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. و يجب 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 لتجمیع ومعالجة مياه الصرف الصحي أو، إن

5	ملغم/ ³ م³ عادي	فلوريد الهيدروجين
0.5	ملغم/ ³ عادي	فوسفين
0.5	ملغم/ ³ عادي	الأرسين ومركبات الزرنيخ
30	ملغم/ ³ عادي	أمونيا
150	ملغم/ ³ عادي	أسيتون
ملاحظات:		
١- تتطبق إلى عمليات التنظيف السطحي.		
٢- تشمل ملوثات الهواء الخطيرة الخاصة تحديداً بتلك الصناعة: مركبات الأنتيمون، مركبات الزرنيخ، الأرسين، رابع كلوريد الكربون، كاتيوكول، الكلور، مركبات الكروم، أكريلات الإيثيل، الإيثيل بنزين، علىكول الإيثيلين، حمض الهيدروكلوريك، حمض الهيدروفلوريك، مركبات الرصاص، ميثانول، ميثيل أيزوبوتيل كيتون، كلوريد الميثيلين، مركبات النيكل، البيركلورو إيثيلين، فوسفين، الفوسفور، تولوين، ١،١-ثلاثي كلورو الإيثان، ثلاثي كلورو والإيثيلين (مزال على مراحل)، الزايلين، لا تستخدم ممارسات الصناعة الحالية الإيثيل بنزين، التولوين، الزايلين، كلوريد الميثيلين، رابع كلوريد الكربون، مركبات الكروم، والبيركلورو إيثيلين، ١،١-ثلاثي كلورو الإيثان، أو ثلاثي كلورو الإيثيلين.		
٣- 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 1 - مستويات النفايات السائلة		
الملوثات	الوحدة	القيمة الإرشادية
الأس الهيدروجيني	—	9-6
الحاجة الكيميائية للأكسجين	ملغم/ لتر	160
حاجة حيوية كيميائية للأكسجين ^٥	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 (أجمالي)	ملغم/ لتر	1
السيانيد (الحر)	ملغم/ لتر	0.1
الهالوجينات الممتزة المرتبطة بالمواد العضوية	ملغم/ لتر	0.5
زنريخ	ملغم/ لتر	0.1
كروم (سداسي التكافؤ)	ملغم/ لتر	0.1
كروم (أجمالي)	ملغم/ لتر	0.5
كالميوم	ملغم/ لتر	0.1
نحاس	ملغم/ لتر	0.5
رصاص	ملغم/ لتر	0.1
الزنبق	ملغم/ لتر	0.01
نيكل	ملغم/ لتر	0.5
قصدير	ملغم/ لتر	2
الفضة	ملغم/ لتر	0.1
سيليسيوم	ملغم/ لتر	1
زنك	ملغم/ لتر	2
زيادة درجة الحرارة °مئوية ^٦		٣>

(٤) 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 ^٧		
الملوثات	الوحدة	القيمة الإرشادية
المركبات العضوية المتطرفة ^٨	ملغم/ ³ م³ عادي	20
ملوثات الهواء العضوية الخطيرة ^٩	جزء في المليون من حيث الحجم	20
ملوثات الهواء الخطيرة غير العضوية ^{١٠}	جزء في المليون من حيث الحجم	0.42
كلوريد الهيدروجين	ملغم/ ³ م³ عادي	10

نحو سليم. كما ينبغي تحليل بيانات الرصد ومراجعةها على فترات منتظمة ومقارنتها بالمعايير التشغيلية حتى يتسعى 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 المنصورة دولياً، والتي تشمل على سبيل المثال، قيمة الحد الأقصى المقبول للتعرض (TLV®) وإرشادات التعرض المهني ومؤشرات التعرض البيولوجي (BEIs®) المنصورة من قبل المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين (ACGIH)⁹ ، ودليل الجيب للمخاطر الكيميائية المنصورة من قبل المعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية (NIOSH)¹⁰ ، وحدود التعرض المسموح بها (PELs)¹¹ المنصورة من قبل الإدارة الأمريكية للصحة والسلامة المهنية (OSHA)¹² ، والقيم الإرشادية لحدود التعرض المهني المنصورة من قبل الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي¹³ ، أو ما يشابهها من مصادر.

الجدول 3 - استهلاك المياه والطاقة وتوليد النفايات		
معيار الصناعة الإرشادي	الوحدة	المدخلات حسب وحدة المنتج
42	لتر/إمرأة رقات 300-مم	مياه استهلاك النضد الرطب من المياه فانقة النقاء
-4 000 8 000	لتر/راقفة 200-مم	استهلاك المياه فانقة النقاء
10-8	لتر/سم ²	صافي استهلاك مياه التغذية
6-4	لتر/سم ²	استهلاك المسابك من المياه فانقة النقاء
0.4-0.3 0.6-0.5	كيلووات ساعة/سم ² لكل رقاقة منتجة	الطاقة أدوات المسابك الإجمالية اجمالي أنظمة دعم المسابك
معيار الصناعة الإرشادي	الوحدة	الإنتاج لكل وحدة منتج
80	%	النفايات إعادة تدوير وإعادة استخدام النفايات السائلة الخطيرة
85	%	إعادة تدوير واستخدام النفايات الصلبة

ملاحظات:
 يجب أن يسعى مصنفو 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 العادلة وفي الظروف المضطربة. ويجب أن تستند أنشطة الرصد البيئي إلى المؤشرات المباشرة وغير المباشرة المطبقة على مشروع بعينه للانبعاثات والنفايات السائلة واستخدام الموارد.

وبينبغي 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 تجاري معايرتها وصيانتها على

⁹ متاح على الموقع التالي: <http://www.acgih.org/TLV/> والموقع [/http://www.acgih.org/store/](http://www.acgih.org/store/)

¹⁰ متاح على الموقع التالي: [/http://www.cdc.gov/niosh/npg](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](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 المنشآة 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/>

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 الممثلون.

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-nrgip.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

الاتصالات (على سبيل المثال، الهواتف الخلوية تستخدم شرائح أرسينيد الغاليوم كمولود ذبذبات موجات ميكروويف).

ويشمل تصنيع أشباه الموصلات سلسلتين أساسيتين من العمليات: تصنيع رفاقات أشباه الموصلات وتجميدها، وتغليفها، واختبارها، وتشمل تجميع الرفاقات في دوائر متكاملة قابلة للاستخدام.

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

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

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

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

تصنيع أشباه الموصلات

يستخدم في تصنيع أشباه الموصلات، السليكون، وكربيد السليكون، وأرسينيد الغاليوم، والمعادن، والكيمياويات، والمياه، والطاقة. وينبغي أن تكون جميع المواد على أعلى درجة من النقاء، ومن ثم تعد أنظمة الغازات المتخصصة، وأنظمة تداول الكيمياويات 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 التمييش 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 قدرًا 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 تجري طبقة بعد أخرى على مادة بلورية صلبة، وهي السليكون بالدرجة الأولى، ومؤخرًا على كربيد السليكون. كما يستخدم أرسينيد الغاليوم في العديد من التطبيقات العسكرية والتجارية، بما في ذلك أجهزة الليزر، الصمامات الثنائية المشعة للضوء، وأجهزة

الأكسيد أو البولي أميد على سطح الرقاقة عن طريق الكبت السلبي لتكون عازل واقٍ 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 (قطيع) وتوضع عليها العلامات. وبعد الاختبار الكهربائي، 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

تضمن تكنولوجيا النانو إنشاء هياكل وظيفية على نطاق ذري أو جزيئي، بخاصية واحدة على الأقل تفاس بالنانومتر. يتيح تخير بعض مساحيق الأكسيد المعدنية (Ga_2O_3 , ZnO , SnO_2 ، إلى غير ذلك) في درجة حرارة عالية تصنيع سيور وأسلاك تفاس بالنانو، من نفس الأكسيد 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. تتبع الأدوات المستخدمة في إنتاج الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة، وتختص بخصائص كهربائية محددة، وكذلك خصائص ميكانيكية

التنميش الطلق أو الجاف: تستخدم المعالجة الطلق للأحماس، أو القواعد، أو المحاليل الكاوية؛ بينما تستخدم المعالجة الجافة، التي تدعى كذلك التنميش بالبلازما، غازاً مؤيناً متفاعلاً وتتوفر دقة أعلى وتولد نفاثات أقل. وأخيراً يتم إزالة مقاوم الضوء الفائض باستخدام مادة مذيبة أو عن طريق الإزالة بالبلازما. من خلال تكرار الخطوات (حتى 25 إلى 30 مرة) ابتداءً 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 لнейترون السليكون - وهي عملية جافة - في تكنولوجيا أشباه الموصلات المصنوعة من أكسيد المعدن أن يسمح الاستبدال بالعملية الطلق بحمض الفوسفوريك الأcalar الساخن (H_3PO_4)، ويوفر خفضاً في النفايات المولدة، وتحسين سلامة العمال، وفي الوقت نفسه تقليل عدد خطوات التصنيع.

وللتغيير قابلة توصيل مناطق السليكون، يتم وضع مطعمات عن طريق الانتشار أو الغرس الأيوني. ويمكن أن يكون الانتشار غازياً أو غير غازي، ويجري في بيئة مرتفعة درجة الحرارة. بينما يتتألف الغرس الأيوني من رشق المناطق المكشفة من السليكون بأيونات معجلة. ويتم الرابط البيني الانتقائي بين مختلف مناطق طبقات الرقاقة عن طريق المعدنة (التغشية بالمعدن): حيث يتم ترسيب مادة عازلة كهربائياً وتشكيلها في عملية التقصيب؛ ثم تملأ المعلم بسبائك الألومنيوم تحت التفريغ أو بالنحاس عن طريق الطلي الكهربائي أو الترسيب الكهروميكانيكي. 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

الألواح من التنظيف، والترقيق، وحرق التقوب؛ ويلزم إجراء تنظيف كيميائي وميكانيكي قبل الطلي اللاكتوري. تسمح خطوة التصوير بنقل أشكال الدائرة إلى اللوح من خلال عملية الليثوغرافية الضوئية أو الطباعة الحريرية؛ يستخدم الطلي الكهربائي (النحاس عادة) لزيادة ثخانة الطبقات الموصولة وحمايتها من الحت أو التأكل. 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، سبيكة 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

ت تكون ألواح الدارات المطبوعة بصورة أساسية من قاعدة من راتنج إيبوكسي مضغوطة، تقولون، ألياف زجاجية،TM أو خزف، يثبت عليها أشباه موصلات (السليلكون، كربيد السليلكون، أو أرسينيد الغاليوم) ومكونات سلبية. ويتم توصيل مكونات كهربائية 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 مستندة للأوزون لتنظيف تجمعيات 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

وحرارية أو كيميائية مختارة. كما يستخدم السليلكون في الأغلب.

وتتطوّي التكنولوجيا الأكثر شيوعاً في إنتاج الأنظمة الكهروميكانيكية الميكروية على ترسيب وتشكيل طبقة من أكسيد السليلكون، يتبعها ترسيب وتشكيل طبقة من البوليسليلكون، وإزالة طبقة الأكسيد، مما يتيح لطبقة البوليسليلكون التحرك ككاوبولي، وتم عادة في أخلاط من حمض الهيدروفلوريك.

وتعد عمليات القطع والفصل عمليات حرجة، نظراً لأن الأجزاء المتحركة في الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة تتسم بالهشاشة وشدة التأثير. ويتوقف اختبار الجهاز على التطبيق المستخدم فيه، وبعد تجميع أجهزة الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة كثير الاحتياجات بصفة عامة نظراً لهشاشتها وشدة تأثيرها. 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 تجميع ألواح الدارات المطبوعة بالتميّش وطلي أشكال الدوائر على مواد قاعدية، تكون 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

استخدام الفريون 113 (كلوروفلوروكربون - 113) وثلاثي كلورو الإيثان، اللذين كانا يستخدمان سابقاً. وقد ثبت في الصناعة أنه يمكن تصنيع تجميعات متطرفة من الواح 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 ابتعاثية وغير ابتعاثية. ولعل من أشهر شاشات العرض المسطحة شاشات العرض البلوري السائل، التي يتم التحكم في ترتيب البلور السائل فيها من خلال المجال الكهربائي. ويتوقف ما يشاهده المشاهد على الترتيب الجزيئي للبلور السائل. ويتم صف مرشح لوني وشريحة ترانزistor رقيقة ولاحماها معًا، مع إبقاء مسافة بينهما؛ ثم تحقن البلورات السائلة وتلحم لحاماً نهائياً. وأخيراً، يتم تجميع المستقطب، الغلاف الحامل للشريط الإلكترونيات، الإضاءة الخلفية، والشاشة.

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 إينارية يتم ترسيبها بواسطة التبخير الحراري. تستخدم شاشات العرض البوليمرية المشعة للضوء بوليمرات مواد إينارية ترسب عادة بالطباعة النفاثة للحبر أو التغشية باللف. وتحسين أدائها يضاف شريحة ترانزistor رقيقة. تتميز شاشات العرض العضوية المشعة للضوء بيسير عملية إنتاجها، والكافأة الضوئية العالية، والمحرك منخفض الجهد، إلا أن عمرها قصير.

تصنيع المكونات السلبية

من التكنولوجيات الرئيسية لإنتاج المكونات السلبية ضغط وأو تبديد المساحيق - الألومينا (Al_2O_3)، نيتريد الألومنيوم (AlN)، وما إلى ذلك للحصول على خزف يتميز بخصائص عازلة، أو موصلة، أو كهربائية. يعد إنتاج الركائز الخزفية العازلة (AlN , Al_2O_3) أكثر المنتجات المصنعة شيوعاً للدواير الدقيقة المتكاملة.

وبالنسبة للركائز عالية القدرة يستخدم CuSiC أو AlSiC 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 الكهربائية الأساسية 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 المعلومات، 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 ألفـ.I: منظر تخطيطي

