الفصل السادس

تكنولوجيا الأفلام السميكة[١]

٦ – ١ التقنية النموذجية لإنتاج الأفلام السميكة

تستخدم تكنولوجيا الأفلام السميكة لإنتاج االعناصر الإلكترونية مثل العناصر السطحية، والدوائر المتكاملة المهجنة كما تستخدم على نطاق واسع لإنتاج عناصر الإستشعار فى صناعة السيارات، مثل مزج الوقود/الهواء، ضغط الزيت، عناصر التحكم فى المحرك وعلبة التروس، فتح الوسائد الهوائية وتشغيلها وغالبا عندما يتطلب موثوقية عالية ، مثل تمديد نطاق درجة الحرارة على طول الدورات الحرارية ٠تصنيع مثل هذه الأجهزة هى عمليات مضافة تنطوي على ترسيب عدة طبقات متعاقبة من المواد الموصلة والمقاومات والطبقات العازلة على ركيزة عازلة كهربائياً بإستخدام تقنية شبكة نقل [٢]٠

تستخدم الأفلام السميكة مواد سيراميك، عادة ٩٦% ألومينا، أو نتريد الألومنيوم ، كركيزة أساسية التي يتم تكوين الدوائر عليها بنمط قابل لإضافة طبقة بطبقة، بإستخدام الطباعة المتعاقبة من خلال تقنية شبكات حريرية٠ بترسيب الأفلام الموصلة والمقاومة والعازلة بشكل إنتقائي ويتراوح سمكها بين ٥ إلى ٢٠ ميكرومتر في طباعة المرة الواحدة وفقا لنوع المعجون المستخدم ٠ إذا كان هناك ضرورة لأفلام أكثر سمكا يمكن إستخدام أما معاجين خاصة أو تكرار عملية الطباعة عدة مرات٠ يتم تجفيف الأفلام وتحميصها عند درجات حرارة أعلى من ٥٠٠ درجة مئوية٠ تصنع معاجين وأحبار الفيلم السميك من المواد العازلة ، الزجاج الفوقى[٣] ، وربط التكوينات متعددة الطبقات من الموصلات والمكثفات والمقاومات والوصلات العابرة٠ يحدد سمك الفيلم السميك النموذجى من ١٢– ١٥ميكرون٠

---

[١] مصدر المراجع لمعظم محتويات هذا الفصل من (Wikipedia, the free encyclopedia)

[٢] طباعة الشاشة هى تقنية طباعة حيث يستخدم شبكة لنقل الحبر على الركازة، ما عدا في المناطق الغير مسموح بها

[٣] عادة ما يطلق على سطح (on–glaze) أملس ويشير إلى: الطبقة الخارجية أو معطف الصقيل (coat of glaze) على قطعة من الخزف.

(الشكل ٦-١)

٦ – ٢ الركائز

يتم تصنيع دوائر الأفلام السميكة علي ركيزة من أحد الركائز الأساسية من مواد الومينا السيراميك (ألفا)[٤] – ثالث أكسيد الألومنيوم (ألومينا) – نتريد الألمنيوم – أكسيد البيرليوم – ركائز معدنية مغطاة بطبقة عازلة٠ الركائز الأكثر إستخداماً هي الألومينا والسيراميك بنسبة من ٩٤–٩٦% ٠ ألومينا هى أنسب الركائز للأفلام السميكة؛ حيث أنها تتميز بإلتصاق الطبقات المحمصة عليها٠ لتحسين إلتصاق حبر الشبكة (أو المعجون) فيجب أن يكون سطح الركيزة خام خشن٠ خشونة السطح توصف 'بالمتوسط الحسابي' (أإ)[٥] أو 'خط الوسط المتوسط' وهو حوالي ٠.٥ ميكرومتر٠ ركيزة الومينا السيراميك هى نمط لركيزة الفيلم المطبوع وهى مقاومة كيميائيا ومقاومة لدرجات الحرارة العالية وهى عازل كهربائي كما هى أيضا موصل حراري٠

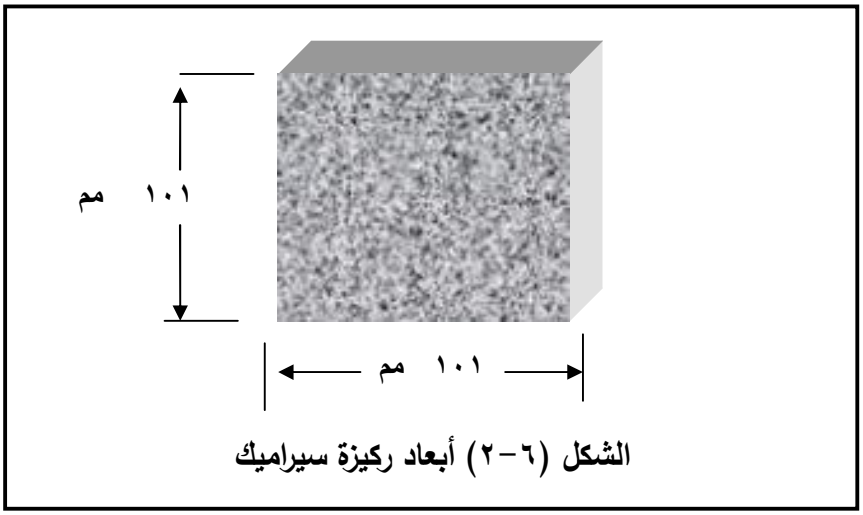
- طباعة الركائز

مساحة الركيزة الخارجية ٢٠٠ x ٢٠٠ ملم كحد أقصى ويتراوح سمكها من ١و٠ الى ١ ملم (الشكل ٦–٢)٠ يمكن طباعة الأفلام السميكة الموصلة والعازلة أو أفلام المقاومات على وجه واحد أو كلا وجهى الركيزة٠ يمكن توصيل الأنماط الموجودة على كلا الوجهين من خلال حفر ثقوب معدنية بين وجهى الركيزة وعادة فإن حجم الثقوب يتراوح بين ١٥و٠–٢و٠ مم٠ أو حول الإلتفافات من على السطح العلوي والسفلي لتطبيقات الترددات العالية أو لمتطلبات الترتيب الحراري٠ ويمكن طباعة أكثر من مستوى على كل من جانبى الركيزة (أحادي الوجه أو الوجهين لتكوين طبقات متعددة للفيلم)٠

---

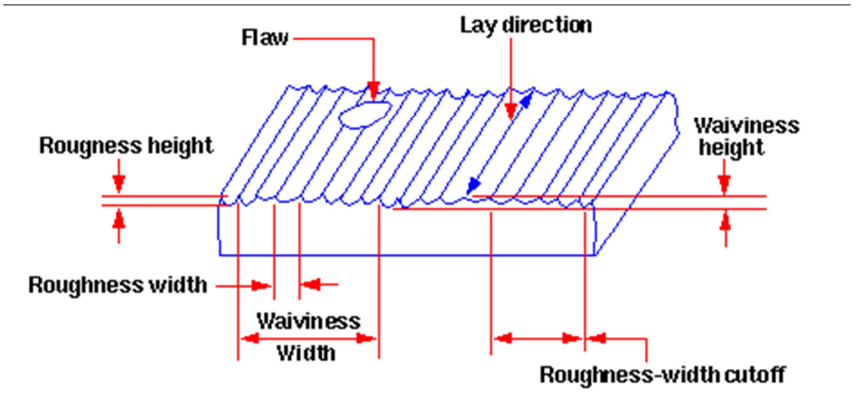
[٤] (Alpha) مسحوق أكسيد الألومنيوم – ميزات المنتجات: (α–phase ultrafine Al2O3) ، مرحلة الاستقرار ، صلابة عالية ، المواد بارتفاع ثبات الأبعاد ، تستخدم على نطاق واسع في مجموعة متنوعة من منتجات البلاستيك، المطاط، السيراميك، ومواد مقاومة للحرارة بدقة٠

[٥] المتوسط الحسابي (AA) : تقريب دقيق للخشونة– ويمكن حساب المتوسط الحسابى لإرتفاعات الخشونة على السطح من مخطط سطح العينة



الشكل (٦-٢) أبعاد ركيزة سيراميك

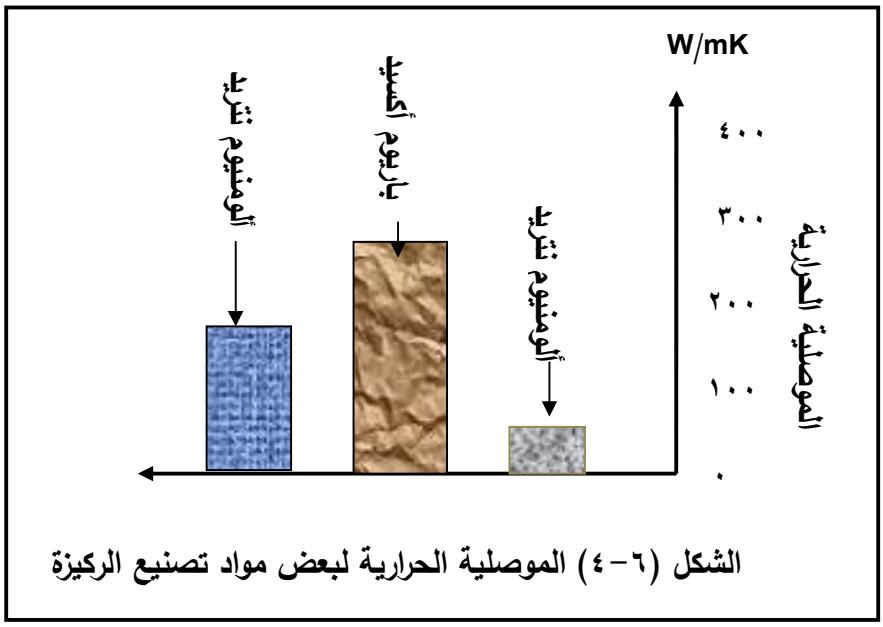
يصعب التعامل مع ركيزة الومينا السيراميك بمعدات ميكانيكية ولذلك يعتبر الليزر الطريقة الأكثر فعالية للتعامل معها. تقنية الأفلام السميكة هى أيضا عملية تصغير حيث تحتوى الركيزة على العديد من الوحدات (الدوائر النهائية)، يتشكل النمط في عملية قابلة للإضافة ، طبقة بطبقة ، بإستخدام الطباعة المتعاقبة من خلال تقنية شبكات حريرية[٦]. فمن الممكن بإستخدام الليزر قطع ونمذجة وحفر الثقوب.



(الشكل ٦-٣) إستقامة وخشونة سطح الركيزة

[٦] طباعة الشاشة هى تقنية طباعة حيث يتم استخدام شبكة لنقل الحبر على الركازة، ما عدا في المناطق المحظور للتعرض للحبر

إستقامة سطح الركيزة (الشكل ٦-٣) عنصر هام حيث يعوق إستمرار الفصل بين الشاشة والركيزة. سمك الطبقة المطبوعة على طول السطح مختلف بسبب إختلاف فصل العناصر. وتنشأ المشكلة الثانية الناجمة عن حدبات الركيزة فى آلية تشميع الطبقة السميكة للدائرة. عملية التشميع تتسبب فى تسوية منحنيات الركيزة ، مما يتسبب فى إجهاد الأحبار المطبوعة المحمصة حيث تنتج الشقوق في الطبقة المحمصة فتتدهور معاملات الدائرة. يوضح (الشكل ٦-٤) الموصلية الحرارية والتى تمثل أهم معامل عند التصميم حيث يتطلب التصميم المتكرر تبديد الحرارة القصوى من عناصر دائرة الفيلم السميك.



الشكل (٦-٤) الموصلية الحرارية لبعض مواد تصنيع الركيزة

ورغم أن الموصلية الحرارية لمادة أكسيد الباريوم تساوى ١٢ ضعف أعلى من مادة الألومينا فيتم إستخدام الباريومات كمادة ركيزة في حالات خاصة، بسبب تضاعف تكلفة الإنتاج مقارنة بركائز الألومينا. الموصلية الحرارية للركائز المصنعة من مادة نتريد الألومنيوم تقريبا مثل مواد الباريومات ولكن تكاليف إنتاج الركائز من مادة نتريد الألومنيوم أقل من الركائز المصنعة من مادة أكسيد الباريوم . فى تقنية إزالة الطبقات أو التقطيع

بالليزر[٧] تتسبب فى إزالة ٣٠- ٥٠% من سطح مادة الركيزة مما يضعفها ، بعد الإنتهاء من كل العمليات لإستكمال تكوين دائرة الفيلم السميك يتم تقسيم الركيزة الى وحدات منفصلة. إستخدام الليزر قبل معالجة الركائز له ميزة تكلفة أقل ويمكن إستخدام منشار من الماس بعد المعالجة.

٦ – ٣ تجهيز الأحبار

تجهز الأحبار لكل المكونات المطلوب ترسيبها بخلط المعدن أو بودرة السيراميك فى بوتقة لعمل المعجون المطلوب لكل من مكونات الدائرة . لتحقيق أحبار متجانسة يمكن تمرير خليط مكونات الأحبار من خلال مطاحن دوارة ، وبدلاً من ذلك، يمكن إستخدام أحبار جاهزة الصنع من إحدى الشركات التي تقدم متطلبات الأفلام السميكة.

- **معاجين الأحبار**

المعاجين المستخدمة في تكنولوجيا الأفلام السميكة هي المعاجين الغروية[٨] ولها ثلاثة مكونات رئيسية:

١. مسحوق المرحلة الوظيفية: تستخدم مساحيق المعادن أو الأكاسيد لتصنيع الموصلات والمقاومات ويستخدم مسحوق تيتانات باريوم لتصنيع المكونات العازلة عالية معامل العزل الثابت ، وتستخدم مساحيق الزجاج أو السيراميك الزجاجي لتصنيع المكونات العازلة منخفضة معامل العزل الثابت والتى تستخدم لترسيب خطوط النقل أو النظم متعددة الطبقات .

---

[٧] إستخدام تقنيات الليزر للتشكيل واتقتطيع ،على سبيل المثال لتصنيف نقاط افاصلة بين أشباه الموصلات والسيراميك. اعتماداً على المواد، ويمكن تحقيق سرعة الخدش من عدة أمتار كحد الأقصى في الثانية الواحدة. . وجد فى تطبيقات الصور الضوئية، والإلكترونيات وصناعات التعبئة والتغليف. للتعبئة والتغليف، أمكن تحقيق ضعف انتقائي لطبقات فردية للأفلام المغلفة بتقنية الخدش الليزر بالليزر بتقنية ليزر ثان أكسيد الكربون (scribing with CO_2 lasers). وهذا هو الأساس للتحكم لمعالم الإسالة وسهولة الفتحات .

[٨] مركب الغروانية فى الكيمياء عبارة عن مادة أحدها متناثرة الجزيئات المجهرية الغير قابلة للذوبان مختلطة في كل مادة أخرى. في بعض الأحيان فإن المادة المشتتة وحدها تسمى كولوي (colloi)

٢. المكونات الزجاجية الغير موصلة: وهى نوع من أنواع الزجاج وعادة يستخدم البزموت البورسليكات أو الأكاسيد مثل أكسيد النحاس أو ثالث أكسيد الباريوم٠ ترتبط جزيئات المادة مع الركيزة ؛ أثناء عمليات تحميص الطبقات يصبح أكثر كثافة٠

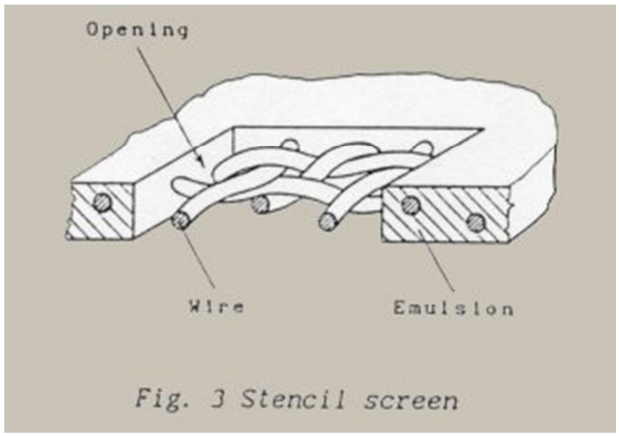
٣. نظم عضوية لها خصائص الطباعة المطلوبة؛ وتتألف من الصمغ، والمذيبات، لها درجات حرارة متقلبة وتختفى أو تبتعد أثناء عملية التجفيف أو في مرحلة التحميص٠ الأنواع الرئيسية للمعاجين المستخدمة لإعداد خطوط الموصلات ، وتركيب منصات والمنصات الخارجية وهي تتكون من المعادن النبيلة٠ المكونات الرئيسية لها من الفضة أو الذهب مع إضافات من البلاديوم و/أو البلاتين ٠ التراكيب الأكثر إستخداماً هي (فضة – الأديوم & فضة – الأديوم – بلاتين) كما يتم إستخدام الذهب الخالص إذا زادت موثوقية الطلب٠ ولتقليل التكلفة يستخدم بديل أحبار المعادن النبيلة بالنحاس أو النيكل بشرط أن يتم تحميصها في جو محايد (عادة في النيتروجين عالي النقاء) لتجنب أكسدة الجزيئات غير المعدنية الخاملة٠

٦ – ٤ الخطوات التكنولوجية لإعداد الطبقات:(طباعة الشاشة– الآلية – التجفيف التحميص)

- طباعة الشاشة

هي عملية ترسيب الحبر من خلال شبكة منسوجة منقوشة فوتوغرافيا أو الإستنسل بإستخدام ممسحة لتسوية السطح (الشكل ٦–٥)٠ خلال طباعة الشاشة يحدد الإستنسل نمط الطبقات٠ تصنع الشاشة[٩] من شبكة منسوجة مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ أو البلاستيك٠ شاشة إستنسل (أو الإستنسل) هى شاشة مع البلاستيك بطلاء من الجيلاتين (يسمى المستحلب) الذى يملأ الفتحات التى لا لزوم لها فى الشاشة (الشكل ٦–٦) ٠

[٩] تتميز مواد الشاشة بقطر حلزونى القلاووظ وعدد الفتحات (mesh count) ٠ مصطلح الفتحة (mesh) يشير إلى الفتحات والأجزاء الكسرية من عملية الفتح فى كل بوصة ، يبدأ العد من مركز أي سلك إلى نقطة تبعد بوصة واحد بالضبط٠ ولذلك عدد الفتحات هو عدد المساحات المفتوحة في البوصة مباشرة ٠ غالبا من ٨٠ الى ٤٠٠ فتحة فى الشاشات المستخدمة في تكنولوجيا الأفلام السميكة.



الشكل (٦-٥) شاشة الإستنسل

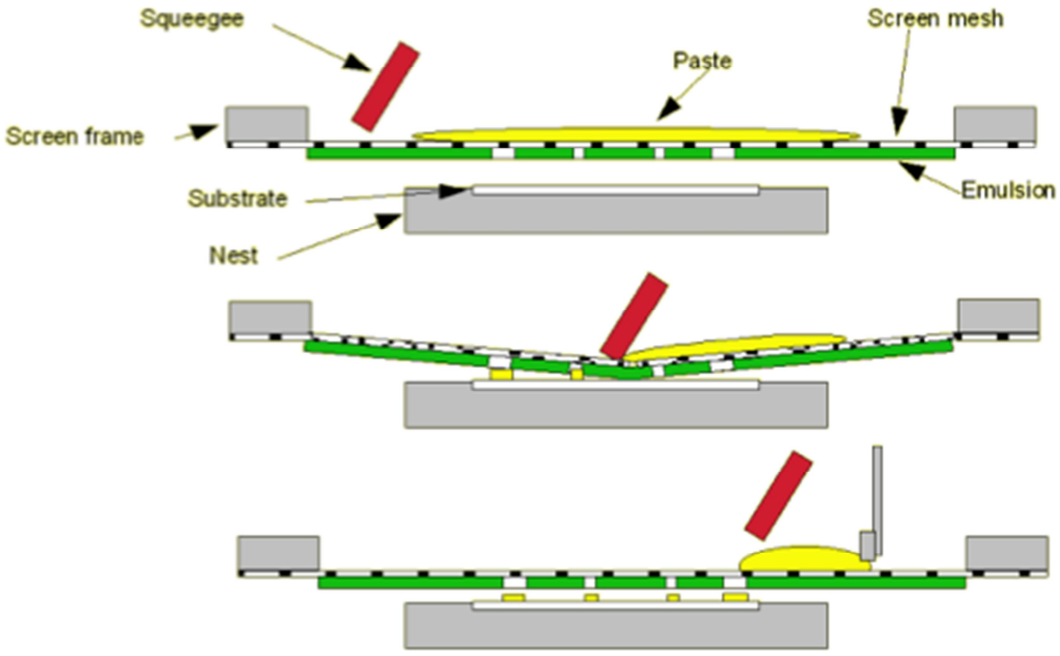


Fig 1. The basic screen print process.

الشكل (٦ -٦) ديناميكية طباعة الشاشة

الإستنسل (أو القناع) يمتد على كل الشاشة المصنوعة غالبا من الألومنيوم٠ تطبع أحبار الموصلات بإستخدام فتحات الشاشة من ٢٠٠- ٣٢٥ فتحة وتجهز المقاومات بشاشة مثقبة ١٠٠-١٦٠ فتحة وتستخدم شاشات مثقبة ٨٠ فتحة لأحبار اللحام٠ لا يسمح

للأحبار بالتدفق من خلال الشاشة حتى تستشعر ضغط الممسحة. ترسب الأحبار على الركيزة كلما تتحرك الممسحة عبر الركيزة أكثر من مرة على الشاشة لتأمين النمط من عدم التلطيخ. عملية الطباعة على الشاشة على النحو التالى: يمتد إطار الشاشة خارج القناع – تضغط الحافة الحادة من ممسحة القناع إلى الركيزة – تتحرك الممسحة عبر القناع – تدفع المعجون عن طريق الفتحات على الركيزة (الشكل ٦–٨) – سمك الطبقة المطبوعة تحكمه أساسا عدد لفات سن وقطر القلاووظ وسمك الطبقة الحساسة[١٠]

الشكل (٦–٧) التحديد السليم للفات سن القلاووظ واحدة من العديد من مفاتيح طباعة الصحيحة

إلى جانب الخصائص الإنسيابية للحبر (أهمها اللزوجة) تأثر المعاملات التكنولوجية التالية على إستنساخ الإنتاج:

١. المسافة بين الشاشة والركيزة (٠.٣٥ – ١ مم) ويجب أن تكون متوازية

٢. ضغط خط الممسحة (حوالى ٢ نيوتن/سم)، المواد وزاوية سلاح الممسحة (عادة ٤٥°)

---

[١٠] عدد فتحات الشاشة هو عامل هام في تحديد كمية الحبر للترسيب فضلا عن مقدار التفاصيل فى الشاشة. ويقاس حجم فتحات الشبكة بعدد المواضع لكل بوصة مربعة. على سبيل المثال الشبكة المشتملة على ٨٦ فتحة لها ٨٦ موضع فى البوصة المربعة. كلما زاد عدد الفتحات تزداد الثقوب الدقيقة في الشاشة يسمح للتفاصيل الدقيقة ولكن أيضا تقلل مقدار الحبر الممكن ترسيبة. حجم الشبكة يحدد كمية الأحبار المستخدمة.

٣. سرعة الممسحة – سرعة الطباعة – (٥ – ٢٠ سم/ث)،

٤. مرونة الشاشة (تعتمد على الحجم والتوتر).

تستخدم فى عملية الطباعة على الشاشة معدات شبه آلية أو آلية من خلالها يمكن التحكم فى كل المعاملات التكنولوجية المذكورة أعلاه والقابلة للتعديل. العائد من هذه الطابعات تصل إلى بعض آلاف الدوائر كل ساعة. يحتفظ الترسيب بنمط الشبكة لفترات قصيرة مختلفة ضرورية لتسوية الفيلم أو تذبذبه قبل أن تتم عملية التجفيف الفعلية التى تتراوح من ٨–٣٠ دقيقة في درجة حرارة الغرفة ، تبعاً للزوجة الحبر.

- التسوية والتجفيف

بعد الوقت المسموح به بعد الطباعة تتم تسوية الحبر، تجفف كل طبقة من الحبر الذي تم ترسيبه في درجة حرارة من ١٠٠ الى ١٥٠ درجة مئوية، خلال ١٥ الى ٣٠ دقيقة. تتمثل المهمة الرئيسية لخطوة التجفيف فى تبخير المكونات السائلة وتثبيت الطبقة مؤقتاً في وضعها على الركيزة بحيث يمكن التعامل معها قبل المعالجة النهائية. أحبار البوليمرات وبعض معاجين اللحام تتطلب درجات حرارة أعلى وقد تكون الخطوة النهائية المطلوبة. بعض الأحبار أيضا تطلب تسويتها وتجفيفها بالتعرض للأشعة فوق البنفسجية.

- التحميص

يتبع خطوة التجفيف العملية الرئيسية لتكنولوجيا الفيلم السميك بوضعها فى فرن التحميص. تتطلب الموصلات المعدنية (الفضة والذهب والبلديوم)، وأحبار الزجاج والخزف درجة حرارة مرتفعة (عادة ٨٥٠ درجة مئوية كحد أدنى لمدة ١٠ دقائق) لصهر الطبقات وتثبيتها في وضعها بشكل دائم على الركيزة السيراميك وتحميصها . المعالم الأساسية لعملية التحميص تتلخص فى التشكيل الجانبي للفرن (نمط درجة الحرارة مع زمن التحميص) والجو التطبيقي في الفرن. يتكون الفرن المستخدم في عملية التحميص من أربعة أو ستة أنفاق . به حزام معدني دوار يتحرك بسرعة ثابتة عليه شاشة الطباعة السابق تجفيفها من خلال منطقة التحميص التي حددت بدقة توزيع درجة الحرارة. لضبط العلاقة بين الزمن –

درجة الحرارة المثلى لمرحلة التحميص يجب أن يشتمل الفرن على أربع الى ست مناطق تدفئة بشكل مستقل ٠

الشكل (٦-٨) المعالم الأساسية لعملية التحميص

التشكيل الجانبي للفرن موضح في الشكل (٦ – ٨) يتكون من ثلاث مراحل مختلفة، وهى مرحلة قبل التسخين ، التحميص ، التبريد ٠ تحترق الروابط العضوية والمذيبات بالفيلم في المرحلة الأولى من التحميص٠ أثناء المرحلة الثانية يحدث تلبد لمكونات الزجاج الغروية وربط الفيلم إلى الركيزة وحماية المكونات والذى يسمى المرحلة النشطة٠ في هذه المرحلة تتم العمليات الفيزيائية والكيميائية؛ مثل الأكسدة أو الإختزال وإعادة التبلور؛ وذلك بهدف تثبيت الخصائص المطلوبة لمرحلة التحميص٠ المرحلة الثالثة من التحميص هى التبريد بالتحكم فى درجة حرارة الفرن ٠ رغم أن خصائص الفرن لا تعتمد على المواد المستخدمة ، يمكن أن تكون هناك بعض الإعتبارات العامة الضرورية المستقلة والتى لا تعتمد على إختيار أنواع المواد الفعلية٠ تتطلب المعاجين المستخدمة في تكنولوجيا الفيلم السميك درجة الحرارة تتراوح بين ٦٠٠ -١٠٠٠ درجة مئوية خلال ٥ -١٥ دقيقة ٠ يجب أن تبقى دقة درجة الحرارة القصوى فى نطاق ± درجة واحدة الى درجتين مئوية٠ تتطلب معاجة المواد أثناء التحميص وجود الأكسوجين الكافي في جو الفرن٠ قد يحترق الفيلم فى منطقة درجة الحرارة القصوى للتحميص ويتسبب فى مشاكل تكنولوجية خطيرة٠

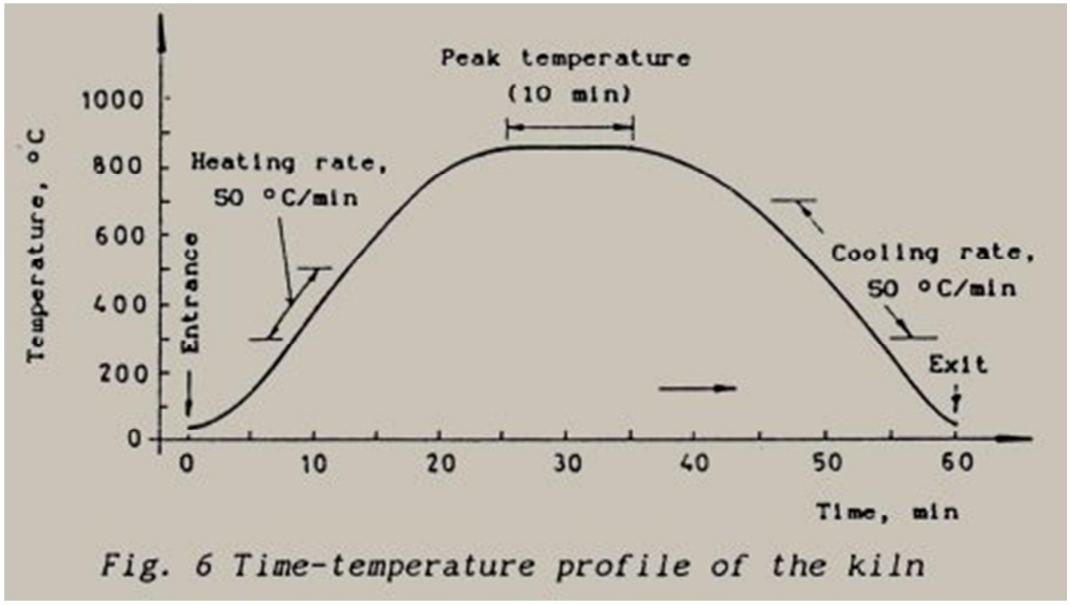


Fig. 6 Time-temperature profile of the kiln

الشكل (٦-٩) العلاقه بين الزمن ودرجة الحرارة فى الفرن

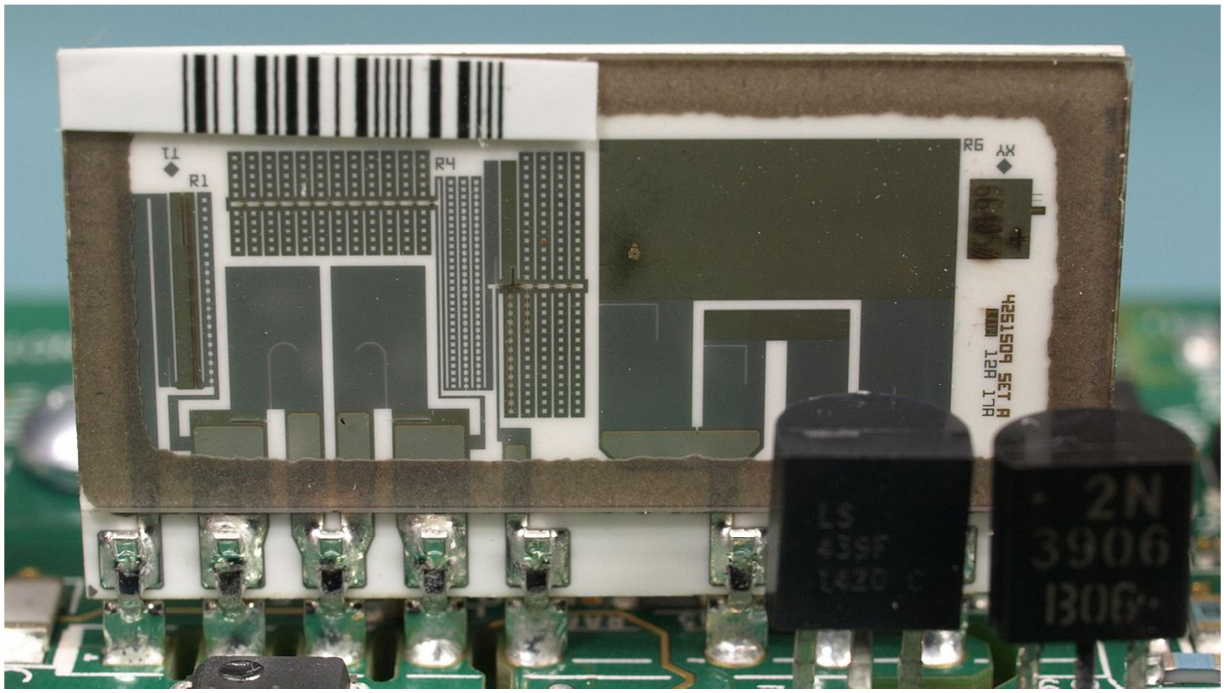
لتجنب هذه الحالة يمكن تمرير غاز أثناء حركة السير الدوار أو بتمرير تيار "هواء"٠ كما يجب أن تبقى درجة الحرارة منخفضة في مرحلة التبريد لتجنب حدوث شقوق في الفيلم٠ معدل التبريد المعتاد ٥٠-١٠٠ درجة مئوية/دقيقة٠

٦ – ٥ تقليم المقاومات[١١]

بعد التحميص، يتم إقتطاع جزء من مقاومات الركيزة (التى تم عمدا تصميمها بقيمة تقل ٢٥%) من قيمتها المطلوبة وتسمى هذه العملية التقليم بالليزر[١١] ٠ يستخدم شعاع الليزر لتبخير وإزالة المواد من المقاومة لزيادة قيمتها٠ خلال عملية التشذيب بالليزر يتم إزالة ١% من قيمة المقاومة فى المرة الواحدة ثم تتكرر للحصول على القيمة النموذجية المطلوبة الشكل (٦ -١٠) وذلك بإستخدام ماكينة التقليم بالليزر٠ حيث أن العديد من شرائح

[١١] التشذيب هو عملية التصنيع لضبط معاملات التشغيل لدائرة إلكترونية٠ أحد التطبيقات الأكثر شيوعاً التى تستخدم لحرق أجزاء صغيرة من المقاومات، تتسبب فى رفع قيمة هذه المقاومة

المقاومات يتم تصنيعها على ركيزة كبيرة المساحة في وقت واحد لخفض تكلفة الإنتاج ثم يتم تقسيمها الى رقائق صغيرة ، وفصلها بإستخدام منشار أويتم تقطيعها على شكل طوابع بريدية حتى يمكن لحامها على دائرة مطبوعه[١٢].

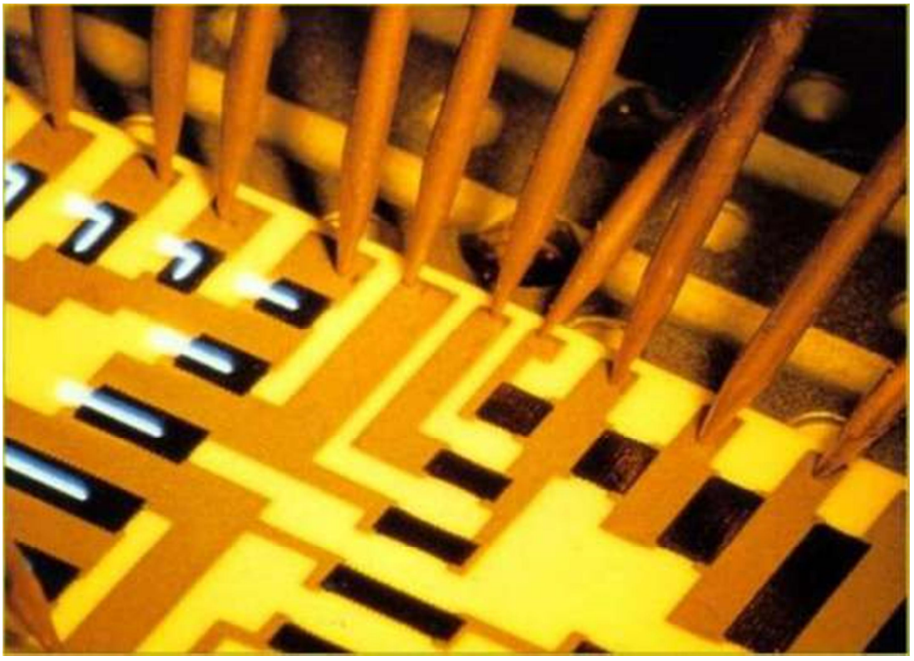


شكل (٦-١٠) شبكة ليزر لتقليم قيم المقاومات – السيراميك مدعوم بغطاء محكم من الزجاج. يضع شعاع الليزر علامات القطع مرئية

ويستخدم مع الليزر وضعين للتشذيب ؛ أما التقليم السلبي، حيث يتم قطع كل مقاومة لقيمة وتسامح محدد ، أو بأسلوب التشذيب النشط ، حيث يتم إستخدام التغذية المرتدة لضبط الجهد والتردد أو تشذيب المقاومات بالليزر على الدائرة بينما يتم توصيل الطاقة. يتم تعيين

[١٢] تدعم لوحة الدائرة المطبوعة (PCB) ميكانيكيا وكهربائيا بتثبيت المكونات الإلكترونية بإستخدام المسارات الموصلة ومنصات تم ترسيبها من صفائح نحاس مغلفة على ركيزة غير موصلة. لوحات الدوائر المطبوعة (PCB) يمكن أن تكون على وجه واحد (النحاس طبقة واحدة)، مزدوج الوجهين (طبقاتين من النحاس) أو متعددة الطبقات (طبقات خارجية وداخلية) التى تسمح بكثافة عناصر أكثر. ترتبط الموصلات فى الطبقات المختلفة بطلاء داخل الثقوب تسمى موجهات (vias). لوحات الدوائر المطبوعة (PCB) المتقدمة متعددة الطبقات قد تحتوي على مكونات--المكثفات و المقاومات أو العناصر النشطة- وجميعها كجزء لا يتجزأ من الركيزة.

قيمة المقاومة بدقة بالتشذيب بالليزر أو بتعديل شكل المقاومة بأسلوب قطع متطور٠ من الممكن تحقيق دقة ٠.٠٥% أو أفضل من القيمة الإسمية للمقاومة



الشكل (٦ – ١١) تقليم مقاومات الفيلم سميكة بالليزر

- ليزر ثاني أكسيد الكربون[١٣]

تم تصميم نظام لليزر للتعامل مع ركائز الألومينا (خدش وقطع وحفر) حتى يتمكن من التشغيل بأى نمط مطلوب ٠ ينبغي عند تصميم الركيزة المطبوعة تحديد:

١. الأبعاد الخارجية للركيزة والأبعاد الهامة الأخرى والتفاوت فى قيم كل منها
٢. العدد ومواد الأفلام من أعلى وأسفل وجانب الركيزة ، والعرض الأدنى لخط التوصيل
٣. الشكل الهندسى للمقاومات، والقيم الأسمية للمقاومة ٠
٤. التسامح فى قيم المقاومات، وقدرتها على تحمل الأحمال الكهربائية٠
٥. معالجة سطح الركيزة المطبوعة: التخميل وأطراف اللحام، حجم منصات وربط الأسلاك،
٦. الشاشات وإنتاج قوالب الطباعة، تخطيط برمج العمل ، بيانات الإنتاج٠

[١٣] تكنولوجيا الليزر المتقدمة، تقنية الليزر ثانى أكسيد الكربون تمهد السطح على وجه التحديد بإزالة الطبقات الخارجية التالفة لتكشف عن السطح الأساسي الأكثر ليونة٠

٦ – ٦ متطلبات السوق الخاصة

- إظهار الأبعاد الخارجية للركيزة الأساسية ونسب التسامح
- إظهار جميع المعلومات الأساسية المتعلقة بالأبعاد، وتصنيع الآلات الميكانيكية لركائز الألومينا (٩٦%) والتفاوت النهائي بعد عمليات التشغيل المذكورة ٠
- إمكانية تقليم المقاومات بالليزر فى نطاق يتراوح بين قيم أوم قليلة الى مئات الميجا أوم بقيم تفاوت موضحة ٠

الجدول (٦–١) قيم المقاومات ونسب التفاوت

قيم المقاومات	نسب التفاوت
١و٠ – ١٠	± ١ %
١٠– ١٠٠٠ كيلو أوم	± ٥و٠ %
١ – ١٠ ميجا أوم	± ١ %
١٠ – ١٠٠ ميجا أوم	± ٣ %
١٠٠ الى ٥٠٠ ميجا أوم	± ٥ %

نظراً لتحسن الأداء الكهربائي والموثوقية العالية، والترتيب الحراري وإنخفاض التكلفة ، تستخدم دوائر الأفلام السميكة في التطبيقات التي تتسم بالبيئات القاسية وإرتفاع درجات الحرارة العالية٠ ومن التطبيقات الشائعة صناعة السيارات – الطائرات – الأقمار الصناعية – الصناعات الطبية – لمبات الإنارة المشعة[١٤] – إلكترونيات القوى – الإلكترونيات الدقيقة المهجنة – دوائر الموجات الدقيقة – وأجهزة الإستشعار – المكونات الإلكترونية، إلخ. تتطلب العناصر المرسبة التكامل مع المكونات الإلكترونية الأخرى، عادة ما تكون في شكل لوحة الدوائر المطبوعة ويمكن تحقيق ذلك بأسلاك الربط أو اللحام٠

[١٤] (LED) دايود المشع للضوء وهو صمام ثنائي الأطراف من أشباه الموصلات ينبعث منه الضوء عند تنشيطه

- **أهمية الفيلم السميك فى الدوائر المتكاملة المهجنة**

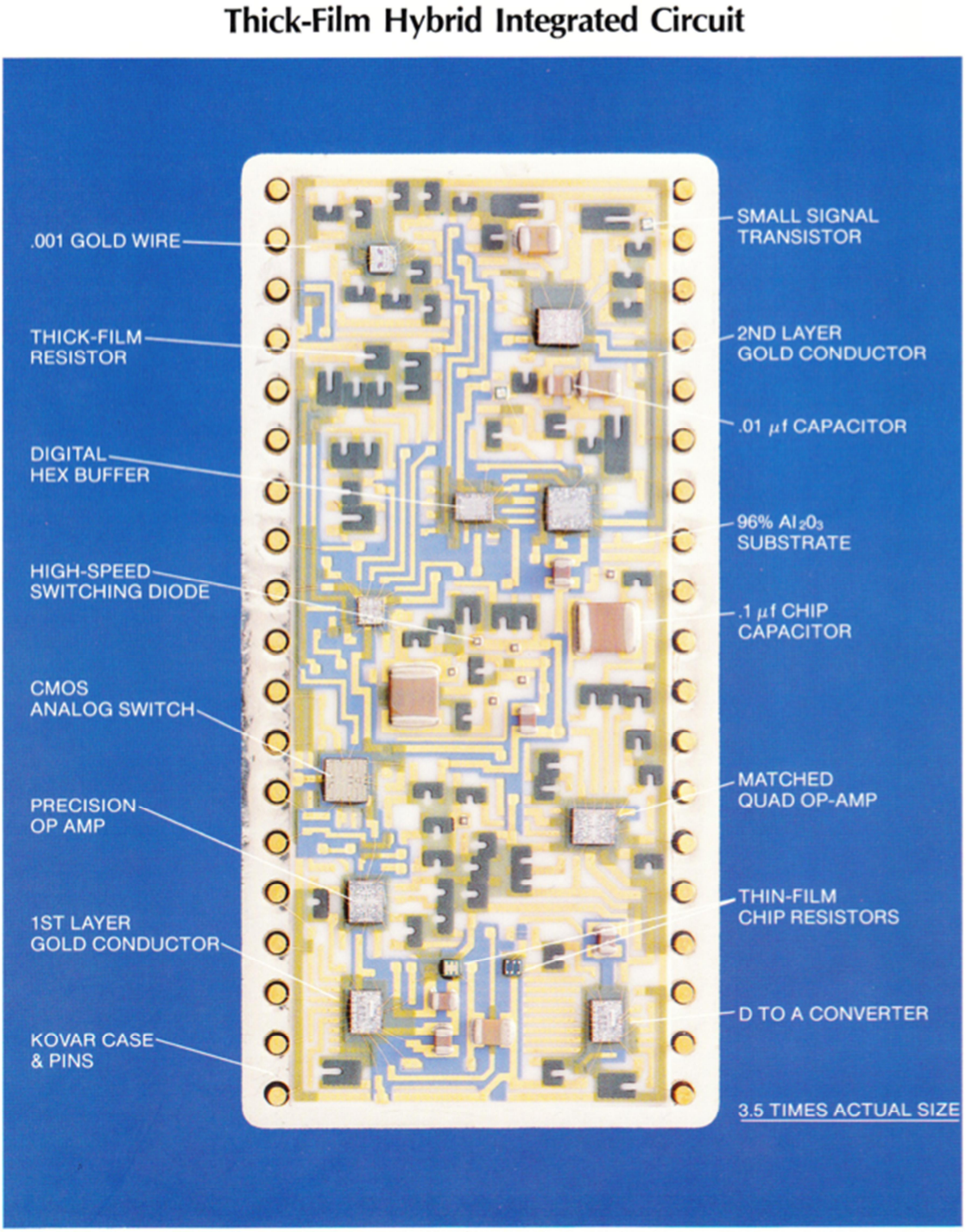
كل من الدوائر المتكاملة المتجانسة ودوائر الفيلم السميك المتكاملة المهجنة لها دور هام جداً في مجال الإلكترونيات الدقيقة٠ تزايد معدل إنتاج دوائر الأفلام السميكة المتكاملة المهجنة يساوي تقريبا المعدل المتزايد لأشباه الموصلات فى الدوائر المتكاملة٠ تكنولوجيا الأفلام السميكة المتكاملة المهجنة هى الأنسب للدوائر صغيرة الحجم، وخاصة بالنسبة لتصميم الدوائر الشائعة، والتطبيقات التي تتطلب طاقة متوسطة إلى عالية وعالية الجهد أو مكونات ثابتة مستقرة ، ذات سماحية صغيرة ٠ يتطلب تطوير وتنظيم إنتاج الأفلام السميكة المتكاملة المهجنة وقت قصير جداً٠ تكنولوجيا الأفلام السميكة لديها ميزة إضافية حيث أن تكلفة الإنتاج والتصميم منخفضة ، وإنخفاض الإستثمارات الرأسمالية المطلوبة٠ حتى فى حالة الإنتاج بالجملة لآلاف الدوائر المتكاملة المربحة٠ معظم دوائر الفيلم السميك المتكاملة المهجنة (حوالي٧٠%) ذات تصميم شائع لتطبيقات محددة وعدد من الدوائر القياسية الفنية الجاهزة٠ من التطبيقات النموذجية الشائعة محولات الإشارات التماثلية الى الرقمية ومحولات الإشارات الرقمية الى التماثلية والمرشحات النشطة ومحولات التيار المستمر الى التيار المتردد أو العكس ومثبتات الجهد ومضخمات الطاقة ٠

٦ – ٧ الخصائص التقنية وقواعد التصميم لطباعة الفيلم وإنتاج ركائز السيراميك٠

تكنولوجيا الفيلم السميك بديل لتكنولوجيا الدوائر المطبوعة، يتم تطبيق قواعد مماثلة لتصميم الأفلام السميكة٠ يتم إستخدام هذه التكنولوجيا في التطبيقات طويلة الأجل حيث أنها تتمتع بالعديد من المزايا منها التحمل الحراري، القوة الميكانيكية، الموصلية الحرارية، الإجهاد الكهربائي، وإنخفاض معامل فقد العزل، إلخ، ركائز الألومينا المطبوعة ذات فائدة كبيرة في البيئات القاسية، وفي الحالات التي تفشل فيها المواد الكلاسيكية [١٥]٠ يجب أن يستند تصميم ركائز الألومينا المطبوعة إلى الخصائص التكنولوجية المبينة بالجداول أدناه:

---

[١٥] (FR-4 or FR4) درجة تعيين لصفائح الإيبوكسي المقوى بالزجاج (laminate glass-reinforced epoxy) وأنابيب وقضبان ولوحات الدوائر المطبوعة (PCB) ٠ والمصطلح (FR-4) مركب يتألف من مواد من الألياف الزجاجية المنسوجة مع رباط صمغى الإيبوكسي المقاوم للإشتعال وله خاصية الإطفاء الذاتي (self-extinguishing)



Thick-film hybrid circuits can incorporate a variety of components and technologies.

الشكل (٦-١٢) فيلم سميك لدائرة متكاملة نموذجية مهجنة (~٢٥ و١ x ٢ بوصة)

الجدول (٦-٢) موجز للعمليات المستخدمة لفصل الأنماط المطبوعة

التقنية التكنولوجية	الدقة الممكن تحقيقها بعد عمليات التشغيل الميكانيكية
شرشرة الأنماط قبل التحميص	± ٠.٥% من أبعاد الركيزة
تقطيع الركائز – سمك ٠.٣ مم	٠.١ – ٠.٠٥ مم
تقطيع الركائز – سمك ٠.٦٣٥ مم	٠.٢ – ٠.٠٥ مم
تقطيع الركائز – سمك ١ مم	٠.٣ – ٠.٠٥ مم
القطع بالليزر	٠.٠٥ مم
عملية الطحن	± ٠.٠٠١ مم

الجدول (٦-٣) المواد الأساسية للأفلام الموصلة والعازلة والمقاومة وقواعد التصميم

المواد النموذجية	
المادة	المعاملات والإستخدمات
الفضة	المقاومة النوعية منخفضة للغاية وضد التآكل
الفضة والبلاتين	المقاومة النوعية منخفضة جداً وقابلة الى اللحام
الفضة والبلاديوم	المقاومة النوعية منخفضة جداً وتقبل اللحام والتربيط
الذهب	المقاومة النوعية منخفضة وغير قابلة للأكسدة ويمكن تربيطها وتستخدم خصوصا لربط المنصات
رتنجات الذهب	الفيلم رفيع جداً من الذهب – أقل من ١ ميكرومتر
بوليمر	غطاء الفيلم غير قابل للحام
غلاف الفيلم من (الزجاج الفوقى) والتحميص فى ٥٥٠ درجة مئوية	مقاوم وزجاج فوقى غير قابل للحام وأخضر اللون
طبقة زجاج فوقى والتحميص فى درجة حرارة ٨٥٠ درجة مئوية	مقاوم وزجاج فوقى غير قابل للحام وشفاف
القيمة النموذجية لمقاومة المساحة	١و٠ أوم / مربع – ١ جيجا أوم / مربع

الجدول (٦-٤) معاملات التصميم النموذجي وقيم الأبعاد ويمكن زيادة المتطلبات التكنولوجية، وبالتالي زيادة أسعار المواد المطبوعة

التسامح فى الأفلام الموصلة، والعازلة وتغطية الأفلام	
الأبعاد القصوى للأنماط المطبوعة	الأبعاد القياسية ١٠١.٦ x ١٠١.٦ ملم كحد أقصى. ٢٠٠ x ٢٠٠ ملم
الحد الأدنى لسمك خط الموصل	٠.١ مم
الحد الأدنى بين الخطوط الموصلة	٠.١ مم
الحد الأدنى للمسافة بين الثقب والموصلات	٠.١ مم
الحجم الأدنى للثقب خلال التلميع	٠.١ مم
الحد الأدنى للمسافة لقناع اللحام من لحام منصات	٠.٠٥ مم

الجدول (٦-٥) السمك النموذجي للأفلام المطبوعة والمحمصة من المواد النموذجية

المادة	السمك النموذجي للفيلم بعد التحميص
الفضة	١٤ ± ٢ ميكرومتر
الذهب	١٠ ± ٢ ميكرومتر
المادة العازلة للعبور	٤٠ ± ٢ ميكرومتر
مقاومة الأفلام	٩ ± ٢ ميكرومتر
الزجاج الفوقى لأقنعة اللحام	١٢ ± ٢ ميكرومتر

- **أحبار المقاومات**

تستخدم في تصنيع المقاومات فى الوقت الحاضر مادة الروثينيوم٠ وهناك نوعين أساسيين الأولى من ثاني أكسيد الروثينيوم والثانية من روثينات – البزموت ذات مقاومة نوعية تتراوح بين (~ ١٠ ميلي أوم/مربع إلى ١٠ ميجاأوم/مربع) والتى تغطي مجموعة واسعة من قيم المقاومات في أى من الدوائر٠ المقاومات المصنعة من الروثينيوم لها خصائص مفيدة، مثل:

- **معامل درجة الحرارة منخفضة : ±٥٠ الى ١٠٠ جزء من المليون / درجة مئوية؛**
- **منخفضة الضوضاء من –٣٠ الى – ٦ ديسبل لمقاومة ٠٫٨و٥ مم فى ٢٫٥٤ مم؛**
- **جيدة الثبات ؛ بعد الإنتهاء من الإنتاج والتشذيب بالليزر، يصل التغير فى قيم المقاومة من ٠.١ الى ٠.٥% بعد تخزين ١٠٠٠ ساعة عند ١٥٠ درجة مئوية٠**

مقاومة المساحة عامل أساسى فى أحبار المقاومات – وتعنى ما يلى:

$$R = \rho \frac{L}{t\ w} = \rho \frac{1}{t\ w}\ and\ R_S = \frac{\rho}{t}\ then\ R = R_s \frac{1}{w}$$

حيث (R) هي مقاومة الفيلم السميك و(ρ) المقاومة النوعية لمادة الفيلم و (t) سمك الطبقة و(L) طول المقاومة وتساوى ١ و (w) عرض المقاومة المقاومة٠ يوفر موردون أحبار المقاومات سلسلة عشرية من المعاجين تغطي مجموعة واسعة من مقاومة السطح من (١ أوم / مربع الى ١٠ ميجا أوم / مربع) ٠

- **أحبار المواد العازلة**

في الوقت الحاضر القيمة المميزة للثابت النسبي للعزل لمعاجين المواد العازلة بين ١٠ و ١٥٠٠ ٠

- **تستخدم الأحبار أو المعاجين ذات معامل عزل ثابت منخفض لإعداد الوصلات المتقاطعة و/أو التكوينات متعددة الطبقات٠ وإلى جانب إنخفاض معامل العزل الثابت، يتطلب جهد إنهيار مرتفع لتحميص الطبقات ٠**

- **تستخدم الأحبار أو المعاجين ذات معامل عزل ثابت مرتفع لإعداد المكثفات٠ تستخدم تيتانات باريوم الفيروكهربائية على نطاق واسع لمكثفات المواد العازلة٠ حيث أن طبقات المكثفات السميكة لها بنية مسامية وهي حساسة للرطوبة، لهذا السبب تستخدم عملية التصقيل الأمر الذى لا مفر منه٠**
- **الزجاج العازل[١٦]: تستخدم أحبار الزجاج ذات درجة إنصهار منخفضة لحماية المقاومات كما تستخدم أحبار الزجاج ذات درجة إنصهار مرتفعة لحماية مكثفات الفيلم السميك٠ كما تم تطوير معاجين وأحبار ذات أغراض خاصة لإعداد مكونات إلكترونية مختلفة مثل أحبار المقاومات الحرارية[١٧] وأحبار المقاومات المتغيرة مع الجهد[١٨] ومعاجين لعناصر التبديل، والموصلات الشفافة[١٩] ونظارات اللحام ومعاجين المقاومات الحساسة لأجهزة الإستشعار لتسرب الغاز وقياس الرطوبة وعناصر أخرى٠**

يمكن إنتاج مقاومات الفيلم السميك في رقاقة مقاومات ذات أحجام مختلفة لإستخدامها فى مجال التركيب السطحى[٢٠] ، أو حتى كجزء من السيراميك المحمص[٢١] فى درجات الحرارة المنخفضة ٠

---

[١٦] الآن أصبح الزجاج العازل الأكثر شيوعا في نظم توزيع الإرسال ٠ يتم استخدام الزجاج الملدن لأغراض العزل ٠ الزجاج العازل له عدد من المزايا بالمقارنة بمواد الخزف التقليدية

[١٧] تستخدم المقاومات الحرارية المعروفة بإسم (ثرميستور) كعناصر استشعار درجة الحرارة ، في محددات الذروة للتيار الكهربائى – إعادة التعيين الذاتي لمحددات التيار المفرط – وعناصر التدفئة الذاتية التحكم٠ الثرمستور مصنوع من مادة أشباه الموصلات.

[١٨] فاريستور هو أحد مكونات الإلكترونية ذو مقاومة كهربائية تتغير مع الجهد المطبق٠ تعرف أيضا باسم مقاومة تعتمد على الجهد (VDR) ذات خاصية التيار – الجهد الغير خطية، وهى ليست مقاومة لخواص الجهد والتيار والمماثلة لصمام ثنائي أشباه الموصلات

[١٩] الأفلام الموصلة الشفافة (TCFs) هي شفافة بصريا وموصلة كهربائياً في طبقات رقيقة. وهى عنصر هام في عدد من الأجهزة الإلكترونية بما في ذلك شاشات عرض الكريستال السائلة (liquid–crystal displays)، وشاشات اللمس (, screens touch) والخلايا الضوئية

[٢٠] تكنولوجيا التكوين السطحى (SMT) هى أسلوب لإنتاج الدوائر الإلكترونية توضع المكونات مباشرة على سطح لوحات الدوائر المطبوعة ٠ جهاز إلكتروني مصنع بهذا الأسلوب يسمى جهاز تكوين سطحى (SMD)

[٢١] عناصر السيراميك المحمص تكون متجانسة ، أجهزة الإلكترونيات الدقيقة حيث يدعم السيراميك كامل الهيكل وأى مواد موصلة أو مقاومة أو عازلة والتى تحمص في فرن في نفس الوقت ٠ المرحلة قبل التحميص تقسم الى تطبيقات فى

٦ – ٨ تصميم المقاومات المطبوعة

ينبغي مراعاة معاملات المقاومات التالية

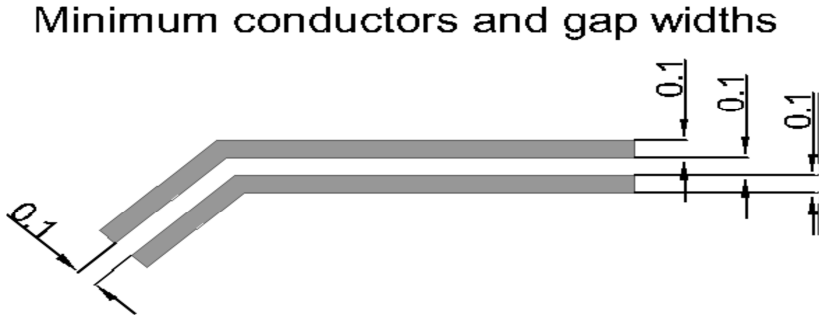
١. قيمة المقاومة الأسمية

٢. التفاوت المسموح فى قيمة المقاومة الأسمية

٣. قدرات الأحمال الأسمية للمقاومة

عند تصميم أبعاد المقاومة، من المستحسن الحفاظ على القواعد التالية:

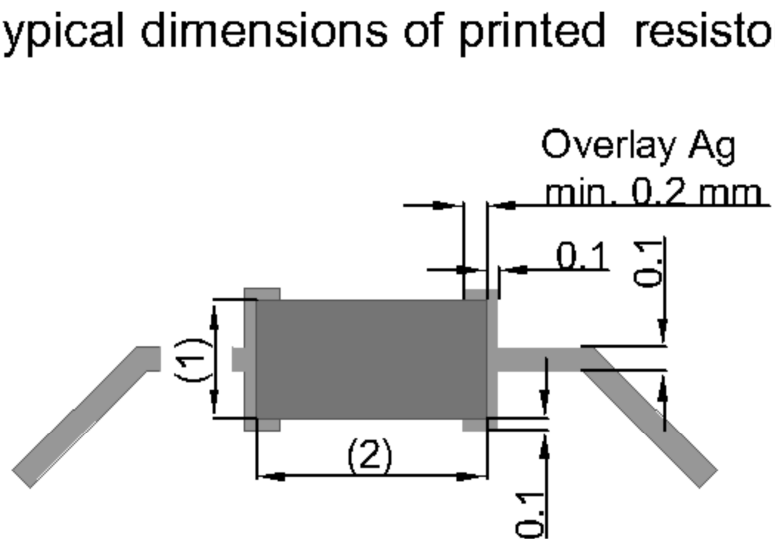
- **ينبغي أن يكون التداخل بين الأنماط الموصلة وأفلام المقاومة مالا يقل عن ٢و٠ مم**



الشكل (٦-١٣) الحد الأدنى لأبعاد الموصلات والفراغات بين خطوط الموصلات

- **يجب أن تتوافق مساحة المقاومة المطبوعة مع الحد الأقصى لقدرة الأحمال ، وهذا هو الحال أيضا عندما يتم تقليم المقاومة للقيمة الدقيقة الأسمية٠ تختلف قيمة الحد الأقصى لقدرة الأحمال القصوى للمعاجين المختلفة والتى يمكن مراجعتها في ملصق البيانات لكل معجون٠ أعلى جهد للتيار المباشر المسموح به (فولت/مم) والتى يمكن مراجعتها في ملصق البيانات لكل معجون**
- **الحد الأدنى لقيمة المقاومة الأسمية والتفاوت المسموح به وقدرات الأحمال وينبغي أن يحدد الحد الأقصى للجهد الدائم الذى تتحمله المقاومة ٠**

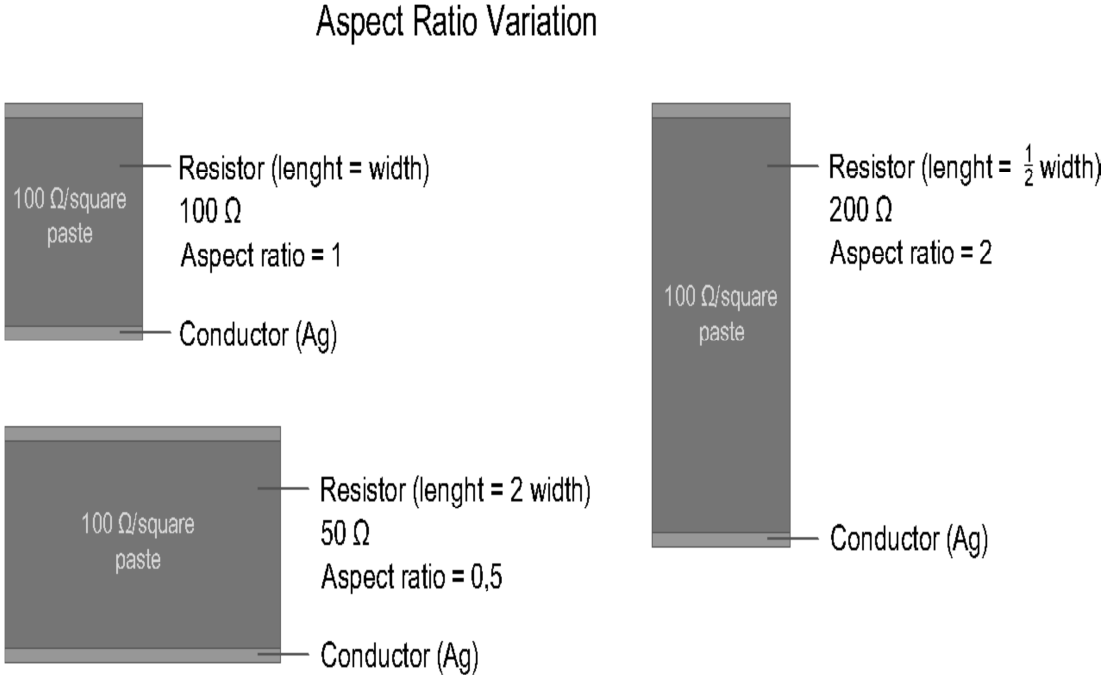
درجات حرارة منخفضة (LTCC) وتطبيقات فى درجات حرارة مرتفعة (HTCC) ٠ تعنى درجات الحرارة المنخفضة أن درجة الحرارة التلبد (sintering) أقل من ١٠٠٠ درجة مئوية بينما تعنى درجات الحرارة المرتفعة حوالى ١٦٠٠ درجة مئوية ٠ بمقارنة درجات الحرارة المنخفضة والمرتفعة فإن طبقات الموصلات ذات مقاومة عالية



الشكل (٦-١٤) الحد الأدنى للتداخل فى سار الخطوط الموصلة وفيلم المقاومة

- **القواعد العامة المتعلقة بتصميم المقاومة**

يتم تعريف مقاومة المقاومة بأبعادها الهندسية (العرض، الطول، والسمك)، ومعاملات المعاجين ، وهو ما يسمى مقاومة المساحة .



الشكل (٦-١٥) تمثيل بيانى لتصميم المقاومة

العلاقة الرياضية العامة المستخدمة هى :

$$R = R \text{ square} \times L/W \ (\Omega),$$

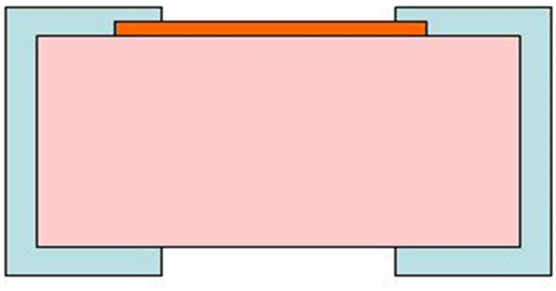
حيث (R_{square}) هى مقاومة السطح النوعية ويمكن إيجادها على ملصق المعجون و (L) طول المقاومة و (W) عرض المقاومة ٠ مقاومة السطح النوعية المعطاة تتناسب دائما مع سمك الفيلم النموذجي بعد التحميص ، عادة ما يكون من ٨ إلى ١٠ ميكرون وفقا للشركة المصنعة للمعجون ووفقا لتجهيزات وإعداد عملية الطباعة ٠

- رقاقة مقاومات الفيلم السميك

تستخدم رقاقة المقاومات بالمليارات في تكنولوجيا التكوين السطحى وهى بأحجام قياسية٠ في الولايات المتحدة الأمريكية تم توحيد الأبعاد بوحدة المل (يساوى ٠٠١و٠ بوصة)٠ فى الدول الأخرى تستخدم وحدات الميلى متر٠ الأحجام الأكثر شيوعاً في دوائر الموجات الميكروووية السطحية كود ٠٦٠٣ (٦٠ × ٣٠ مل) وكود ٠٨٠٥ (٨٠ × ٥٠ مل)٠ المقاومات الأصغر متاحة بأحجام بكود ٠٤٠٢ وحتى كود ٠٢٠١ ، ولكن التعامل مع هذه المقاومات الصغيرة السطحية ذات تكلفة أكبر٠ المقاومات الكبيرة مثل كود ١٢٠٥ تسبب المتاعب في دوائر الموجات الدقيقة في نطاق الموجات إكس والنطاق الأعلى نظراً لكونها ذات حجم كبير بحيث لم يعد يمكن أن تكون على غرار جميع العناصر٠ أطراف رقاقة مقاومات الفيلم السميك مغلفة بمادة موصلة تلتف حولها من الخارج[٢٢] كما هو موضح في الشكل (٦ – ١٦)٠ المعدن الذي يستخدم في أغلب الأحيان قابل للحام بسهولة٠

---

[٢٢] درجات الحرارة المرتفعة ، والتكوين السطحى و شرائح اللف حول رقاقة مقاومة الفيلم السميك ٠ لتطبيقات الثقب لوضع الثقوب تستخدم . شرائح ملفوف المقاومات على ألومينا – الومنيوم نتريد – باريوم أكسيد للحام او لتعليق مكونات التكوين السطحى٠ تتوفر شرائح مقاومات بأحجام من ٠٣٠٢ الى ٢٥١٢ وقيم مقاومات من ١و٠ أوم الى ١ جيجا أوم ٠ والتفاوت فى المقاومة حتى ± ١% ٠ درجة حرارة التشغيل من –٥٥ لى ٢٣٠ م^{o} ودرجات حرارة التخزين من –٥٥ لى ٢٤٥ م^{o}



الشكل (٦-١٦) أطراف رقاقة مقاومات الفيلم السميك مغلفة بمادة موصلة تلتف حولها

- **تصنيف القدرة / الإعتبارات الحرارية**

الجدول (٦ – ٦) توضح الأحجام القياسية لرقاقة مقاومة الفيلم السميك ، جنبا إلى جنب مع تصنيف معدلات القدرات عندما يتم تركيبها على لوحة دائرة مطبوعة مثل (إف أر ٤)[١٥] وأيضا معدل تبديد القدرة عند درجة الحرارة القصوى٠ يمكن أن تستخدم المقاومات عالية القدرة ركائز ذات الموصلية عالية مثل أكسيد البيريليوم ونتريد الألومنيوم التي توزع الحرارة أفضل بكثير من الألومينا والحد من إرتفاع درجة الحرارة٠ أما الجانب السلبي لأكسيد البيريليوم فهى مادة مسرطنة معروفة، حيث يجب تجنب إستخدامها في التصميم كلما أمكن ذلك٠ مادة نتريد الألومنيوم مادة خاملة أكثر، ولكنها لا تتبدد مثل أكسيد البيريليوم٠

الجدول (٦ – ٦)

رمز حجم المقاومة	الأبعاد بوحدات المل	تصنيف القدرة (وات)
٠٢٠١	١٠x ٢٠	١ / ٢٠
٠٤٠٢	٢٠x ٤٠	١ / ١٦
٠٦٠٣	٣٠x ٦٠	١ / ١٠
٠٨٠٥	٥٠x ٨٠	١ / ٨
١٢٠٦	٦٠x ١٢٠	١ / ٤
٢٠١٠	١٠٠x ٢٠٠	١ / ٢
٢٥١٢	١٢٠x ٢٥٠	١

- **رياضيات المقاومات**

حتى فى نطاق ترددات الموجات الدقيقة، يصلح تطبيق قانون أوم للمقاومات (الجهد = التيار مضروب المقاومة) ٠ ومع ذلك، غالباً ما هناك بعض اللاخطية المرتبطة بمصطلح المقاومة٠ قد يكون ذلك بسبب التعامل مع أشباه الموصلات، أو ربما بسبب تأثير درجة الحرارة على المقاومة٠

- **معامل درجة حرارة المقاومة**

جميع المقاومات بها قدر من التباين مع درجة الحرارة عادة ما يكون الإختلاف قريب من العلاقة الخطية٠ يتم التعبير عن معامل درجة حرارة المقاومة (α) بجزء من المليون لكل درجة حرارة مطلقة٠

$$R_{T2} = R_{T1}\, x\, [1 + \propto (T_2 - T_1)]$$

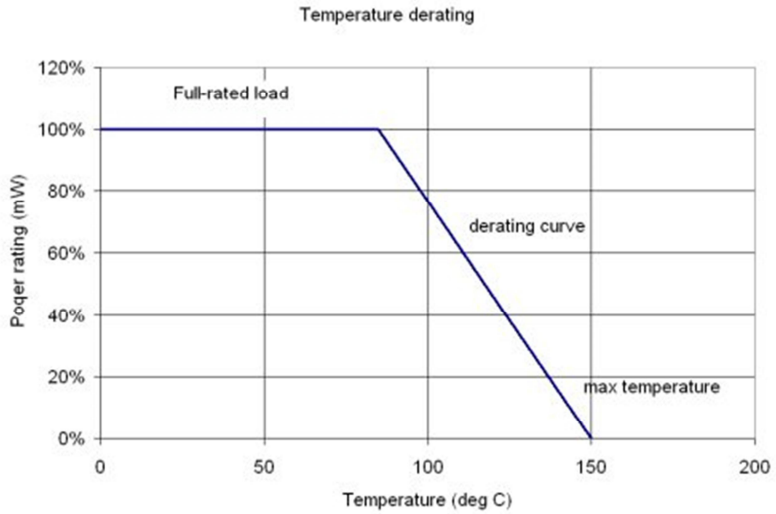
يمكن أن يكون معامل درجة الحرارة للمقاومة معامل سالب أو موجب٠ في الحالة الأولى هو تناقص المقاومة مع درجة الحرارة٠ وفي الحالة الثانية فإنه يزيد مع درجة الحرارة٠ الفلزات النقية لها معامل موجب٠ بعض السبائك يقترب معامل درجة حرارتها من الصفر٠ الكربون والمركبات المقترنة به عادة ما يكون معامل درجة الحرارة سالب٠ معامل درجة الحرارة المقاومة للفيلم السميك للمقاومات عادة من ١٠٠ إلى ٢٥٠ جزء في المليون٠

- **المقاومة الحرارية (الثرميستور)**

هي المقاومات التي صممت خصيصا لإستغلال معامل درجة الحرارة، وغالباً ما تستخدم كعناصر التحكم في درجة الحرارة٠ هناك نوعان من الثرمستور أحدهما ذات معامل درجة حرارة سالب والأخرى ذات معامل درجة حرارة موجب٠ معامل درجة الحرارة دالة بسيطة لدرجة الحرارة ٠ والثرمستور ذات دلالة ليست خطية٠

- **معدلات القدرة**

يحدد تصنيف قدرة المقاومة قيم القدرة التي يمكن أن تتبدد مع درجة حرارة القصوى التى لا تسبب ضرر في المقاومة٠ عادة يتم تصنيف القدرة بعدم وصول درجة الحرارة الى نقطة الحرارة الساخنة ، متجاوزا الحد الذى قد يؤدي إلى ضرر دائم٠ يستخدم تصنيف القدرة لتعين درجتى حرارة ، الأولى درجة الحرارة القصوى التي تحدد الحد الأقصى للقدرة ، درجة الحرارة الثانية هى درجة الحرارة التى تؤدى الى عدم وجود فقد فى الطاقة ، بين التصنيفين تكون دالة المقاومة ذات علاقة خطية مع درجة الحرارة٠ أمرين يمكن أن يستدل بهما من هذه التصنيفات: درجة حرارة الحد الأقصى لسعة التخزين ويساوي معدل درجة الحرارة ٠



الشكل (٦ – ٢١)إستخدام ميل معدل تغير الحرلرة لحساب المقاومة الحرارية (درجة/وات) ٠

الفرق بين درجة حرارة فى عدم وجود حمل كهربائى والحد الأقصى للأحمال الكهربائية أقل من أو يساوي إرتفاع درجة الحرارة في الحمل الكامل٠ من المنحنى يمكن حساب المقاومة الحرارية وتساوى: المقاومة الحرارية = (١٥٠ م^{o} – ٨٥ م^{o} /١ وات = ٦٥ م^{o}/ وات٠ للمساعدة فى آلية لحام فعال لجزء مطلوب من الدائرة تستخدم مواد الدهان (فلكس)٠ يختلف تكوينها مثل مساحيق اللحام مثل سبائك القصدير الرصاص ، حيث تنصهر في هواء الغلاف الجوي ؛ وتسمى هذه التقنية بإنحسار اللحام٠ وتستخدم لوصل عدد كبير في وقت واحد من

المكونات المهجنة. تتطلب عملية تركيب العناصر[٢٠] مثل المكثفات وعناصر أشباه الموصلات تطوير تقنية الفيلم السميك بتركيب إسطمبات رقاقة السليكون الفعلي دون تغليف وأسلاك الربط ، وهذا يوفر قواعد تصغير الدوائر مثل التغليف الإضافى الغير ضروري.

- فصل العناصر

هذه الخطوة غالباً ضرورية حيث يتم إنتاج العديد من المكونات على ركيزة واحدة في نفس الوقت. ومن ثم ، مطلوب بعض الوسائل لفصل المكونات عن بعضها البعض ويمكن تحقيق هذه الخطوة بتقنية فصل الشريحة[٢٣].

- حماية سطح الركائز المطبوعة

مسارات خطوط الموصلات من الفضة يجب أن تكون متعادلة كهربائيا – مغطاة بطبقة واقية. ويتم ذلك إما بإستخدام المعاجين من مواد البوليمرات أو الزجاج ، أظهرت المعاجين البوليمرية[٢٤] مقاومة مماثلة للأضرار الميكانيكية والحرارية بالمقارنة بأفلام حماية السطح فى الدوائر المطبوعة. في حالة إرتفاع الإحتياجات للمقاومة الحرارية، يتم التخميل بمعاجين من الزجاج، حيث أن مقاومتها للأضرار الميكانيكية والحرارية أفضل بشكل ملحوظ . ومقاومة درجات الحرارة لتغطية سطح الأفلام

- غطاء الأفلام البوليمرية: تقريبا تصل إلى ٢٥٠ درجة مئوية
- غطاء الفيلم الزجاجي: تقريبا تصل إلى ٥٠٠ درجة مئوية
- إنتاج الشاشات، طباعة قوالب، برامج الإنتاج، إعداد التقنية وبيانات الإنتاج
- إنتاج أقنعة الشاشات وقوالب الشاشة

---

[٢٣] تقطيع الشرائح (Wafer dicing) هو العملية التي يتم فصل الإسطمبة من الركائز بعد تجهيز الرقاقة. يمكن إنجاز عملية التقطيع بخدش وكسر بمنشار ميكانيكى عادة بجهاز يسمى منشار ديسينغ أو بواسطة القطع بالليزر .

[٢٤] طريقة إقتصادية متطورة حديثا لتصنيع أفلام متعددة الطبقات بواسطة معاجين معدنية البوليمرية، وتشمل المعاملات صدمة حرارية، وصلة لحام، أداء الكهربائية

يتم ترسيب الأفلام بإستخدام شاشة الطباعة ويحتاج كل فيلم لترسيبه شاشة جديدة ٠ تختلف حجم الشاشات ، أنواع النسج المستخدمة وعدد الفتحات فى كل وحدة مساحية٠ يعتمد نوع النسج المستخدم وعدد الفتحات على الدقة المطلوبة من النمط المطبوع ٠ يمكن تخزين الشاشات لمدة عام واحد ٠

- برامج الإنتاج ، والإعداد

يتم تشغيل الدوائر الواحدة على الركيزة الأساسية من السيراميك بإستخدام ليزر ثان أكسيد الكربون٠ لتنفيذ هذا الإجراء من الضروري للعمل بها وتصحيح أخطاء برنامج التشغيل الميكانيكي٠ يتم وضع هذا البرنامج بعد أول أمر ويتم تسجيلة فى أرشيف لمدة سنة واحدة٠

- إعداد بيانات الإنتاج

الشكل الأمثل لإنشاء بيانات الإنتاج وضعها فى ملفات برامج[٢٥] (دى إكس إف) أو (دى دبليو جى) أو جريبر٠ إذا كان ضروريا، من الممكن لمعالجة البيانات من الرسومات الفنية تستخدم بعض تنسيقات البرامج من الأشكال الشائعة٠

- متطلبات العملاء الخاصة

يتعلق بحالات طلب معايير تكنولوجية أفضل٠ فى هذه الحالة يقوم الخبراء فى حالة الضرورة ووجود الإمكانيات لعمل الإختبارات المناخية أو الكهربائية الغير مصنفة من الدوائر المصممة في مختبرات الشركة المصنعة٠

---

[٢٥] في كثير من الأحيان عند تصميم لوحة دوائر المطبوعة تستخدم البرمجيات المتاحة قد تكون برامج (CAD) الميكانيكية مثل (Auto CAD)٠ حزم برامج CAD(CAD) الميكانيكية قادرة على توليد ملفات برمجية مثل (DXF) أو (DWG) التي تحتوي على البيانات المطلوبة لإنتاج الدوائر المطبوعة، ومع ذلك، ملفات (DXF) أو (DWG) غير مفضلة لتصنيع الدوائر المطبوعة بسبب الوقت الإضافي المطلوب لتفسير هذه الملفات وإمكانية حدوث أخطاء٠ بدلاً من ذلك يستخدم ملفات تنسيق جربر هو المفضل الذى يضمن أسرع وقت الإنتاج والتخلص من الأخطاء. كحل، يمكن تحويل بيانات ملفات (DXF) أو (DWG) إلى تنسيق جربر ٠