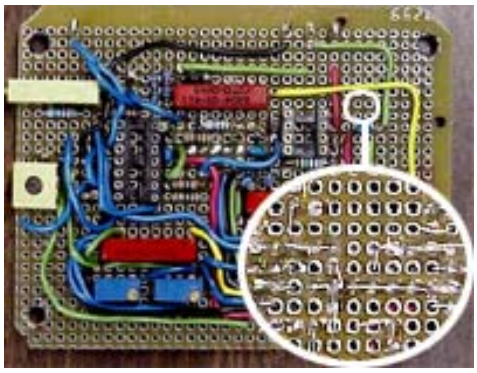
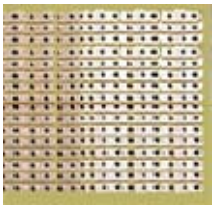
اللوحات الالكترونية المطبوعة

Printed Circuit Board - PCB

الوليد بن عبد المطلب

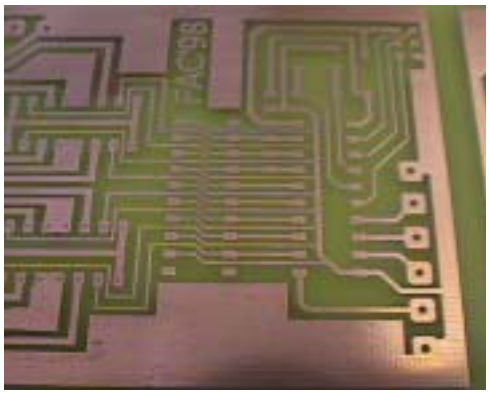


لقد أصبحت اللوحات الالكترونية المطبوعة بالنسبة لمن يعمل في مجال الالكترونيات سواء كان من الهواة أو المتخصصين شيء أساسي لا غنى عنه وخاصة إذا زاد حجم التصميم الالكتروني وبالتالي مسارات التوصيل.., في بادئ الأمر كان على من يرغب في تطبيق تصميم لدائرة الكترونية أن يستخدم قطعة من مادة عازلة كالكرتون أو الابلكاج ويثقبها ويثبت مكونات الدائرة عليها ثم يلجأ إلى الأسلاك لإتمام عملية التوصيل , كانت هذه العملية صعبة و معقدة وغير مرنة فاتجهت بعض الشركات لإنتاج لوحات يطلق عليها اللوحات المثقبة كالموضحة في الشكل ولابد أيضا من استخدام الأسلاك لإتمام عملية التوصيل ولكن بشكل أيسر



بعد ذلك ظهرت اللوحات المقلمة **Strip Boards** كالموضحة بالشكل وهي عبارة عن لوحة من مادة عازلة مثقبة و ظهرها مطبوع عليه وصلات نحاسية تربط صف من الثقوب ببعض وواضح أن هذه الطريقة أيسر كثيرا في تنفيذ التصميمات من ذي قبل , وما زالت هذه اللوحات واللوحات المثقبة أيضا متوفرة بالأسواق ويستخدمها البعض ولكن على نطاق ضيق

بعد ذلك ظهرت لوحات معزولة أحد سطحيها ملصق عليه رقاقة نحاسية , وعن طريق إتباع مجموعة عمليات يمكننا حفر هذه الطبقة النحاسية ونترك فقط المسارات التي تقوم بالتوصيل بين العناصر الالكترونية وتكون الدائرة النهائية كما بالشكل ويطلق عليها **Printed Circuit Board (PCB)** - أحيانا يطلق عليها **PC** - والاسم التي اشتهرت به (هنا في مصر) **باسكولينا**



يمكن عمل اللوحات المطبوعة بطريقة مباشرة عن طريق استخدام طابعات تستخدم أحبار موصلة للكهرباء تطبع المسارات مباشرة على رقاقة عازلة (كما هو الحال في معظم الآلات الحاسبة) , أو عن طريق استخدام رقاقات احد أسطحها أو السطحين معا من طبقة نحاسية ثم تتم عملية نقل المسارات علي السطح النحاسي و إزالة باقي النحاس الغير مرغوب فيه والذي لا يحوي أي مسارات وتسمى هذه العملية بالحفر **Etching** , وقد تستخدم لعمل الدائرة الواحدة عدة رقاقات ذو سمك أقل يتم تجميعها ببعضها عن طريق الضغط ليتكونن ما يسمى باللوحات متعددة الطبقات **Multilayer Board** , ولقد أصبحت عملية حفر اللوحات المطبوعة PCB أمرا ميسورا وبسيطا ويتم بعدة طرق.

بالنسبة للرقاقة العازلة فقد كانت تصنع سالفاً من رقائق ورقية تخلط مع بعض المركبات الصمغية يتم ضغطها تحت حرارة مرتفعة و ثقلها بالشريحة النحاسية تحت ضغط عالي ويطلق على هذه الرقاقات **SRBP** وهي اختصار للمسمى**synthetic resin bonded paper** ومازالت هذه المادة مستخدمة من قِبل بعض المصنعين نظرا لرخص تكلفتها ويعيب هذه الرقاقات أنها تمتص الرطوبة وسهلة الكسر .

نظراً للعيوب السابقة اتجه المصنعون لاستخدام مادة جديدة مصنعة من ألياف زجاجية مخلوطة بأصماغ مقاومة للرطوبة تعرف بالأصماغ الإبوكسية وتنتج هي الأخرى تحت ضغط مرتفع وحرارة عالية لتُكون نوع الرقائق الشائع حاليا من الفيبر أو الفيبر جلاس والتي يطلق عليها**epoxy fiberglass** ويميز هذه الرقاقات عزلها العالي جدا للكهرباء بجانب قوتها ومرونتها , ويكون سمكها في الغالب 1.5 مليمتر وفي بعض التطبيقات تستلزم سمك اكبر حوالي 3 مليمتر لتحمل ظروف العمل التي يستلزمها هذا التطبيق .

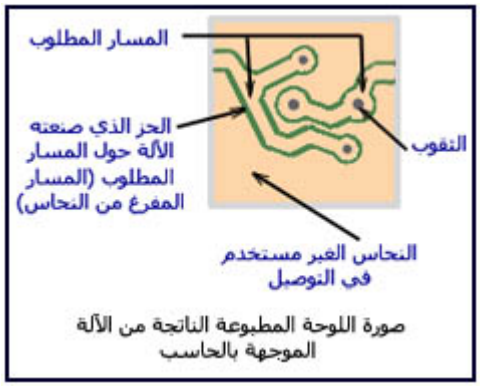
تغطى بعد ذلك بطبقة من المعدن الموصل وهي غالبا النحاس ويكون سمكها 0.035 مليمتر ويطلق عليها رقاقة الأوقية **1-Ounce foil** لأن القدم المربع من الرقاقة المعدنية بهذا السمك يزن أوقية أي ما يعادل 28.35 جرام , وفي بعض التطبيقات يلزم أن يكون سمك الموصل 0.07 مليمتر ليتحمل تيارات عالية ويطلق عليه في هذه الحالة رقاقة الأوقيتين **2-Ounce foil** , وهناك تطبيقات أخرى تستلزم أن تكون الرقاقة المعدنية بالغة الرقة حيث تصل في بعض التطبيقات إلى 0.01 و 0.02 مليمتر.

m.facebook.com/2bookpdf/

الطرق المباشرة لنقل المسارات

ويتم تطبيق الرسم الخاص بالمسارات مباشرة إلى اللوحة المطبوعة واليك بعض الطرق المتبعة لذلك:

1- آلة الحفر الموجهة بالحاسوب computer-controlled End milling/routing machine



صورة اللوحة المطبوعة الناتجة من الآلة الموجهة بالحاسب

وفي هذا النوع تقوم الآلة بصنع حَز حول كل مسار موجود في التصميم لعزله عن باقي النحاس فتنتج الدائرة المرغوبة معزولة عن النحاس الغير مستخدم بواسطة الفراغ الذي صنعته الآلة كما هو موضح في الشكل ثم تقوم بعمل الثقوب الموجودة بالتصميم , ويتم عمل التصميم على البرنامج المرفق مع الآلة أو على أي برنامج لرسم الدوائر المطبوعة ثم نقله للآلة في صورة ملف **PCB CAD** ويعيب هذه الآلة أنها مكلفة جدا جدا وغير صالحة بشكل عملي للإنتاج الكمي والفاقد الكبير في عدد المثاقيب (**البنط**) التي تنكسر أثناء عملية الحفر , وهذا يجعلها غير منتشرة بشكل واسع حيث لا تكاد تجدها إلا في مراكز البحوث العلمية وبعض الجامعات والمؤسسات الصناعية

2- قلم الطلاء(الدوكو) Dalo pens

ويعرف بهذا الاسم **Dalo** لأن أول ما ظهرت هذه الأقلام كانت تحمل الاسم التجاري Dalo فانتشرت بهذا الاسم ,

ويجب أن تكون الأحبار المستخدمة في هذه الأقلام مقاومة للحامض الذي سيتولى عملية الحفر حتى تحافظ على المسار سليما دون أي تشوهات , ويجب اقتناء هذا القلم حتى لو استخدمنا أي طريقة أخرى من طرق الحفر وذلك لأنه فيد في عملة تصيح المسارات المشوهة وتغطية الأماكن التي لم تغطى جيدا نتيجة الأخطاء وذلك قبل وضعها في الحامض الحفار

الصورة الاصلية

الصورة المعكوسة

وتتلخص الطريقة التي تستخدم القلم كالتالي :

- نقوم أولا بتصميم الدائرة التي نرغب في تطبيقها على ورقة عادية يدويا أو عن طريق الحسب - باستخدام البرامج المتخصصة في ذلك مثل **Eagle** او **Pcad** او غيرها , أو برامج الرسوميات العامة مثل **Paint** او **PhotoShop** ولكنها ستستغرق وقتا أطول من البرامج المتخصصة بالإضافة إلى الصعوبة في التصميم لو كانت الدائرة كبيرة قليلا .
- نقوم بعد ذلك بعكس الدائرة بأكمله كالعملية التي تقوم بها المرآة حتى يصبح ما في اليمين يساراً ويصبح ما في اليسار يميناً وذلك لأن المسارات ستكون على الرقاقة النحاسية وهذه الرقاقة هي ظهر اللوحة الالكترونية وليست وجهها ونحن نصمم الدائرة باعتبار أن المكونات ستركب على وجهها فلابد من عكس الدائرة قبل نقلها أما إذ ا كانت صورة المسارات هي الصورة النهائية فلا تعكسها بعد أن أصبح لديك الآن صورة الدائرة المعكوسة على ورقة عادية , قم بنقلها إلى السطح النحاسي عن طريق ورق الكربون وذلك بوضع ورقة الكربون (وهي ورقة تستخدم لعمل نسخ من المستندات وغالباً تكون زرقاء اللون) بين الورقة التي تحوي صورة الدائرة واللوحة النحاسية ثم المرور على المسارات بأي قلم فترى أن ورقة الكربون تركت أثرا على السح النحاسي يبين نفس المسارات في الدائرة

- أصبح السطح النحاسي يحتوي المسارات الآن , قم بعد ذلك بإعادة رسم المسارات باستخدام قلم الدوكو فتنتج لديك المسارات النهائية العازلة للحمض على السطح النحاسي .
- ضع اللوحة في احد الأحماض المستخدمة في عملية الحفر لمدة كافية (حسب نوع وتركيز الحمض كما سيأتي لاحقا) ستجد أن الحمض أزال النحاس الغير مغطى بالقلم وبقي النحاس المغطى بطلاء القلم المقاوم للحمض , بعد ذلك انزع اللوحة من الحمض ثم نظفها باستخدام الأسيتون أو التنر (الثنر) لإزالة آثار القلم فتظهر لك المسارات النحاسية النهائية .
- قم بثقب الأماكن التي تحتوي على ثقوب باستخدام مثقاب مناسب , ومن الأفضل أن تتم عملية الثقب قبل وضع اللوحة في الحامض حتى لا يتفكك أي جزء من المسارات بسبب المثقاب أو غيره

m.facebook.com/2bookpdf/

3 - ورق الباستيل

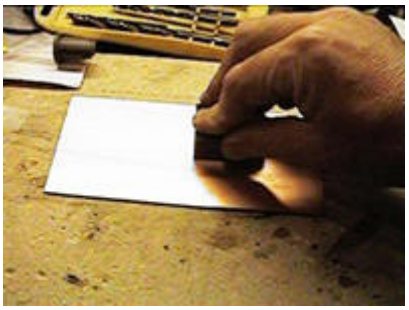
هذا النوع من الورق عند الضغط عليه من أعلى الورقة بأي سن مدبب (قلم مثلا) فإنه يترك آثرا مشابه للمسار الذي ضغطه القلم وهذا المسار مقاوم للحمض مثل قلم الدوكو تماما , ولعمل الدائرة بهذه الطريقة نتبع التالي :

- نقوم برسم الدائرة وعكسها كما بالمثال السابق
- بعد أن أصبحت الدائرة جاهزة على ورقة عادية نقوم بنقلها إلى السطح النحاسي باستخدام ورقة الباستيل وليس ورقة الكربون كما بالمثال السابق أي نضع ورقة الباستيل بين الورقة العادية التي تحتوي رسم المسارات وبين السطح النحاسي ثم نمر بالقلم على المسارات من أعلى الورقة العادية فنجد أن المسارات قد انطبعت على السطح النحاسي
- بعد ذلك نضع اللوحة في الحمض ونكرر الخطوات السابقة للحصول على الدائرة النهائية

الطرق الغير مباشرة لنقل المسارات

يمكن عمل المسارات العازلة للحمض عن طريق الحبر المستخدم في طابعات الليزر (التونر Toner) والذي يحتوي على مواد بلاستيكية يمكنها تكوين طبقة عازلة للحمض , ولكن المشكلة هي عدم إمكانية تطبيق المسارات من الطابعة إلى اللوحة مباشرة وذلك لان الطابعة حينما تكون صورة معينة على الورق العادي فإنها تقوم برسم المسارات على الورقة في صورة شحنات كهربية ثم تمريرها على التونر والذي يحتوي على مسحوق حديدي يجعل التونر يلتصق بالأماكن المشحونة فقط وهكذا تتكون الصورة على الورق العادي , أما في اللوحات المطبوعة فان السطح المراد الطباعة عليه هو سطح نحاسي موصل للكهرباء فإذا قامت الطابعة بنقل الشحنات عليه فسيحدث لها تسريب ولا تتكون المسارات , لكن هناك طريقة تمكننا من نقل الصورة إلى اللوحة بطريقة غير مباشرة يتم فيها رسم المسارات باستخدام الطابعة على ورقة معينة ثم نقل المسارات من على الورقة إلى اللوحة المطبوعة بتطبيق سطح الورقة الحاوي للرسم إلى السطح النحاسي ثم الضغط بسطح ساخن (كالمكواة مثلا) يؤدي إلى ذوبان التونر مرة أخرى وملاصقته للسطح النحاس و بعد ذلك نزيل الورق المتبقي , وهناك عدة أنواع من الورق المستخدم لهذه العملية وهي :

. الورقة الزرقاء Press N Peel



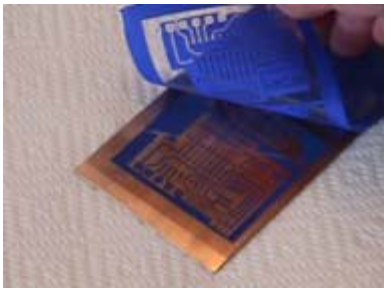
وهي اشهر الأنواع المستخدمة لهذا الغرض ويطلق عليها اختصارا PNP أي ورقة الضغط والتقشير وطريقة تطبيقها سهلة جدا وذات نتائج مرضية , ولعمل المسارات على اللوحة بهذه الطريقة يُتبع التالي

أولا قم بتنظيف السطح النحاسي جيداً وأفضل الطرق لذلك هو استخدام صوفة غسيل الصحون المعدنية (سلك الصحون) في حك السطح النحاسي حتى يصبح لامعا واجعل الحك في الاتجاه الراسي والأفقي معا ثم نظفه جيدا من البرادة بقطعة قطن جافة مثلا ليتكون لديك سطح نحاسي نظيف مستعد للالتصاق بالتونر وبعد عملية التنظيف لا تلمس السطح النحاسي بيدك مرة أخرى

قم بطباعة الصورة التي تحتوي المسارات النهائية على السطح الباهت الغير لامع من الورقة الزرقاء ولاحظ أن تكون صورة المسارات النهائية معكوسة قبل أن تشرع في عملية الطباعة ثم قم بقص الجزء الذي يحتوي المسارات من الورقة الزرقاء

ضع اللوحة على منضدة مثلا واجعل السطح النحاسي لأعلى ثم طبق السطح الذي يحوي المسارات المرسومة من الورقة الزرقاء إلى السطح النحاسي , بعد أن وضعت الورقة الزرقاء فوق السطح النحاسي ضع قطعة من الورق العادي أو القماش لتغطي كامل الورقة الزرقاء لتفادي التصاق الورقة الزرقاء بالمكواة اضبط المكواة المنزلية على أعلى درجة حرارة (ينبغي أن تكون الحرارة بين 130 إلى 160 درجة سيليزيس) ثم قم بالضغط على السطح الورقي جيدا ومحركا المكواة أثناء الضغط لتوزيع الحرارة بشكل متساوي على جميع أجزاء الورقة لمدة ثلاث أو أربع دقائق

m.facebook.com/2bookpdf/



بعد ذلك اغمس اللوحة الملاصقة للورقة الزرقاء في ماء بارد واحترس وأنت تمسكها من درجة حرارة اللوحة بعد رفع الدائرة من الماء انزع (قشر) الورقة الزرقاء من احد أطرافها برفق ستجد أنها خلفت المسارات عل السطح النحاسي

لاحظ انه في بعض الأحيان تكون هناك بعض الأجزاء الصغيرة التي لم تلتصق بالتونر لعدم وصول الحرارة إليها بشكل كافي فقم بترقيعها بقلم ذو حبر مقاوم للحمض (قلم دوكو) قبل عملية الغمس في الحمض , ثم اغمسها في الحمض

بعد انتهاء عملية الحفر قم بتنظيف الدائرة من التونر المتخلف لتحصل على المسارات النحاسية المطلوبة ثم قم بثقبها.

- ***ورقة التونر Toner Transfer Paper***

وهي نفس الطريقة السابقة غير انك إذا استخدمت هذا النوع من الورق وبع إتمام عملية الكي ضعه في الماء حتى يتحلل الورق بأكمله مخلفا التونر فقط ملاصقا للسطح النحاسي أي انك لن تضطر لعملية التقشير ويعيبها هذه الورقة عن سابقتها أن العزل الذي يقوم به التونر فقط ضد الحمض اقل من عزل الورقة الزرقاء

- ***ورقة الكلاي Clay Coated Paper***

وهي هي نفس الطريقة في ورقة التونر غير انك لابد أن تضعها في ماء وصابون (ماء ومسحوق غسيل) لتتم عملية التحلل

قلم المزج Plender Pen

قلم المزج أو الخلط هو قلم يستخدم لنقل الصور على القمصان والملابس من الصور الو رقية العادية وفي هذه الطريقة لا نستخدم أي ورق خاص وإنما ورق عادي جدا , وطريقة تطبيقه كالآتي :

- قم أولا بطباعة الدائرة المعكوسة إلى ورقة بيضاء عادية
- قم بتطبيق السطح الورقي الذي يحوي الصورة المطبوعة إلى السطح النحاسي
- باستخدام قلم المزج قم بالمرور من الخلف على ألاماكن التي تحتوي مسارات مطبوعة
- ارفع الورقة بعد أن تنتهي ستجد المسارات تحللت وسقطت على السطح النحاسي , بعد ذلك ضعها في الحمض

m.facebook.com/2bookpdf/

النقل الضوئي

نقوم بجلب لوحة اليكترونية سطحها النحاسي مغطى بطبقة من مادة حساسة للضوء ,واشهر هذه المواد وأكثرها انتشارا الرستون Riston وتباع اللوحات جاهزة ومغطاة بطبقة من هذه المادة وتكون محكمة الغلق حتى لا تتعرض للضوء.

تتم طباعة النموذج المطلوب باللون الأسود (لاحظ أن الصورة التي سيتم طباعتها إذا استخدمنا الرستون هي الصورة السلبية للمسارات , أي صورة النيجاتيف كما بالشكل وسنعرف لما فعلنا ذلك بعد قليل) على ورقة شفافة ,ويفضل استخدام طابعة رشاشة للحبر , فإذا سلطنا الضوء (يستخدم أي مصدر ضوئي يشع أشعة فوق بنفسجية بدرجة كافية) على هذه الورقة الشفافة فان الضوء يعبر فقط من الأماكن التي لم يطبع عليها وتمنع الأجزاء المطبوع عليها الضوء من المرور , أي أن الضوء يعبر من المسارات فقط ويغير الخواص الكيميائية لمادة الرستون تحت المسارات.

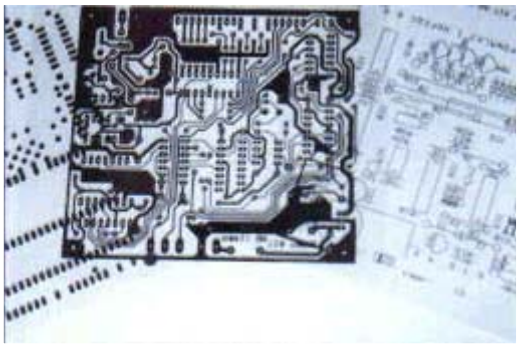
هناك تقنية أعلى دقة لصناعة النموذج الشفاف الذي يحوي المسارات تسمى الرسم الضوئي Photo plot ودقة الرسم بهذه الطريقة 6000 dpiأي 6000 نقطة في البوصة الواحدة على اقل تقدير , ولكنها غالية الثمن لذا لا تستخدم إلا على نطاق المصنعين , ويتم عمل النموذج على شريحة فلمية كتلك التي تستخدم في التصوير الفوتوغرافي يتم الرسم على هذه الشريحة باستخدام رسام Plotter يستخدم أقلام هي في الغالب ألياف ضوئية يكون صدر تغذيتها إما الليزر أو الأشعة فوق البنفسجية , أو قد يستخدم نظام توجيه بالمرايا كالمستخدم في طابعات الليزر.

الآن وبعد أن أصبحت المسارات موجودة على اللوحة في صورة الرستون الذي اثر عليه الضوء , نضعه في محلول مظهر مثل هيدروكسيد الصوديوم (الصودا الكاوية) حيث تقوم هذه المادة المظهرة بالتفاعل مع مادة الرستون التي لم تتأثر بالضوء وتقشرها (وهذا هو سبب استخدام الصورة السلبية بدلا من الصورة الأصلية للمسارات , لاحظ انه توجد بعض المواد التي لا تحتاج لعمل الصورة السلبية هذا يعتمد على اختيارك للوحة التي ترغب في استخدامها أثناء شرائها) , بعدما ينتهي المظهر من عمله يصبح لديك لوحة معزولة المسارات بمادة الرستون ومستعدة للوضع في الحمض.

لا يفضل البعض استخدام هذه اللوحات الجاهزة (المغطاة بمادة الرستون) نظرا لارتفاع ثمنها النسبي , لذلك تستخدم مادة أخرى تباع في صورة سائلة على هيئة عبوات ذات بخاخ رزاز , هذه المادة اسمها التجاري Positive 20 وهي مشهورة جدا بهذا الاسم , حيث تستخدم في رش الأسطح النحاسية للوحات العادية ثم تترك لتجف , وسنشرح هذه الطريقة بالتفصيل فيما يلي:

- قم أولا بتنظيف اللوحة ذات السطح النحاسي جيدا وحاول ألا تلمسها بيدك بعد عملية التنظيف و يفضل أن تتم العملية التالية في مكان شبه مظلم وخالي من الأتربة والتيارات الهوائية

- وجه بخاخ الرزاز لـ Positive 20 إلى السطح النحاسي وعلى بعد 20 سم منه ثم ابدأ بالرش حتى تتكون طبقة مناسبة من السائل , وحاول أن تكون متجانسة بقدر الإمكان



- اترك اللوحة المرشوشة لتجف في درجة حرارة 20 مئوية لمدة 24 ساعة (إذا وضعت اللوحة في درجة حرارة 70 مئوية ستجف خلال 15 دقيقة وتعطي نتائج جيدة)

- قم بطباعة المسارات للتصميم الخاص بك على ورقة بلاستيك ذات شفافية عالية (شريحة بلاستيك شفافة) ولاحظ أن الصورة في هذه الحالة ايجابية Positive image أي لن تحتاج إلى عكس الألوان كما في الرستون

- اجلب اللوحة ذات السطح المغطى بـ Positive 20 بعد أن جفت تماما , ثم ضع الورقة الشفافة عليه بدقة في المكان المناسب لك على اللوحة ثم قم بتثبيتها جيدا عن طريق وضع لوح زجاجي شفاف رقيق عليهما وضعهم داخل صندوق أشعة فوق بنفسجية لمدة تتراوح بين 20 - 40 دقيقة , وهذا الجهاز يباع جاهزا , ويمكنك الاستغناء عنه باستخدام مصابيح الماغنسيوم أو المصابيح السوداء Black Light أو حتى المصابيح الفلوريسنت (النيون) العادية (يمكنك عمل صندوق

m.facebook.com/2bookpdf/

يحتوي على عدد من 2 إلى 3 مصابيح بطول 60 سم وتوضع اللوحة على بعد 5 سم من المصابيح لمدة نصف ساعة أو أكثر), ويمكنك أيضا تعريضها لضوء الشمس المباشر ولكن اختار يوم مشمس جدا .

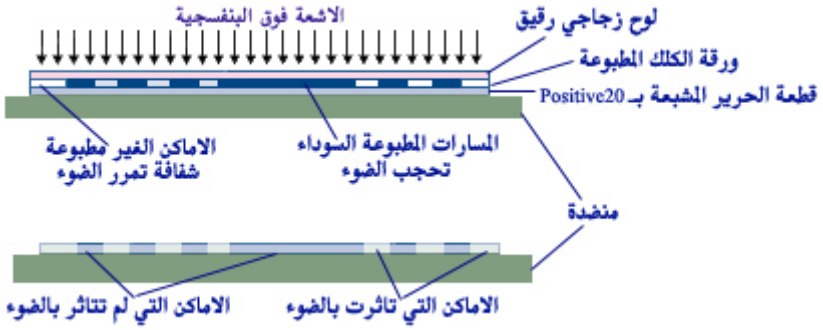
- قم بعد ذلك بعمل المحلول المُظّهر (وهو محلول يقوم بالتفاعل مع المادة التي تعرضت للأشعة فوق البنفسجية ثم تقشيرها) ويتم ذلك بإضافة ملعقة شاي صغيرة من هيدروكسيد الصوديوم -الصودا الكاوية- إلى لتر ماء (الكمية القياسية من 7 الى 10 جم في لتر ماء), ثم اغمس اللوحة التي تعرضت للضوء في هذا المحلول وينبغي ارتداء قفازات جلدية أثناء هذه العملية والانتباه أثناء التعامل مع الصودا الكاوية (ينبغي أن تتم عملية التظهير في مكان معتم او به ضوء خافت)

- قم بتحريك اللوحة أثناء وضعها في المظهر برفق (لاحظ أن هذه العملية لن تستغرق سوى عدة دقائق حسب تركيز المحلول) وبعد أن تظهر المسارات انزع اللوحة واشطفها تحت الماء العادي

- الآن أصبحت اللوحة جاهزة للوضع في الحمض الحفّار **Etchant** ,ضعها الآن في الحمض وبعد أن تتم عملية الحفر انزعها من الحمض ونظف المادة المتخلفة على المسارات باستخدام احد المذيبات العضوية كالأسيتون أو التنر مثلا ثم ابدأ بالتثقيب.

إطار الحرير SILK SCREEN

وتستخدم هذه الطريقة في الإنتاج الكمي لعمل المسارات النحاسية وأيضا لرسم المكونات والكتابة على السطح الغير نحاسي كما نرى في معظم اللوحات الجاهزة , كما تستخدم أيضا للطباعة على أسطح العبوات والصفائح المعدنية , وتشبه هذه الطريقة الطريقة السابقة إلى حد ما وسوف نتناولها بالتفصيل فيما يلي :



- نقوم باعداد التصميم للدائرة المرغوبة على احد البرامج المتخصصة ثم نطبعه على ورقة كالك شديدة الشفافية

- نقوم بجلب قطعة مناسبة من الحرير ذات عدد عقد مناسب في البوصة المربعة و من الافضل زيادة عدد العقد في البوصة كلما زادت دقة المسارات وينبغي ان تكون نظيفة و جافة وذات حجم مناسب اكبر من حجم التصميم بعض الشئ حتى نتمكن من تثبيته على الاطار.

- نقوم بعد ذلك برش هذه القطعة الحريرية بالمادة الحساسة للضوء (وهي في هذه الحالة ليست Positive20 ولكنها مادة اخرى تباع في محلات بيع مستلزمات السيلك سكرين – اسمها الدارج في مصر مادة الحساس -) حتى تتشبع تماما وينبغي ان تتم هذه العملية في مكان خافت الاضاءة ثم تترك لتجف تماما في مكان مظلم

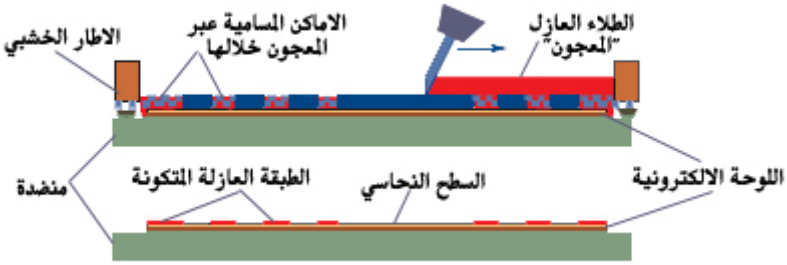
-بعد ان تجف القطعة نفردها ونضع الورقة الشفافة التي تحتوي التصميم عليها ثم نضع لوح زجاجي رقيق فوقهما للتثبيت ثم نعرضهم لمصدر غني بالاشعة فوق البنفسجية لفترة كافية.

- بعد ذلك نعد المظهر كما في الطريقة السابقة ثم نغمس قطعة الحرير فيه وندعها لفترة كافية لتتأكل الاماكن التي لم تتعرض للأشعة فوق البنفسجية

- الان اصبحت مسام قطعة الحرير على احدى حالتين اما مسدودة بطبقة من الـ Positive 20 الذي كانت مسارات ورقة شفافية تغطيه ولم يتفاعل مع الضوء , او غير مسدودة بعد ان قشر المظّهر الـ Positive 20 الذي تفاعل مع الضوء وكان يسد هذه المسام كما بالشكل

m.facebook.com/2bookpdf/

-الان وبعد ان اصبحت قطعة الحرير تحوي المسارات المطلوبة على هيئة مسام مفرغة (منفذة للسوائل) , قم بعمل اطار خشبي بحجم قطعة الحرير ثم ثبت قطعة الحرير عليه جيدا (بمسامير او دبابيس او لاصق ....) , الآن أصبح إطار الحرير جاهز تماما لبدا العمل



- نحضر بعد ذلك طلاء مقاوم للحمض الحفار وقادر على اختراق المسام (يكون على شكل معجون) ويوزع داخل الإطار بشكل منتظم حتى يغطي الإطار من الداخل

- نضع اللوحة الالكترونية التي نرغب في رسم المسارات عليها تحت النموذج

- باستخدام سطح ذو حافة مستوية (مسطرة مثلا) يكون بالعرض الداخلي للإطار بحيث يبح حر الحركة داخله , نقوم بسحب المعجون الموجود داخل الإطار من أول الإطار إلى أخره , فيتخلل المعجون ويعبر المسام الغير مسدودة ويكون طبقة على السطح النحاسي بنفس شكل المسارات للدائرة التي طبعناها من قبل

- تترك اللوحة حتى تجف ثم توضع في الحمض الحفار

الحمض الحفار Etchant

الحمض الحفار هو المادة التي ستتفاعل مع النحاس المغطي لسطح اللوحة و يطرده عنها , وتوجد العديد من الأحماض والمحاليل لهذا الغرض (يفضل استخدام وعاء زجاجي أو بلاستيك لعملية الحفر وليس وعاء معدني لتجنب التفاعل معه), ولكل منها مميزاته وعيوبه نتناول بعضها الآن ثم نتناول أحد هذه الأنواع بشيء من التفصيل :

- **حمض النيتريك :**

ويميز هذا الحمض أنه سريع جدا في عملية الحفر وشفاف مما يسهل مراقبة عملية الحفر ولكن يعيبه أنه يحفر بسرعة وقسوة مما يؤدي إلى تآكل غير منتظم , وقد يسبب أيضا تآكل العازل في بعض المناطق بسبب قسوة التفاعل , ويمكن تفادي هذه الآثار بتقليل تركيز الحمض ولكن على حساب سرعة التفاعل . ويعيبه أيضا أنه خطر في الاستعمال لكونه يؤثر علي البشرة وغيرها لذلك يجب استعماله بحذر جدا وبتركيز منخفض نسبيا

- **كبريتات الأمونيا Ammonium persulphate :**

ويميزه أنه آمن وشفاف وسريع وليس هناك خطر من تعرض الملابس له , ولكنه يستلزم التسخين من 50 إلى 60 درجة أثناء الحفر , ولكن أثناء التسخين تتصاعد أبخرة الأمونيا التي تسبب نزول الدموع من العين لذلك يجب أن تتم عملية الحفر في مكان جيد التهوية

- **كلوريد الحديديك :**

وهذا هو ما سنتناوله بشيء من التفصيل هنا نظرا لتوفره ورخصه والأمان التام في استعماله , ولن كن حذرا لأنه يسبب بقع صعبة جدا إذا ما لامس الملابس أو الأغراض !
ويعيبه أنه بطيء نسبيا ولكن سنتعرض هنا لبعض الطرق التي تزيد من سرعة التفاعل حتى أنه قد تصل إلى 10 دقائق .

تباع هذه المادة في محلات المستلزمات الكيميائية وهي رخيصة ويكون شكلها عبارة عن أحجار صلبة برتقالية اللون كالموضحة بالشكل , وهي تتحل إذا ما تعرضت للرطوبة أو ارتفعت درجة حرارتها .
يمكنك تكوين محلول ذو تركيز مناسب بإذابة 250جم في ½ لتر ماء وضع عليه ملعقة من ملح الطعام (يؤدي إلى تكوين $FeCl_4$) , ويمكن استعمال هذا المحلول عدة مرات (قد تصل إلى 10 مرات و أكثر), ويمكن زيادة نسبة

m.facebook.com/2bookpdf/

المادة إلى الماء لو أردت أن تزيد من سرعة الحفر (يلجأ البعض أيضا لإضافة كمية قليلة من حمض النيتريك لتسريع عملية الحفر) .
عند كل مرة تريد استعمال المحلول قم بتسخينه إلى درجة حرارة 40 سليزيس , ويعيب هذا المحلول أنه ليس شفاف مما يعسر ملاحظة عملية الحفر .
بعد أن تضع اللوحة في الوعاء الذي يحوي المحلول قم بتحريكه من حين لأخر حتى لا تترسب جزيئات الحديد الناتجة من التفاعل على سطح اللوحة .

- **حمض الهيدروكلوريك :**

ويتم خلط حمض الهيدروكلوريك إلى ماء الأوكسجين بنسبة 1 : 4 , أحد الزملاء نصحني به وقال انه يعطي نتائج جيدة وسريعة

العزل :

بعد أن تتم عملية الحفر ونحصل على اللوحة المطبوعة النهائية يتم تنظيفها جيدا ثم تغطى بمادة عازلة لحماية المسارات من العوامل الجوية أو أي مؤثرات أخرى قد تضر بها في الغالب يكون لون هذا العازل أخضر , وهو عبارة عن ورنيش خاص يتم تلوينه ويطلق عليه **protective lacquer** ويباع في عبوات جاهزة ذات بخاخ , و من مميزات هذا النوع الذي يباع جاهزا أن القصدير يخترقه أثناء عملية اللحام , أي انك لست في حاجة لإزالة من مواضع التوصيل قبل عملية اللحام , ولكنه غالي الثمن .
في الغالب نستخدم الورنيش العادي بعض إضافة كمية من المذيب العضوي (البنزين هو الأفضل) وتلوينه باللون الذي تريد (توجد ألوان خاصة لتلوين الورنيش يستخدمها الرسامين) إن كنت تريد ذلك ثم يوضع في بخاخ عادي ورشه على سطح اللوحة الذي يحوي المسارات .

في حالة وجود أي إضافات أو ملاحظات يرجى الاتصال عبر البريد الإلكتروني **Waleedemail@gmail.com**

الإصدار الثاني
22 جمادى الأول 1426
30 يونيو 2005
Computer Assistance Team
قسم الإلكترونيات و الاتصالات
كلية الهندسة – جامعة المنصورة

m.facebook.com/2bookpdf/