٧ – ٤ ترانزستور الأفلام الرقيقة[١]

٧ – ٤ – ١ تعريفات لبعض المصطلحات المستخدمة

- **شاشات العرض البلورات السائلة**

يتم حاليا عرض اللوحات المسطحة الرائدة في مجال التكنولوجيا٠ تغيير تكوينات البلورات السائلة تحت تأثير مجال الكهربائي والذى يسمح بحجب أو تمرير الضوء٠

- **المصفوفات النشطة لشاشات العرض البلورات السائلة**

تكنولوجيا شاشات العرض البلورات السائلة يتضمن مصفوفة نشطة بدلاً من مصفوفة سلبيه أو تكنولوجيا "المسح المزدوج"

- **ترانزستور الأفلام الرقيقة**

ترانزستور ذو طبقة نشطة حاملة للتيار يعرف بالفيلم الرقيق (عادة ما يكون فيلم من السيليكون) وعلى النقيض من ترانزستورات (معدن– أكسيد– سيلكون المتأثرة بالمجال) التي تتم على شريحة سيليكون وتستخدم كتلة السيلكون كطبقة نشطة٠ في شاشة اللوحة المسطحة، يجب أن يكون الضوء قادر على المرور خلال مواد الركيزة للوصول إلى المشاهد. فمن الواضح أن رقائق السليكون المعتمة لن تكون مناسبةً لتمرير الضوء٠ الزجاج هو الركيزة الأكثر إستخداماً لأنه شفاف للغاية ومتوافق مع خطوات تصنيع أشباه الموصلات التقليدية٠ وحيث أن الزجاج ليس شبه موصل مثل السيليكون وبالتالى يتم ترسيب فيلم رقيق أعلى الركيزة ويصنع الترانزستور بإستخدام هذه الطبقة الرقيقة٠ ومن ثم جاء إسم "الترانزستور الرقيق٠

- **الحركية العالية للشحنات**

مصطلح الحركية هو ثابت التناسب لسرعة إنحراف الشحنات الى شدة المجال الكهربائي المطبق فى أشباه الموصلات٠ الحركية أساسا هى لقياس قيم شحنات التيار (أي

---

[١] المرجع شرائح الترانزستور الرقيقة فى الموسوعة الحرة ويكيبيديا (Wikipedia, the free encyclopedia)

الإلكترونات والثقوب) وإمكانية إنتشارها فى السليكون. تتحرك الإلكترونات بسهولة فى السيلكون أحادى البلورة بسبب تجانس وترتيب الذرات٠ للأسف، يصعب ترسيب أفلام من السيلكون أحادى البلورة على شرائح من الزجاج بسبب إنخفاض نقطة إنصهار الزجاج. في السيليكون متعدد البلورات نجد إختلاف الأشكال البلورية الفردية للروابط البلورية المتكونة عشوائياً إلى بعضها البعض٠ في هذه الحالة، يمكن إنتقال الإلكترونات بسهولة من خلال كل البلورات المختلفة ، لكن من المرجح أنها مبعثرة عند بلوغ الحدود بين البلورات٠ الإلكترونات لها قيم حركية مختلفة فى السيلكون الغير بلورى فإما أن تكون قصيرة أو طويلة المدى٠

- تخفيض تيارات التسرب

تسرب التيار يشير إلى كمية صغيرة من التيار الذي يتدفق (أو يتسرب) من خلال الترانزستور عند التحويل الى "إيقاف تشغيل٠" في الترانزستور المثالي فإن تيار التسرب يساوى صفر، ولكن في الممارسة العملية فإن تسرب التيار دائماً ذو قيمة محدودة٠ أسباب التسرب فى التيار بسبب الجهد في مكثف خلية الصورة (بكسل) لإنخفاضة بين كل إطار يستجد٠ وهكذا يتغيرسطوع خلية الصورة (بكسل)٠ يؤثر تسرب التيار على صفاء تدرج اللون الرمادي في شاشة العرض٠ يمكن أن يتحقق تخفيض قيم تسرب التيار بتحقيق مستويات اللون الرمادي بشكل أدق٠

- الجهد العائق

هو الجهد اللازم لتشغيل الترانزستور، ينبغي أن يكون الجهد العائق منخفض حيث يأخذ جهود منخفضة لتغيير وتفريغ خلايا صور (بكسل) العرض٠ وبالتالي تحويلها لحالة الإيقاف وحالة التشغيل٠

- التكامل بين برنامج تشغيل الدوائر

تحتاج شاشة العرض الى صفوف وأعمده لتحريك العناصر (بكسل) لقراءة بيانات الصورة بشكل صحيح ٠ تحتاج معظم شاشات العرض الى دائرة متكاملة خارجية لتشغيل الدوائر التي تتطلب إتصالات محكمة للصفوف والأعمدة٠ ترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون متعدد

البلورات له القدرة لتحريك التيار وإستخدامها في دوائر التشغيل مما يمكن دوائر التشغيل لتكوينها مباشرة على محيط شاشة العرض مباشرة٠ وهذا ما يسمى التكامل بين برنامج تشغيل الدوائر ٠

- ترانزستور الأفلام الرقيقة من السيلكون الغير متبلور

يصنع بإستخدام طبقة رفيعة من السيلكون الغير متبلور٠ الذرات فى السيلكون الغير متبلور ليس لها ترتيب قصير أو طويل المدى٠ عندما يتم ترسيب فيلم سليكون في درجات الحرارة المنخفضة على الزجاج أو البلاستيك، عادة يتم ترتيب الذرات في الحالة الغير متبلورة. درجات الحرارة المرتفعة تكون مطلوبة إذا كان مطلوب الأفلام متبلورة على شكل سليكون متعدد البلورات٠

- المواد العازلة لبوابة الترانزستور

تدفق التيار فى الترانزستور من المنبع الى المستنزف وليس للبوابة٠ وبالتالي، يجب توضع مادة عازلة بين البوابة وقناة الترانزستور٠ المواد الأكثر شيوعاً التي تستخدم كعازل للبوابة ثاني أكسيد السيليكون٠

- التأكيد على جهد التغذية العالي

وهذا يشير إلى ضرورة إتباع خطوات للإختبار فى الإلكترونيات فى حال تصنيع عناصر جديدة لإختبار الموثوقية بتطبيق الفولتية العالية لها٠

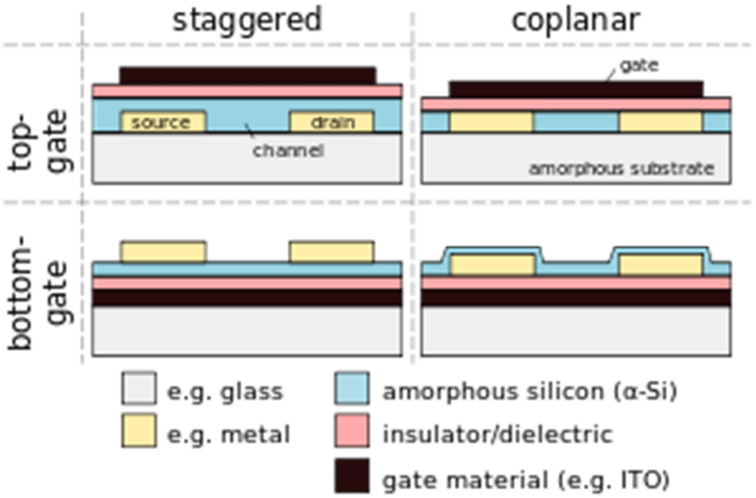
- نموذج الفيزيائى

نموذج لعملية تصنيع الترانزستور إعتمادا على بيانات القياس، بدلاً من نموذج يستند إلى النظريات٠

٧ – ٤ – ٢ مقدمة لترانزستور الأفلام الرقيقة:

ترانزستور الأفلام الرقيقة نوع خاص من الترانزستور المتأثر بالمجال يتم تصنيعه بترسيب فيلم رقيق من مادة شبه موصل نشطة، فضلا عن طبقة عازلة ووصلات معدنية على ركيزة مدعمة عازلة كهربائيا عادة من شرائح السيلكون أو الزجاج (الشكل ٧ – ٨٤)٠

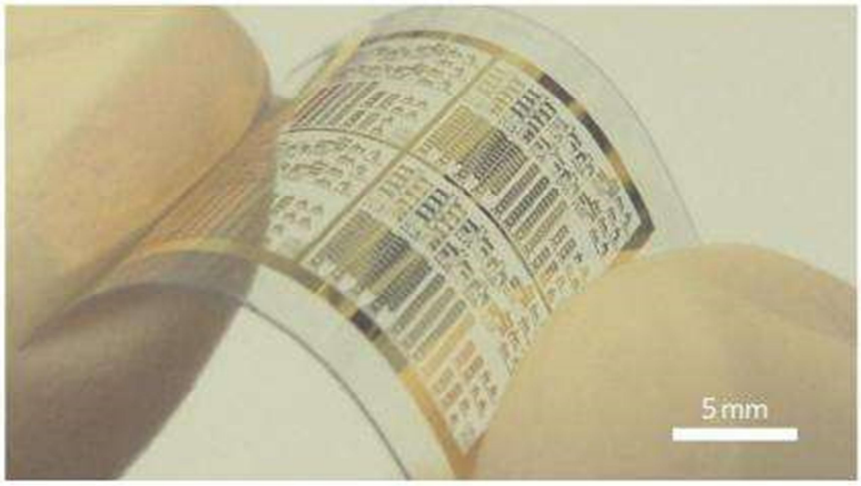
يختلف التطبيق الأساسي لترانزستور الأفلام الرقيقة فى شاشات البلورات السائلة عن الترانزوستور التقليدي حيث أن مواد أشباه الموصلات عادة ما تكون هى الركيزة مثل شريحة السيلكون.



الشكل (٧ – ٨٤) عدة أنواع من هياكل الأفلام الرقيقة

تعتمد خصائص السيليكون المستخدم فى ترانزستور الأفلام الرقيقة على التكوين البلورى، حيث أن طبقة شبه الموصل يمكن أن تكون إما سليكون غير متبلور أو من السيلكون متعدد البلورات أو غيرها من المواد التي تشمل مواد أشباه الموصلات المركبة مثل سلينيد الكادميوم أو أكاسيد المعادن مثل أكسيد الزنك. يمكن تصنيع ترانزستورات الأفلام الرقيقة شفافة تماما كالتى تستخدم فى بناء لوحات عرض الفيديو (الشكل٧-٨٥) بإستخدام مواد أشباه الموصلات الشفافة والإقطاب الشفافة، مثل مادة أكسيد القصدير-إنديوم وأيضا من المواد العضوية المشار إليها بالترانزستورات المتأثرة بالمجال العضوية[٢].

[٢] (OFET) الترانزستور المتأثر بالمجال بإستخدام مواد أشباه موصلات عضوية فى ترسيب قناة الترانزستور (organic field-effect transistor)



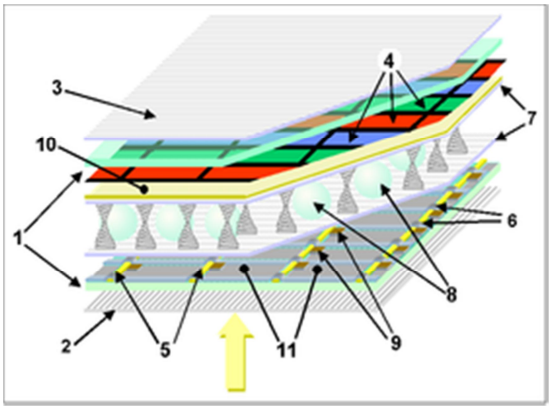
الشكل (٧ – ٨٥) فيلم رقيق للترانزستورات من الكربون نانوتيوب على ركيزة مرنة وشفافة

الركائز التقليدية لا يمكنها أن تتحمل درجة حرارة التغير البلورى[٣] العالية لذا يجب إتمام عملية الترسيب تحت درجات حرارة منخفضة نسبيا٠ آلية ترسيب الأبخرة الكيمائية والفيزيائية عادة تستخدم آلية التناثر٠ أول حلول لمعالجة ترانزستورات الأفلام الرقيقة الشفافة من أكسيد الزنك كانت فى عام ٢٠٠٣ فى المختبرات البرتغالية (سينيمات) فهى أول من قام بتطوير ترانزستورات الأفلام الرقيقة الشفافة فى درجات حرارة الغرفة وأيضا أول من قام بتطوير الترانزستور الورقى[٤] الذي قد يؤدي إلى تطبيقات مثل المجلات وصفحات الجرائد اليومية مع الصور المتحركة٠ أفضل تطبيق معروف لترانزستورات الأفلام الرقيقة فى شاشات البلورات السائلة٠

---

[٣] التحويل الى الحالة الصلبة (Annealing) آلية تسخين تغير الخصائص الفيزيائية وفي بعض الأحيان الكيميائية للمادة. – تشتمل على تسخين المادة إلى درجة أعلى من درجة الحرارة المطلوبة لتكوين البلورات (recrystallization)، والحفاظ على درجة الحرارة المناسبة ثم تبرد٠

[٤] الترانزستور المتأثر بالمجال الورقى (Paper Field Effect Transistor) بإستخدام أوراق من ألياف السيلولوز كطبقة عازلة تستخدم في أكسيد أشباه الموصلات لتصنيع الأفلام الرقيقة للترانزستور المتأثر بالمجال



- 1 - Glass plates
- 2/3 - Horizontal and vertical polarisers
- 4 - RGB colour mask
- 5/6 - Horizontal and vertical command lines
- 7 - Rubbed polymer layer
- 8 - Spacers
- 9 - Thin-film transistors
- 10 - Front electrode
- 11 - Rear electrodes

الشكل (٧-٨٦) هيكل لمصفوفة شاشة ترانزستور الأفلام الرقيقة

يتم تضمين ترانزستور الأفلام الرقيقة داخل الشاشة نفسها للحد من الحديث المتبادل[٥] بين خلية الصورة (البكسل) وتحسين إستقرارها. فى عام ٢٠٠٨ أستخدكت هذه التكنولوجيا فى كثير من أجهزة التلفزيون الملون وأجهزة الأشعة الرقمية وتطبيقات التصوير الإشعاعي العامة. يستخدم ترانزستور الأفلام الرقيقة في كلا من الإلتقاط المباشر وغير المباشر كقاعدة لمستقبلات الصورة في الأشعة الطبية. كما أن شاشات ثنائيات إنبعاث الضوء بالمصفوفة النشطة العضوية أيضا تشتمل على ترانزستورات بآلية الأفلام الرقيقة. يوضح الشكل (الشكل٧-٨٦) **هيكل لمصفوفة شاشة ترانزستور الأفلام الرقيقة لا تتضمن المصدر الفعلي للضوء وعادة ما تكون لمبات الفلورسنت الكاثود البارد أو دايود الضوء المنبعث الأبيض. تستخدم تكنولوجيا ترانزستورات الأفلام الرقيقة لتصنيع ترانزستورات منفصلة لكل خلية صورة (بكسل) على الشاشة حيث أن مقدار الشحنة اللازمة للسيطرة عليه أيضا صغيرة.**

---

[٥] يستخدم (TFT) ترانزستور الأفلام الرقيقة لتحسين إمكانية القراءة فى شاشات عرض الباورات السائلة (readability of LCD panels) وتشتمل على عدد قليل من الأقطاب لكل خلية (electrodes per pixel). الترانزستورات متضمنة فى الشاشة نفسها. تقلل من الحديث المتبادل بين وحدات البكسل وتحسين صورة الاستقرار(crosstalk between pixels and improving image stability). تستخدم أساسا في مستوى دخول الهواتف المزودة بشاشات ملونة، شاشات عرض ترانزستور الأفلام الرقيقة (TFT) تتميز بجودة الصورة أفضل من شاشات العرض بالبلورات السائلة (LCDs).

٧ – ٤ – ٣ تكنولوجيا الأفلام الرقيقة لتصنيع الترانزستور

أصبحت شاشات اللوحات المسطحة متزايدة وتستخدم على نطاق واسع في العديد من المنتجات الجديدة ، مثل الهواتف الخلوية والمساعدات الرقمية الشخصية وكاميرات الفيديو وأجهزة الكمبيوتر٠ يفرض هذا الجيل من الأجهزة الإلكترونية المحمولة متطلبات صارمة لشاشات العرض الخاصه بها بحيث تكون خفيفة الوزن ومحمولة وصلدة وقليلة الطاقة المستخدمة وأن تكون عالية الدقة٠ الشاشات التى تتمتع بكل هذه الصفات تجد مجالات متنوعة واسعة من التطبيقات التجارية في المستقبل٠ المصفوفة النشطة فى شاشات البلورات السائلة[٦] هي الرائدة في مجال تكنولوجيا شاشات اللوحات المسطحة٠ ويطلق عليها إسم المصفوفة النشطة لترانزستور الفيلم الرقيق ، ويتكون عرض[٧] الشبكة أو المصفوفة من الآلاف أو الملايين من عناصر الصورة (البكسل) جميعها تشكل صورة على شاشة العرض٠ يعمل ترانزستور الفيلم الرقيق كمفتاح تشغيل لكل عنصر صورة (البكسل) منفردا لتحويله لحالة التشغبل فى وجود الضوء والتحويل لإيقاف التشغيل فى حالة الإظلام٠ ترانزستورات الفيلم الرقيق هى عناصر نشطة مرتبة فى مصفوفات على شاشات العرض (الشكل٧–٨٧) ٠ ومن هنا أستخدم مصطلح المصفوفة النشطة لترانزستورات الفيلم الرقيق٠ تستخدم مصفوفات شاشات البلورات السائلة النشطة على الزجاج كمادة في عملية التصنيع حيث يتميز الزجاج بالوضوح البصري الممتاز ومتوافق مع المواد الكيميائية المستخدمة في تصنيع أشباه الموصلات القياسية٠ بيد أن الزجاج له صفة غير مرغوب فيها وهى قابليته

---

[٦] مصفوفات شاشات عرض البلورات السائلة النشطة (AMLCD) liquid–crystal displayactive–matrix هى نوع من شاشات العرض المسطحة، وهى التكنولوجيا الوحيدة القابلة للتطبيق لدقتها فى التلفزيونات وشاشات الكومبيوتر المكتبى وأجهزة الكومبيوتر الشخصية والهواتف الذكية بشاشة عرض بلورات سائلة نظرا لخفة الوزن وجودة الصورة ونطاق واسع للألوان وزمن الاستجابة٠

[٧] وتتكون مصفوفة الشبكة من عناصر الصورة البيكسل٠ الآلاف أو الملايين من هذه البيكسل تكون معا صورة على شاشة العرض٠ ترنزستورات الأفلام الرقيقة تعمل كمفاتيح لتشغيل كل خلية (البيكسل) فى وجود (الضوء) فردياً لها أو "إيقاف التشغيل فى حالة (الإظلام)٠ ترنزستورات الأفلام الرقيقة هى العناصر النشطة وهى مرتبة فى مصفوفات على شاشة العرض ٠ وبالتالى كانت تسميتها مصفوفات الأفلام الرقيقة النشطة٠

للكسر مما يستدعى تناولها بعناية لتجنب الكسر٠ ومع ذلك، فى حالة إستخدام البلاستيك كمادة لتصنيع شاشات العرض بدلا من الزجاج حيث يتميز بخفة الوزن والصلادة والمرونة سيكون له تأثير كبير على صناعة الشاشات ولكن ذلك ليس بالمهمة البسيطة ٠

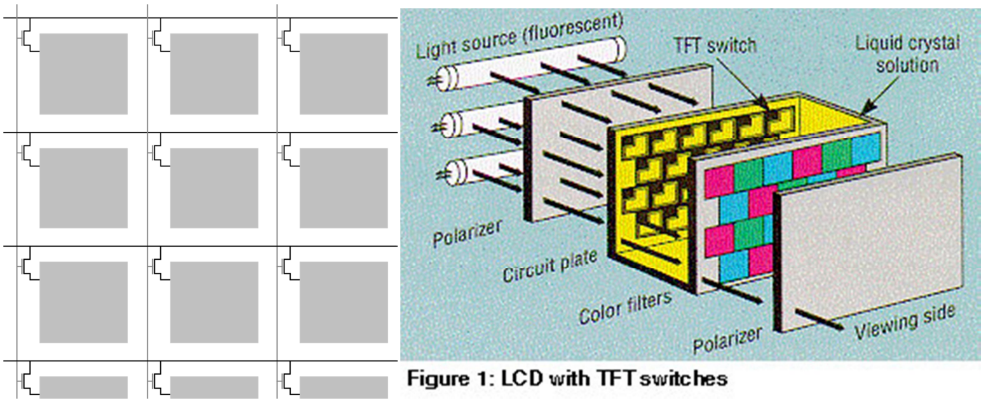


Figure 1: LCD with TFT switches

الشكل (٧-٨٧) رسم تخطيطي لتوزيع خلايا الصور(بكسل)

تطور تكنولوجيا ترانزستور الفيلم الرقيق لإستخدام ركائز من البلاستيك لا تزال في بداياتها٠ كما أن هناك جهود لتصنيع ترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون متعدد البلورات في درجات الحرارة المنخفضة حيث يتمتع بحركية الشحنات العالية وتيار تسرب منخفض وجهد عائق مقبول لتطبيقات عالية الأداء للمصفوفة النشطة لشاشات البلورات السائلة، خاصة بالنسبة لدمج دوائر التحريك[٨] ، لكن معالجة إنخفاض درجات الحرارة الى أقل من ١٥٠ درجة مئوية يجب المحافظة عليها للتوافق مع مواد الركيزة البلاستيكية منخفضة التكلفة٠ بشكل عام ، تم تحقيق أداء متفوق لترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون متعدد البلورات مع عمليات التصنيع بدرجات الحرارة المرتفعة لأن نوعية واجهة عزل البوابة الحرجة حساسة للغاية لدرجة الحرارة٠ عملية التصنيع فى درجات حرارة منخفضة (١٠٠ درجة

[٨] فى الإلكترونيات ، برنامج تشغيل دائرة كهربائية أو المكونات الإلكترونية الأخرى المستخدمة للتحكم في دائرة أو مكون آخر، مثل ترانزستورات عالية الطاقة، وشاشات عرض البلورات السائلة (LCD) والعديد غيرها٠ برنامج تشغيل شاشات الكريستال السائل. تتحكم في المتطلبات المعقدة للجهد المتردد لشاشات الكريستال السائل وأنها بحاجة إلى وحدة تحكم للحفاظ على تحديث معلومات البكسل الفردية لتشغيل هذه الدوائر ٠ عادة ستدمج هذه الدوائر المتكاملة في "الوحدات النمطية شاشات الكريستال السائل" ٠

مئوية)، ستكون متوافقة مع ركائز بلاستيكية مرنة جارى تطويرها بهدف تحقيق ترانزستور الفيلم الرقيق من السليكون متعدد البلورات مع القدرة على تحريك التيار يتجاوز بكثير ترانزستور الفيلم الرقيق التقليدي من السيلكون الغير متبلور المستخدم اليوم لتحقيق قيم تسرب تيار منخفض ومعالجة تدهور الأداء تحت تأثير إنحياز الفولت العالي٠

٧ – ٤ – ٤ الترانزستور بتكنولوجيا الأفلام الرقيقة بين الماضى والحاضر والمستقبل[٩]

بالرغم من أن شاشات العرض بالبلورات السائلة[١٠] موجودة من نصف قرن ، إلا أن متطلبات السوق قليلة حيث أنها ضعيفة الأداء وأن زوايا الرؤية لهذه الشاشات صغيرة وزمن الإستجابة طويل وقصور فى مساحة اللوحات ٠ تغير الموقف بشكل ملحوظ منذ توافر شاشات المصفوفة النشطة[٦] خاصة بعد ظهور ترانزستور الأفلام الرقيقة المصنع من السيلكون الغير متبلور٠ على سبيل المثال فإن الإيرادات في جميع أنحاء العالم من شاشات الأفلام الرقيقة حققت مليار دولار عام ١٩٨٩ وإرتفعت الى ١١٠ مليار فى عام ٢٠١٢ ٠ مما أغرى الكثير من المنتجين الرئيسيين وتزايدت أعدادهم من اليابان الى بلدان "آسيا والمحيط الهادئ" مثل كوريا الجنوبية وتايوان والصين٠ وبالتالى تزايدت أعداد الشاشات التى تم تصديرهاا فى خلال عام واحد من عام ٢٠١١ الى ٢٠١٢ بنسبة ٩% وتعدت الوحدات ٢٢٥ مليون وحدة ٠ في أوائل مراحل الإنتاج الضخم لشاشات البلورات السائلة بإستخدام ترانزستور الأفلام الرقيقة كمنتجات إستهلاكية كانت ذات أسعار مرتفعة مثلا شاشات الكمبيوتر، الألعاب الإلكترونية وأجهزة القياس المستخدمة لهذه الشاشات ٠ في وقت لاحق بسبب التطور التدريجي لتكنولوجيا الإنتاج ، شاع تطبيق شاشات البلورات السائلة بإستخدام ترانزستور الأفلام الرقيقة لدى مستهلكى الألكترونيات مثل التلفزيونات والهواتف المحمولة٠

---

[٩] تكنولوجيا ترانزستور الأفلام الرقيقة – الماضى والحاضر والمستقبل ٠ الدورية العلمية واجهة المجتمع الكهروكيميائية الصادرة فى ربيع ٢٠١٣ للباحث (Yue Kuo)

[١٠] شاشات العرض بالبلورات السائلة (LCD) هى شاشة عرض بصرية إلكترونية مسطحة التى تستخدم الضوء فى تحوير خصائص البلورات السائلة٠

فى نفس الوقت ظهر نوع جديد من ترانزستور الأفلام الرقيقة لرفع أداء بعض خواص العناصر الجوهرية وحل مشاكل الإنتاج٠ وعلاوة على ذلك، فقد توسعت تطبيقات ترانزستور الأفلام الرقيقة أبعد من ذلك٠ ولذلك، يتم إستعراض تاريخ وتطور تكنولوجيا ترانزستور الأفلام الرقيقة ، وكذلك فيما يتعلق بالتنبؤ بإتجاهات التنمية المستقبلية المحتملة٠

٧ – ٤ – ٥ مرحلة ما قبل الإنتاج الكمى لشاشات البلورات السائلة– قبل عام ١٩٩٠

ترانزستور الأفلام الرقيقة هو الترانزستور المتأثر بالمجال٠ هيكل وتكوين وتشغيل الترانزستور المتأثر بالمجال مشابه للترانزستور (معدن– أكسيد سليكون المتأثر بالمجال) والذى يعتبر العنصر الأكثر أهمية في الدوائر المتكاملة الحديثة٠ تاريخ تطور ترانزستور الأفلام الرقيقة والترانزستور (معدن – أكسيد سليكون المتأثر بالمجال) متشابهين كما هو موضح فى الشكل (الشكل٧–٨٨) ٠ ظهر نظريا الترانزستور (معدن – عازل – شبه موصل المتأثر بالمجال) عام ١٩٢٥ ٠ تم تصنيع ترانزستور الأفلام الرقيقة فى وقت سابق من مكونات أشباه الموصلات مثل كاديوم سلفيد أو كاديوم سيلنيد٠ هذا النوع من ترانزستور الأفلام الرقيقة له حركية عالية أكبر من ٤٠ سم ^{٢} / فولت٠ ثانية٠

ظهرت شاشات البلورات السائلة ذات ترانزستور الأفلام الرقيقة[١١] من مركب كاديوم سيلنيد فى عام ١٩٧٣ ٠ ومع ذلك، لم يتحقق إنتاج كمى لهذا النوع من الشاشات على ركائز بمساحات كبيرة٠ من بين العديد من الأسباب المحتملة بعدم تحقيق إنتاج كمى

---

[١١] ترانزستور الأفلام الرقيقة لشاشات عرض البلورات السائلة (TFT–LCD) توضح آلية ترتيب الدائرة مشابه لتقنيات أشباه الموصلات ٠ ومع ذلك، بدلاً من تصنيع الترانزستورات من السيليكون التي تتشكل في رقاقة سيليكون بللوري، فهى مصنوعة من فيلم رقيق من السليكون الغير متبلور التي ترسب على مسطح زجاجى٠ يتم ترسيب طبقة السيليكون ل ترانزستور الأفلام الرقيقة لشاشات عرض البلورات السائلة (TFT–LCD) عادة باستخدام عملية التبخير (PECVD). الترانزستور يحتل جزء صغير من المساحة لكل بكسل وبقية فيلم السليكون يزال بعيداً للسماح للضوء بالمرور بسهولة من خلالها٠

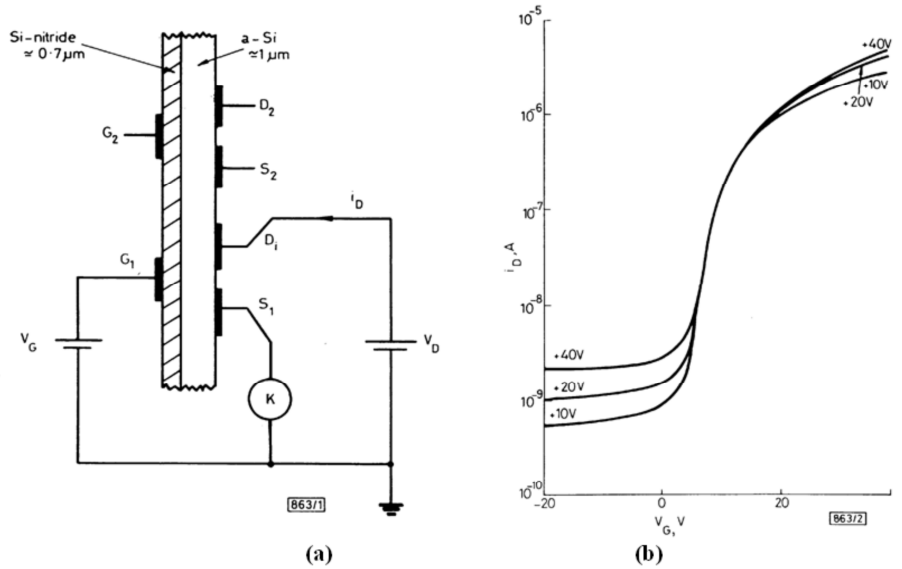
التعقيدات فى نظم التحكم فى خواص مواد الفيلم الرقيق من مركبات اشباه الموصلات وعدم موثوقية العناصر مع الشاشات ذات المساحات الكبيرة٠

ترانزستور أحادى القطب من الجرمانيوم	عام ١٩٤٧		
ترانزستور أحادى القطب من السيلكون	عام ١٩٥٠		
إنتاج كمى ترانزستور أحادى القطب من السيلكون	عام ١٩٥٢		
ترانزستور مستوى متأثر بالمجال فى دائرة متكاملة	عام ١٩٥٨		
ترانزستور متأثر بالمجال (معدن–اكسيد–سليكون)	عام ١٩٦٠		
دوائر متكاملة رقمية تجارية	عام ١٩٦١		
		عام ١٩٦٢	ترانزستور الأفلام الرقيقة من كادميوم سلفيد عام
ترانزستور م م (م – ا – س بقناة) دائرة متكاملة	عام ١٩٦٣		
ذاكرة الوصول العشوائي	عام ١٩٦٨		
المعالجات	عام ١٩٧١		
		عام ١٩٧٣	شاشة بلورات سائلة أفلام رقيقة من كادميوم سلينيد
		عام ١٩٧٩	ترانزستور الفيلم الرقيق من سليكون غير بلورى
		عام ١٩٨٩	شاشة بلورات سائلة أفلام رقيقة ١٠ بوصة تجارية

الشكل (٧– ٨٨) تاريخ ترانزستورات الأفلام الرقيقة وتطور الدوائر المتكاملة

في عام ١٩٧٩ صدر تقرير جاء فيه أن هناك طفرة علمية فى مجال الأفلام الرقيقة لتصنيع ترانزستور من السليكون الغير متبلور[١٢] المهدرج[١٣] حيث تم ترسيب طبقة بوابة الترانزستور من مادة نتريد السيلكون ٠

[١٢] السيلكون الغير متبلور (a–Si) هو سيلكون ليس له شكل بلورى يستخدم فى تصنيع الخلايا الشمسية وترانزستورات الأفلام الرقيقة



الشكل (٧ –٨٩) خصائص منحنيات النقل لأول هيكل ترانزستور من السيلكون الغير متبلور

يوضح الشكل (٧–٨٩ أ) الهيكل التكوينى للترانزستور والشكل (٧–٨٩ ب) يوضح منحنى خواص النقل لأول ترانزستور بتكنولوجيا الأفلام الرقيقة من السليكون الغير متبلور٠ عملية التصنيع بسيطة والترانزستور فى حالة إستقرار فى درجة حرارة الغرفة العادية تحت الظروف الجوية٠ تم ترسيب الفيلم بتقنية البخار الكيميائي بالبلازما[١٤] المحسنة، والتى يمكن تسويقها تجاريا بسهوله ، حيث أنها تسمح بمساحات كبيرة وركائز من الزجاج ويمكن ترسيبها عند درجات حرارة منخفضة مع الإنتاجية العالية٠ قيم حركية حاملات الشحنة فى الترانزستور بنكنولوجيا الأفلام الرقيقة المصنع من السليكون الغير متبلور أصغر من ١ سم^{٢}

---

[١٣] **قد مكن السيلكون الغير متبلور المهدرج (Hydrogenated amorphous) لتصنيع مصفوفات شاشات عرض البلورات السائل النشطة الهيمنة على سوق شاشات العرض المسطحة٠ هذا تطوير انتصار أداء قدرات التصنيع٠ ترانزستور الأفلام الرقيقة من السيلكون الغير متبلور المهدرج يشتمل على عدة قيود فى الأداء الأساسي، التكوين الغير متبلور مقترن باستخدام تقنية ترسيب البخار الكيميائي بالبلازما المحسنة (PECV) plasma–enhanced chemical vapor deposition سمح للعناصر المصنعة مع إمكانية تكرار نتائج إستثنائية وتوحيدها على مساحة عرض كبيرة جداً**

[١٤] **تقنية ترسب البخار الكيميائي البلازما محسنة (PECVD) Plasma–enhanced chemical vapor تستخدم لترسيب أفلام رقيقة من الحالة الغازية الى الحالة الصلبة على ركيزة٠ تشتمل التفاعلات الكيميائية فى التقنية التي تحدث بعد إنشاء البلازما للغازات المشاركة فى التفاعل. عادة تتكون البلازما بتقنية ترددات الراديو (التيار المتغير) أو تقنية التفريغ المباشر (DCdischarge) بين قطبين ، المسافة بين القطبين مليئة بالغازات المشاركة فى التفاعل٠**

/ فولت – ثانية ، قيم تيار القطع أصغر من ١٠ – ١٢ امبير ، نجد أن نسبة تيار التشغيل الى تيار القطع أكبر من ١٠ ٦ والجهد العائق أصغر من ٣ فولت وميل الجهد العائق[١٥] أصغر من ٥و٠ فولت/عشرة أمثال تيار المستنزف٠

الشكل (٧ – ٩٠) خلايا الصورة (بكسل) لا تحتاج إلى عرضها كمربع صغير – هذه الصورة توضح طرق بديلة لإعادة بناء صورة من مجموعة من قيم بكسل بإستخدام نقاط أو خطوط أو تنقية ناعمة

هذه الخصائص جيدة بما يكفي (الشكل ٧ – ٩٠) لخلايا الصورة (البكسل)[١٦] فى الطبقة البلورية السائلة للتبديل في شاشة العرض التى تعمل عند ١٢٠ هرتز أو أقل٠ وهناك عدد قليل من العيوب فى ترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون الغير المتبلور٠

- أولا: فى تطبيقات السرعات العالية أو قيم التيارات الكهربائية الكبيرة تكون حركية الشحنات صغيرة جدا مما يؤثر على دوائر التحريك فى العرض فى الشاشات أو لتحريك خلايا الصورة (البكسل) فى ثنائيات الإشعاع الضوئى العضوية [١٧]٠ ومن ثم فإن البوابة وبيانات تحوير الإشارات لشاشات البلورات السائلة يجب توفيرها بشريحة دائرة متكاملة متصلة بمحيط الشاشة ٠

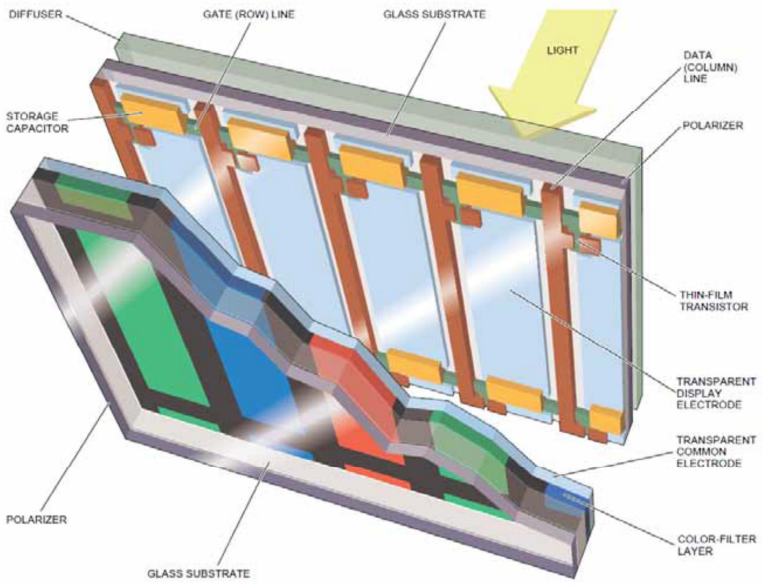
---

[١٥] الميل الفرعى للجهد العائق هو أحد خصائص العلاقة بين التيار والجهد للترانزستور المتأثر بالمجال (م أ س)

[١٦] في مجال التصوير الرقمي، البكسل (**pixel**) هو نقطة مادية في صورة نقطية (raster image) أو أصغر عنصر معنون فى صورة نقطية (display deviceall points addressable)٠ يستخدم مصطلح البكسل للإشارة إلى عنصر عددي واحد في تمثيل متعددة العناصر. االمصطلح مزيج من بيكس (**pix**) وتعنى صورة، والعنصر. يوضح بعض الباحثين مصطلح بيكسل على أنه كخلية الصورة (**picture cell**)،

[١٧] طبقة الإنبعاث الضوئى الكهربائى فى دايود الإشعاع الضوئى العضويى (**OLED**) هى فيلم من مركبات كيميائية التى تشع ضوء فى استجابة للتيار الكهربائي. هذه الطبقة من مواد أشباه الموصلات العضوية تقع بين قطبين؛ عادة، واحد على الأقل من هذه الأقطاب من مادة شفافة.

- **ثانيا: فى الترانزستور بتقنية الأفلام الرقيقة نجد أن قيم تسرب التيار كبيرة مع ظروف التعرض للضوء [١٨] حيث أن مادة السيلكون الغير متبلور المصنع منها الترانزستور هى موصل ضوئى، تم حل هذه المشكلة بتغطية الترانزستور بمادة معتمة حاجبة للضوء٠ يتم إعداد المادة الحاجبة للضوء فى شكل مصفوفة سوداء حول كل خلايا الصورة (البكسل) لمنع تسرب الضوء من خلايا الصورة المجاورة٠**
- **ثالثا: يجب الأخذ فى الإعتبار إستقرارية ترانزستور الفيلم الرقيق على سبيل المثال يتحرك الجهد العائق تحت ظروف الإجهاد الكبيرة٠ إلا أن هناك العديد من الوسائل لعدم تحريك الجهد مثل تطبيق جهد إنحياز عكسي٠**



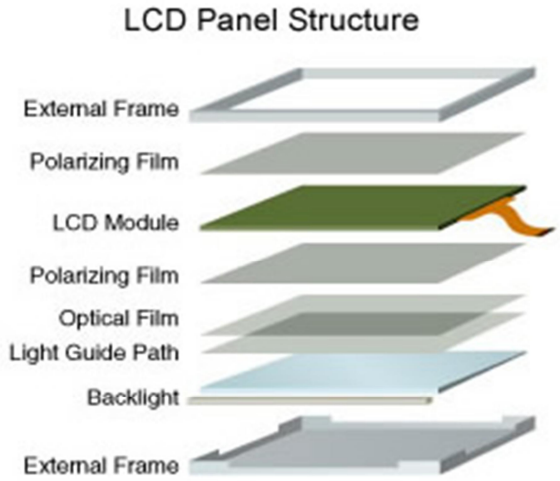
الشكل (٧ – ٩١) شكل تخطيطى لترانزستور الفيلم الرقيق لشاشات عرض البلورات السائلة

يعتبر ترانزستور الفيلم الرقيق المصنع من السيلكون الغير متبلور أفضل العناصر المستخدمة لبيانات تحوير إشارات عرض البلورات السائلة للمساحات الكبيرة فورا بعد

---

[١٨] في التصوير الفوتوغرافي، قيمة التعريض (EV) **exposure value**) هو رقم يمثل تركيبة لمصراع السرعة فى الكاميرا ورقم (ف) (f–numbercamera **and** shutter speed **'s**) ، بحيث أن كافة التركيبات التي تعطي نفس التعريض لها نفس القيمة (EV) لأي إضاءة مشهد ثابت(luminance **fixed scene**) ٠

إعدادها٠ حققت كثير من الشركات المنتجة الهدف من الإنتاج الكمى لشاشات العرض المستوية بجودة عالية٠ يوضح الشكل (٨) الهيكل التكوينى الشائع لترانزستور الفيلم الرقيق لشاشات عرض البلورات السائلة٠ العناصر المكونة الرئيسية (الشكل ٧ – ٩) هي اللوحة الخلفية ، طبقة البلورات السائلة، مرشح اللون[١٩] (الشكل ٧ – ٩٢) و(الشكل ٧-٩٣) أمام الشاشة، طبقات مستقطبة[٢٠] وضوء خلفى٠ تحنوى اللوحة الخلفية على عدد كبير من خلايا الصورة (البكسل) متصلة مع بوابة أفقية وخط بيانات رأسى٠ كل خلية صورة (بكسل) تشتمل على ترانزستور فيلم رقيق مرفق به مكثف تخزين للشحن ٠ عادة ما يتم التعبير عن مساحة الشاشة بالبعد القطري بوحدت قياس البوصة٠ تم تأسيس سلسلة من شركات لإنتاج الشاشات وتوريدها تشتمل على مواد البلورات السائلة ومعدات الإنتاج والمواد المرتبطة بها٠

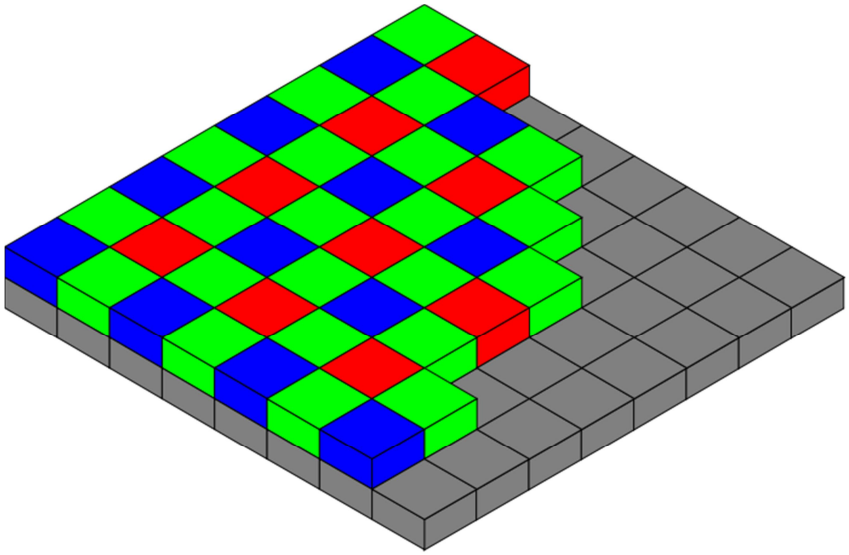


الشكل (٧-٩٢) العناصر المكونة الرئيسية لشاشات عرض البلورات السائلة

---

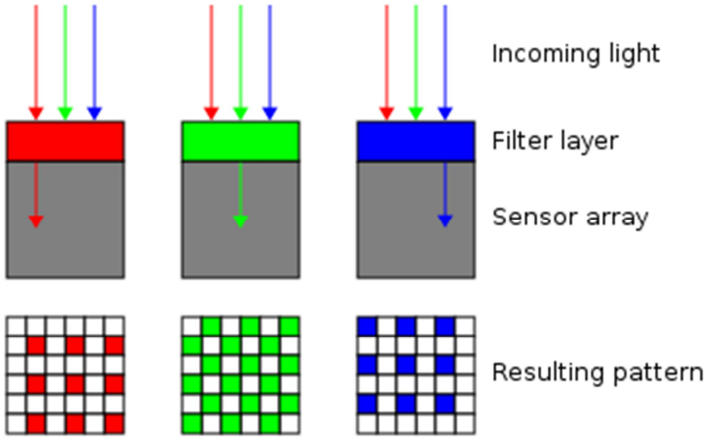
[١٩] مرشح باير الفسيفساء (Bayer filter mosaic) هو مصفوفة مرشح ألوان (CFA) color filter array لترتيب مرشحات الألوان (أحمر – أخضر – أزرق) (RGB) على شبكة مربعة من أجهزة استشعار الصورة. يستخدم ترتيبها الخاص لمرشحات الألوان يستخدم فى الغالب شريحة واحدة رقمية لأجهزة استشعار الصورة (image sensors) المستخدمة في الكاميرات الرقمية، كاميرات الفيديو الرقمية٠ والماسحات الضوئية لإنشاء صورة ملونة. نمط المرشح ٥٠% للون الأخضر و٢٥% للون الأحمر و٢٥% للون الأزرق٠ ومن ثم أيضا يسمى (RGGB RGBG, GRGB, or)

[٢٠] وظيفة المستقطب (polarizer) تحسين اللون والتعريف، مما يجعل من الممكن أن نرى على شاشات البلورات السائلة. إذا تم إزالة المستقطبات من شاشات البلورات السائل، سيكون من المستحيل التعرف على الأحرف أو الرسومات٠



الشكل (٧-٩٣) ترتيب باير لمرشحات ألوان فى مصفوفات بكسل لجهاز إستشعار

وحيث أن مصفوفات ترانزستور الفيلم الرقيق تمثل الجزء بالغ الأهمية لتحوير بيانات العرض فى البلورات السائلة فإن معظم وحدات البحث والتطوير بذلت الجهد لحل مشاكل الإنتاج على سبيل المثال:



الشكل (٧-٩٤) مقطع لأجهزة الإستشعار الألوان

- تحديد هياكل ترانزستور الفيلم الرقيق المناسبة:

يمكن تصنيع الترانزستور بهياكل مختلفة إعتمادا على المرونة فى تقنية ترسيب الأفلام الرقيقة، على سبيل المثال الموضع النسبي لأقطاب بوابة ومنبع ومستنزف الترانزستور وإن كان هناك حاجة لطبقة قناة التخميل٠ وبناء الخصائص الكهربائية مثل قيم حركية الشحنات

والنسبة بين تيار التشغيل وتيار القطع والجهد العائق والموثوقية وهياكل الطبقات الثنائية والثلاثية المتداخلة كما هو موضح فى الشكل (٧-٩٥ أ وب) ومن جانب آخر يوضح الشكل (٧-٩٥ج) الهيكل الأكثر ملاءمة لترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون متعدد البلورات٠

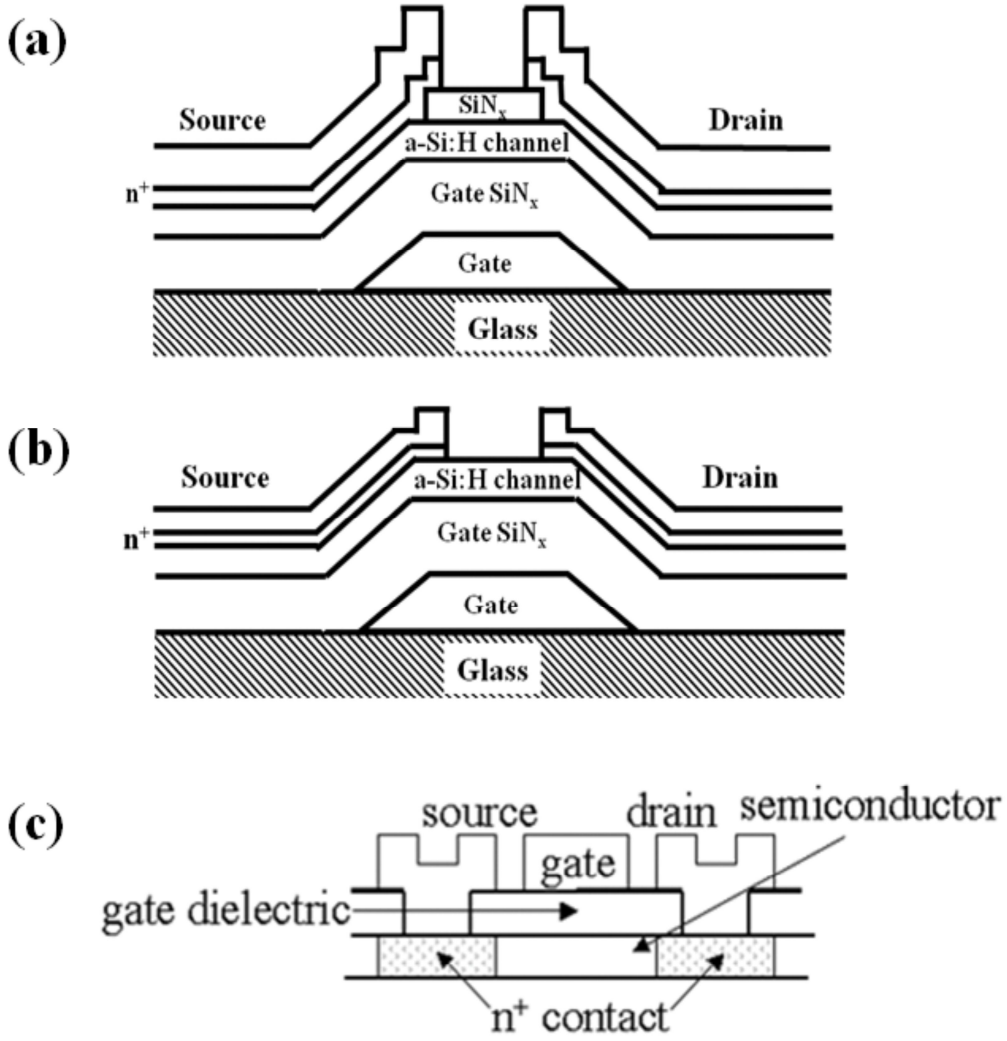
- **التعمق فى مفهوم الفيزياء الأساسية للترانزستور وموثوقيتة:**

تم تنفيذ النمذجة والمتطلبات العملية على نطاق واسع لعملية تصنيع ترانزستور الفيلم الرقيق المصنع من عمليات مختلفة منها تأثير نطاقات الطاقة فى مواد أشباه الموصلات ، العيوب فى طبقة البوابة (الطبقة العازلة) وكثافة شحنات الواجهة والخصائص الأخرى ذات العلاقة مثل العمر وآلية الفشل٠ وتوضيح حلول لإستقرار الترانزستور طويل الأجل ومنها خصائص المواد المستخدمة وذات العلاقة٠

- **التجهيزات الأساسية لعمليات التصنيع وتحديد المساحة الكبيرة لمعدات الإنتاج :**

تقييم وحدات العملية مثل تقنيات التبخير والتناثر والحفر الضوئى ومناولة الركائز والأخرى ذات العلاقة٠ مع مراعاة أن كل العمليات قد وضعت لتحقق متطلبات إنتاج المساحات الكبيرة مثل معدل ترسيب عالى مع التكوين البلورى الجيد – إنتقائية الحفر الضوئى الكبير – أفضل العمليات من خلال تجارب الأداء وإستقرار الترانزستور٠

الجيل الأول من الركائز المستخدمة من الزجاج بأبعاد على سبيل المثال ٣٠ x ٤٠ سم لتصميم المعدات وتقنيات الإنتاج لصناعة الدوائر المتكاملة٠ وبالرغم من تحديد المتطلبات العامة لخواص الترانزستور وخواص مواد الأفلام الرقيقة إلا أن شركات مختلفة تخيرت هياكل ترانزستور الأفلام الرقيقة وقامت بتطوير عمليات الترسيب والنقش المختلفة٠



الشكل (٧-٩٥) ترانزستور الفيلم الرقيق مع مقلوب الطبقات المتداخلة (أ) الطبقات الثلاثية (ب) الطبقات الثنائية (ج) الهياكل المستوية

٧ – ٤ – ٦ الإنتاج الكمى والنهوض بالتكنولوجيا فى الفترة من ١٩٩٠ حتى ٢٠١٠

مدفوعين بالنجاح الكبير لإدخال الترانزستور بتكنولوجيا الأفلام الرقيقة فى شاشات البلورات السائلة" لأجهزة الكمبيوتر المحمول٠ ركزت الشركات الصناعية جهودها على المنتجات الإستهلاكية خاصة التلفزيونات ذات المساخات الكبيرة على سبيل المثال شاشات البلورات السائلة بقطر من ٥٥ الى ٦٥ بوصة أصبحت متوفرة على نطاق واسع في الوقت الحالى٠ معظم هذه الشاشات ذات دقة عالية جداً، على سبيل المثال (١٩٢٠ x ١٠٨٠) ٠

طورت شركة شارب فى عام ٢٠٠٧ شاشات الكريستال السائل" بترانزستور الفيلم الرقيق ١٠٨ بوصة، كما هو موضح في الشكل (٧-٩٦)٠ تم تصنيع حصة صغيرة من المنتجات صغيرة الحجم ودقة وضوح عالية بتطبيق تقنيات الترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون متعدد البلورات٠

الشكل (٧-٩٦) شاشات الكريستال السائل" بترانزستور الفيلم الرقيق ١٠٨ بوصة بدقة وضوح (١٩٢٠ x ١٠٨٠) من شركة شارب عام ٢٠٠٧

فى نفس الوقت ، تم تصنيع عدد من أجهزة التصوير بالأشعة السينية الطبية بإستخدام مصفوفات ترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون الغير متبلور٠ وأيضا تم تطوير التكنولوجيات ذات الصلة بهذه المنتجات مثل البلورات السائلة أو المواد المتلألأه وتصميم الشاشات٠ خلال هذه الفترة تركزت أنشطة الصناعة على زيادة الإنتاجية وخفض تكلفة الإنتاج وزيادة حجم الشاشة٠ هيمنت منتجات شاشات البلورات السائلة بترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون الغير متبلور على سبيل المثال تشمل الإنجازات الرئيسية التالية.

- تكبير حجم الركيزة الزجاج

إستمر زيادة مساحة الركيزة الزجاج ، من الجيل الأول لركائز بأبعاد ٣٠ ×٤٠ سم إلى الجيل العاشر لركائز بأبعاد من ٢٨٨×٣١٥ سم فى المتوسط زاد حجم الركيزة بمعدل ٣٠% فى السنة بما يتسق مع معدل نمو حجم الشرائح في صناعة الدوائر المتكاملة الكبيرة جدا٠ فإنه يمكن إنتاج الحجم الكبير من مصفوفات ترانزستور الأفلام الرقيقة وضم عدد كبير من وحدات العرض على كل ركيزة، كل منها ساهم فى تخفيض تكلفة الإنتاج وزيادة الإنتاجية ٠

على سبيل المثال أمكن تصنيع ثلاث وحدات من مصفوفات ترانزستور الأفلام الرقيقة بأبعاد ٣٢ بوصة على ركيزة من الزجاج (الجيل الخامس) بينما أمكن تصنيع ست وحدات من مصفوفات ترانزستور الأفلام الرقيقة بأبعاد ٦٥ بوصة على ركيزة من الزجاج (الجيل العاشر)٠ إنخفض سمك الركيزة الزجاج مع الزيادة في حجم الركيزة٠ ومع ذلك حجم الركيزة الزجاج المستخدم في هذه الصناعة لم يوحد من الشركات المنتجة٠

- تطور معدات الإنتاج

تطورت معدات إنتاج مصفوفات ترانزستور الأفلام الرقيقة لعدة أجيال لتتكيف مع حجم الركيزة الزجاج وتحسين سرعة التصنيع ومعدل الترسيب وزمن مناولة الركيزة وأقل توليد للجسيمات وأساليب أفضل لتنظيف سطح الشاشة والعائد٠

- التبسيط فى تقنيات التصنيع

تحسين إنتاجية مصفوفات ترانزستور الأفلام الرقيقة بتخفيض عدد خطوات الأقنعة على سبيل المثال من سبعة أقنعة الى خمس الى أربع أقنعة وغالبا في تركيبة هيكل الإنحياز الذاتى٠ فى نفس الوقت إرتفعت نسب فتحات خلايا الصورة (البكسل) على سبيل المثال إرتفاع النسبة المئوية لمساحة نقل الضوء من خلال تصميم تخطيط جديد أو تخفيض الأبعاد الحاسمة وإستهلاك الشاشة للطاقة والسطوع وتحسين نسبة التباين تبعاً لذلك٠

- المعرفة بمتطلبات المساحات الكبيرة من الكيمياء، والفيزياء، والحدود

على سبيل المثال، تحديد خصائص المواد بنسب مختلفة قليلة من مادة نتريد السيلكون لترسيب المادة العازلة للبوابة للحصول على قيم صغيرة للجهد العائق لترانزستور الأفلام الرقيقة٠ من خلال هذه المعلومات يمكن تقصير وقت بدء التشغيل لخط إنتاج جديد٠ بالإضافة الى العلاقة المعقدة بين عمليات التبخير الكيمائى وخواص نتريد السيلكون وتجانس سمك فيلم المساحة الكبيرة وتحديدها بإستخدام مفهوم الطاقة الحرجة٠ تحدد هذه النتيجة معدل الترسيب الذى يمكن تحقيقه عمليا٠ كل على حدة، وقد تحققت وسائل الحفر التصويرى عالية الإنتقاء بين طبقة المادة ذات الموصلية (ن$^{+}$) والمادة الجوهرية للسيلكون الغير متبلور٠ هذه العملية رفعت العائد ووسعت عملية فتحات الطبقات الثنائية للترانزستور

الأفلام الرقيقة. وعلاوة على ذلك، آلية الأضرار الإشعاعى[٢١] لعملية الحفر بالأيونات[٢٢] وأسلوب إصلاح ترانزستور الأفلام الرقيقة التي كانت حاسمة بالنسبة لعائد الإنتاج. مؤخرا، الحفر فى النحاس بتقنيات البلازما فى درجة حرارة الغرفة الذي مكن من إنتاج شاشات المساحات الكبيرة عالية الدقة. فى نفس الوقت تم تطوير آلية جديدة لتطبيقات الترانزستور الأفلام الرقيقة بإستخدام أبعد لتحريك خلية الصورة (البكسل) فى شاشات العرض بالبلورات السائلة – كما هو موضح في الفئتين التاليتين.

- **تطور تكنولوجيا ترانزستور الأفلام الرقيقة المستندة إلى السيلكون**

على الرغم من التقدم الذى تم تحقيقه في تصنيع ترانزستور الأفلام الرقيقة ذات المساحة الكبيرة من السيلكون المتبلور متخلفاً عن نظيره من السيلكون الغير متبلور، فقد كانت هناك جهود مستمرة في تطوير التكنولوجيا. على سبيل المثال عمليات التبلور التقليدى من السيلكون الغير متبلور الى سيلكون متعدد البلورات كانت مقيدة بالتكلفة المرتفعة أو بطول زمن عملية الإنتاج. لحل هذه المشكلة تم تطوير عملية التبلور الناجمة عن المعادن وإستخدام تقنية النبضات[٢٣] لتسريع عملية التبلور. سرعة عملية التبلور السابق

---

[٢١] أضرار الإشعاع (Radiation Damage)– الأيونات النشطة والفوتونات والإلكترونات والتسرب العازل ثانى أكسيد السيلكون/سيلكون (SiO2/Si) وشحنات ثابتة ومتحركة وتكوين حالة السطح

[٢٢] تقنية النقش بتفاعل الأيون Reactive ion etching (RIE) لبلورات الجرمانيوم الغير متبلورة (amorphous germanium) ، وسبائك الجرمانيوم والسيلكون وأكسيد الجرمانيوم. النقش هى تقنية لإزالة المواد من سطح القناع لحماية مناطق سطح الرقاقة. أمثلة صور مقاومة أو نقش طبقة أكسيد الرطب"– تغمر الركائز مغمورة فى محلول تفاعلى (etchant) . يتم إزالة طبقة بتفاعل كيميائي أو بالإنحلال. يجب أن تكون نواتج التفاعل قابلة للذوبان وتجري بعيداً بمحلول الإزالة. الحفر أو الإزالة الجافة (Dry Etching) تغمر الركائز فى غاز تفاعلى (بلازما) بالقصف الأيونى . يتم إزالة طبقة ليكون محفوراً بتفاعلات كيميائية و/أو الوسائل الفيزيائية. يجب أن تكون منتجات التفاعل متقلبة وتتم بعيداً في تيار غاز التفاعل.

[٢٣] تتطلب آلية التبلور فى درجات الحرارة المنخفضة عشرات الساعات وآلية التصلب الحرارى السريع بالنبضات (PRTA) pulse rapid thermal annealing لتقليل زمن التبلور وهى قادرة فى التحكم فى درجات حرارة العملية بمعنى زيادة سريعة فى درجة الحرارة وهبوطها فى زمن قصير جدا. تقليل زمن التبلور يسمح بعملية تبلور عند درجة حرارة عالية وبالتالى يتم تسريع معدل نمو البلورات المتوقع. وآلية التصلب الحرارى السريع بالنبضات (PRTA) تشكل ترانزستورات أفلام رقيقة من السيلكون متعدد البلورات مع إستخدام درجات حرارة منخفضة وركائز من الزجاج بمساحات كبيرة.

إستخدامها كانت بطيئة جداً وتحتاج الى أكثر من ١٠ ساعات عند درجة حرارة ٥٠٠ درجة مئوية ويمكن تحسين نوعية البلورات٠ من ناحية أخرى ظهرت تقنية تصنيع ترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون متعدد البلورات بجودة عالية بإستخدام تقنيات الليزر[٢٤] الحساسة وتقنيات الليزر المعقدة٠ من خلال برنامج تشغيل دوائر التحريك الفنية وحتى إكتمال النظام على الزجاج والذى يشتمل على وحدة المعالجة المركزية والذاكرات ودوائر الدخل والخرج قد تحققت٠ ظهر بعد ذلك بشكل منفصل تطبيقات جديدة لترانزستور الفيلم الرقيق منها جهاز ذاكرة غير متغير بإستخدام بنية البوابة العائمة[٢٥] ٠ أيضا، على أساس الخواص الكيماوية والكهربائية والضوئية والحيوية وأجهزة الإستشعار المغناطيسي وأجهزة الكشف وذلك بتغيير هياكل الترانزستور ومكونات الفيلم الرقيق والأجهزة ذات العلاقة ٠

➢ مواد أشباه الموصلات بديلة لترانزستور الأفلام الرقيقة

هناك جهود مستمرة في البحث عن أنواع جديدة من ترانزستور الأفلام الرقيقة على أساس السيلكون لتحسين الأداء ولخفض تكاليف الإنتاج٠ وعلى الرغم من أن تصنيع مصفوفات ترانزستور الأفلام الرقيقة على أساس السيلكون أصبح روتيني عند درجات حرارة منخفضة حوالى ٣٠٠ درجة مئوية فإن الخطوات الحاسمة تتم بآليات التفريغ بتقنيات التبخير الكميائى أو بتقنية التناثر وآليه أضرار الإشعاع[٢٦] ٠ إذا تم إستبدال هذه التقنيات بعمليات بدون آلية

---

[٢٤] مصطلح (LASER) إختصار لتضخيم الضوء بحفز إنبعاث الإشعاع Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ٠ يمكن إنتاج الضوء بلعمليات الذرية التى تولد ضوء الليزر٠ يتكون عنصر الليزر من تجويف بصري ونظام ضخ ووسيلة مناسبة لتجميع الضوء٠

[٢٥] تكوين خلايا الذاكرة ذات البوابة العائمة floating gate memory cell (TFT) تشتمل على ركيزة عليها مادة عازلة ومنبغ أو منبعان أو منطقة مستنزف مدفونين فى المادة العازلة٠ بالإضافة يشتمل العنصر طبقة سيلكون متعدد البلورات بموصلية (ب) تغمر السطح المستوى الفرعى والبوابة العائمة على طبقة سليكون متعدد البلورات بموصلية (ب) ٠ يتم ترسيب طبقة سيلكون البوابة العائمة بتقنية التبخير عند ضغط منخفض (CVD) تقع تحت طبقة نفق الأكسيد وأعلى طبقة الكتلة

[٢٦] آلية النقش بإستخدام تفاعلات الأيونات Reactive Ion Etching (RIE) وهى ألية نقش كيميائية مصحوبة بقصف أيونى – القصف الأيونى يفتح مساحات للتفاعلات وقد ينتج عن ذلك بعض الأضرار الإشعاعيى فى المادة

التفريغ ربما يتم تخفيض تكلفة الإنتاج. كما أن هناك إفتقار إلى عملية الإنتاج الفعلي للمساحات الكبيرة بسبب الحركية العالية للشحنات مع موثوقية جيدة للترانزستور بإستخدام السيلكون متعدد البلورات. ترانزستور الأفلام الرقيقة العضوى[٢٧] وهو ترانزستور ذو قناه موصلية (ب) يمكن أن يكون بديلا لترانزستور الأفلام الرقيقة من السيلكون الغير متبلور حيث يمكن تصنيع أفلام أشباه الموصلات من البلومر مغلفة بطبقة متجانسة بآلية قوة الطرد المركزي[٢٨] ، وترسيبها على ركيزة فى درجة حرارة الغرفة بدون إستخدام آليات التفريغ. هناك العديد من الإختيارات لمواد أشباه الموصلات العضوية، تم تصنيع ترانزستور الأفلام الرقيقة من بعض المواد العضوية لها حركية كبيرة بتأثير المجالات بالمقارنة بمادة السيلكون الغير متبلور. فهناك العديد من التحديات فى هذا المجال. للوصول الى خواص ترانزستور أفلام رقيقة جيدة ، فإن الجزيئات العضوية تحتاج الى الإنحياز على الواجهة أو تكوينها فى بلورات كبيرة وقليلة العيوب وهذا ليس من السهل. عادة يتم تصنيع ترانزستور الأفلام الرقيقة العضوى من جزيئات عضوية صغيرة. منها بينتاسيني[٢٩] لها خصائص أفضل من تلك المصنوعة من الجزيء الكبير من البوليمرات. ويتم ترسيبها بآليات التفريغ، على سبيل

---

[٢٧] ترانزستور عضوى متأثر بالمجال (organic field-effect transistor (OFET يستخدم فى تشكيل القناة فى الترانزستور مادة شبه موصل عضوية ويمكن تصنيعة إما بآلية التبخير فى محيط مفرغ لجزيئات صغيرة من المادة المستهدفة بصب محلول البوليمرات (by solution-casting of polymers or small molecules) ، أو آلية نقل ميكانيكية لطبقة العضوية من بلورات أحادية على الركيزة (mechanical transfer of a peeled single-crystalline organic layer onto a substrate) . وتم تطوير هذه العناصر لتحقيق تكلفة منخفضة ، ومنتجات الإلكترونية ذات مساحة كبيرة وعناصر الإلكترونيات القابلة للتحلل (biodegradable electronics.) . وقد تم تصنيع هذه العناصربأشكال هندسية مختلفة.

[٢٨] الطلاء الدورانى (Spin coating) آلية لترسيب فيلم رقيق منتظم على ركائز مسطحة. عادة توضع كمية صغيرة من مادة الطلاء فى وسط الركيزة. ثم تحريك الركيزة بشكل دورانى بسرعة عالية من أجل نشر مواد الطلاء بقوة الطرد المركزي.

[٢٩] بينتاسيني (Pentacene) هى مادة هيدروكربون عطرية حلقية (polycyclic aromatic hydrocarbon) تتكون من خمس حلقات البنزين تنصهر خطيا (five linearly-fused benzene rings) . هذا المركب هو مركب عضوى شبه موصل .

المثال التبخر الحراري أو التبخير بشعاع إلكترون٠ إستقرارية الترانزستور الأفلام الرقيقة العضوية فى الهواء محل إهتمام مشترك٠ هذه التحديات قد تصبح أكثر خطورة عندما يصنع ترانزستور الأفلام الرقيقة في نموذج مصفوفات على ركيزة بمساحة كبيرة٠ بالإضافة إلى ذلك تستخدم بوابة من مواد عازلة ذات جودة عالية غير العضوية في معظم الترانزستور الأفلام الرقيقة العضوية٠ الحركية العالية لترانزستور الأفلام الرقيقة العضوية غالباً ما تتطلب جهد محرك كبير أكبر من ٦٠ فولت٠ وهناك العديد من الجهود البحثية لحل هذه المشاكل٠ من ناحية أخرى هناك قدرا كبيرا من المرونة في مجال تكوين الجزيئات العضوية تشتمل على مجموعات وظيفية مختلفة للعمود الفقري أو السلاسل الجانبية للجزيئات العضوية المرغوب فيها للعديد من أجهزة الإستشعار ومرونة التطبيقات الإلكترونية ٠ ترانزستور الأفلام الرقيقة من أكاسيد المواد الغير بلورية والمعادن المتبلورة لا سيما تلك القائمة على مادة أكسيد الزنك الشبه موصل ، قد لاقت إهتماما كبيرا في السنوات الأخيرة٠ وعادة ما يكون لها حركية للمجالات الكهربائية المرتفعة ويمكن تصنيعها بتقنيات التناثر٠ ترانزستور الأفلام الرقيقة ذات الأكاسيد الكاملة يمكن أن تكون شفافة حينما تصنع أقطاب مكونات الترانزستور (المنبع – البوابة – المستنزف) من الأكاسيد العازلة أو أنواع مشابهه من المعادن الموصلة الشفافة٠ كثير من ترانزستور الأفلام الرقيقة من أكسيد ذات قدرة عالية على الحركة ولها تسرب كبير للتيارات٠ يبلغ تيار القطع أكبر من ١٠ $^{-١٠}$ أمبير٠ قيم صفيرة لتيار القطع التى تم الحصول عليها من مواد أكسيد الزنك المطعمة بمواد الإنديوم والجاليوم مثل ترانزستور الفيلم الرقيق من مركب (إنديوم جاليوم اكسيد الزنك)[٣٠] لها قيم حركية حوالى عشرة مرات أكبر من ترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون الغير متبلور٠ ومع ذلك هذا النوع من الحركية عالي بما يكفي لبعض تطبيقات الدوائر أو تحريك ثنائيات الضوء المشع االعضوية[٣١]٠ ترانزستور

---

[٣٠] مادة شبه الموصل (IGZO) تتكون من الأنديوم والجاليوم والزنك والأكسجين ٠ تستخدم الأفلام الرقيقه من هذا المركب كمسطح خلفى لشاشات العرض المسطحة(FPDs) backplane of flat-panel displays

[٣١] الدايود المشع للضوء العضوى (OLED) organic light-emitting diode التى تشتمل على طبقة مضيئة كهربية (electroluminescentemissive) هى فيلم من مركب عضوي ينبعث منه الضوء إستجابة لتيار الكهربائي

الأفلام الرقيقة من الأكاسيد حساس للرطوبة والجو المحيط مثل الضوء وزمن الشحن٠ يمكن حل هذه المشاكل بعمليات التخميل[٣٢] فهى كافية لحجز طبقة الضوء٠ يتم إعداد الترانزستور الأفلام الرقيقة من الأكاسيد بإستخدام تقنية محاليل تغطية[٢٨] ولكن خواصها ليست جيدة مثل التى يتم إعدادها من تقنيات الترسيب بالتناثر، حيث يحتوى الأكسيد المطعم مكونات متعددة،

أطر عملية الأداء العالى للترانزستور الأفلام الرقيقة يمكن أن تكون ضيقة٠ لتحريك وحدات خلايا الصورة (البكسل) للبلورات السائلة فى الشاشات ذات المساحات الكبيرة ، من منطلق عناصر التحكم فى العملية والتكلفة، يعتبر نوع من التحدى لإحلال الترانزستور الأفلام الرقيقة من السيلكون الغير متبلور بالنوع الآخر الترانزستور الأفلام الرقيقة من الأكاسيد٠ ومع ذلك – حيث يمكن إستخدام ترانزستور الأفلام الرقيقة من الأكاسيد فى كل من تحريك وحدات خلايا الصورة (البكسل) والمحركات المحيطة، يمكن تخفيض تكلفة إنتاج الشاشات فى حالة لو لم تكن الموثوقية ذات أهمية٠ الترانزستور الأفلام الرقيقة من الأكاسيد عالى الحركية أيضا مهم فى كثير من التطبيقات التى لا تحتاج الى شاشة عرض٠

٧ – ٤ – ٧ آليات تطوير الترانزستور الأفلام الرقيقة المستقبلية بعد عام ٢٠١٠

حيث أن سوق التلفزيونات فى العالم مازال مملوء بشاشات أنابيب الإشعاع الكاثودى . فهناك قيود لتعظيم إنتاج ترانزستور الأفلام الرقيقة بشاشات البلورات السائلة٠ ولذلك، ستستمر بصفتها القوة الدافعة الرئيسية للنهوض بتكنولوجيا ترانزستور الأفلام الرقيقة في المستقبل المنظور٠ على الرغم من أن الأداء الحالى لترانزستور الأفلام الرقيقة للشاشات بالبلورات السائلة مرضي لمعظم المستهلكين، فإنه يمكن خفض المزيد من تكاليف إنتاج

---

[٣٢] مصطلح التخميل (Passivation) يشير إلى مادة أصبحت "سلبية"(passive) ، وهى أقل تأثرا بعوامل مثل الهواء والماء٠ التخميل يشمل العزل الخارجي لطبقة من المواد الأساسية، التي يمكن تطبيقها كطلاء جزئي أو التأكسد الذي يحدث عفويا في الطبيعة. كتقنية ، التخميل هو استخدام طبقة خفيفة كمادة واقية، مثل أكسيد المعدن للعزل ضد التآكل (corrosion.)٠ التخميل يمكن أن يحدث فقط في ظروف معينة، وهو يستخدم في الإلكترونيات الدقيقة لتعزيز السليكون. يتم استخدام أسلوب تخميل لتعزيز والحفاظ على المظهر المعدني.

مصفوفات ترانزستور الأفلام الرقيقة ، وهذا يعني الدفع المستمر لزيادة العائد والإنتاجية٠ الإتجاهات الحالية تقليل الخطوات لتصميم الأقنعة لعمليات الترسيب ، وتخفيض الزمن اللازم لكل عملية، توسيع الفتحات والقضاء على مصادر التلوث سوف تستمر٠ التكلفة والعائد، والموثوقية فى إنتاج مصفوفات المساحات الكبيرة ستحدد إذا كان ترانزستور الفيلم الرقيق من الأكاسيد يمكن أن يحل بدلا من ترانزستور الفيلم الرقيق من السيلكون الغير متبلور لتطبيقات شاشات عرض البلورات السائلة ٠ من الصعب التنبؤ في أى المجالات أو المنتجات ، ما بعد شاشات البلورات السائلة، فمن المؤكد أنه سيكون لترانزستور الأفلام الرقيقة التأثير الكبير في المستقبل٠ ومع ذلك، جميع التطورات الحديثة سوف تكون مستندة إلى الخصائص الفريدة لترانزستور الأفلام الرقيقة٠ على سبيل المثال يمكن تصنيع ترانزستور الأفلام الرقيقة على أنواع مختلفة من الركائز الصلبة أو المرنة، أي، ليست هناك حاجة لشرائح أحادية البلورات مرتفعة التكلفة٠ كما أنه لا يوجد حد لحجم أو خصائص مادة الركيزة طالما أنها تتحمل بيئة عملية التصنيع٠ وبالإضافة يمكن تصنيع ترانزستور الأفلام الرقيقة من مجموعة واسعة من مواد أشباه الموصلات والمواد العازلة للكهرباء٠ كما أن هيكل وشكل ترانزستور الأفلام الرقيقة أيضا قابل للتعديل٠ وعلاوة على ذلك، يمكن أن يعمل ترانزستور الأفلام الرقيقة عند مجالات كهربائية منخفضة أو مرتفعة التى تأثر على حركية حاملات الشحنات أى، من أقل من ١ الى أكبر من ٦٠٠ سم^{٢}/فولت ثانية معتمدة على المادة والهيكل وعمليات التصنيع ٠ وفيما يلي بعض العوامل ذات أثر رئيسي على ترانزستور الأفلام الرقيقة٠

- مرونة الإلكترونيات

يمكن تصنيع ترانزستور الأفلام الرقيقة على ركائز منحنية وليست مستوية كما هو الحال، مثلا يمكن إستخدام البوليمرات أو المعادن التى لها صفة المرونة، في شاشات العرض، آليات التصوير، البدل الإصطناعية، أجهزة القياس٠ إعتماداً على التطبيقات الخاصة ، وهناك العديد من المعارض التى قدمت آليات تصنيع ترانزستور الأفلام الرقيقة على ركائز كبيرة، ذات المرونة بإستخدام تقنيات التفريغ أو تقنيات بدون التفريغ٠ ومع ذلك، يتمثل التحدي

الرئيسي في الموثوقية، لا سيما تدهور خصائص الترانزستور فيما يتعلق بإنحناء الشاشة والتردد. ترانزستور الأفلام الرقيقة العضوية قد يكون أكثر فائدة من ترانزستور الأفلام الرقيقة غير العضوية نتيجة لمرونة تشكيل[٣٣] المادة . من جهه أخرى، مع التكوين أو الهيكل السليم لمواد الركيزة. السيلكون الغير متبلور والسليكون متعدد البلورات أو ترانزستور الأفلام الرقيقة بالأكسيد يمكن تصنيعها فى الإلكترونيات المرنة بدرجة عالية من الموثوقية.

- **الدوائر المتكاملة**

بدلاً من التنافس على تطور الدوائر المتكاملة على أساس السليكون أحادى البلورة والحجم الصغير للشريحة، يمكن إستخدام ترانزستور الأفلام الرقيقة فى الدوائر التماثلية ، الذاكرات ، دوائر الدخل والخرج المتكاملة مع أجهزة إستشعار، آليات التصوير والعرض على ركائز كبيرة. نظراً لمتطلبات الدوائر أكثر صرامة من تلك بخلايا الصورة (البكسل) فيما يتعلق بالكثافة، العيوب، الوصلات الداخلية، فإن تحديات التصنيع ستظهر مع عائد العملية الإنتاجية والاقتصادية. كلا من تقيات ترانزستور الأفلام الرقيقة مع السيلكون متعدد البلورات أو مع الأكاسيد ضروريتان للتطبيقات فى دوائر السرعات العالية وتخفيض إستهلاك الطاقة.

- **أجهزة الإستشعار والكاشفات وثنائيات الضوء المشع**

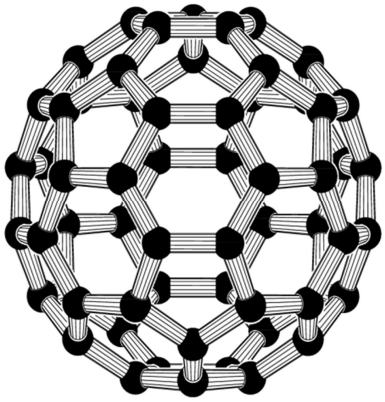
يمكن تعديل مختلف الهياكل ومكونات المواد فى ترانزستور الأفلام الرقيقة بسهولة أو توصيلها بعناصر أخرى للكشف أو توليد التغييرات الكيميائية والبيولوجية، والبصرية، المغناطيسية، والمشعة وخصائص أخرى من خلال السيطرة على إنتشار حاملات الشحنة وإنبعاث الفوتونات. كما يمكن تضمين العناصر فى كل البيئات الصلبة أو السائلة أو الغازية. على الرغم من إستكشاف هذا المجال لسنوات عديدة ، فلا يزال يمكن إكتشاف المزيد من

---

[٣٣] في آلية الطلاء ريولوجيا (paints rheology) وطبقات مورفولوجيا (morphology) ، التي لها صلة قوية بالخواص الكهربائية الضوئية للأقطاب الكهربائية. آلية الطلاء ريولوجيا يؤثر على الإنحلال خلال رذاذ الطلاء وبعد التسوية للطلاء على الركيزة. كلا من الجوانب التكنولوجية لتشكيل مورفولوجية الأقطاب الكهربائية وتوزيع الجسيمات النانوية في الطلاء.

التطبيقات الجديدة مع تضمين تكنولوجيا نقاط النانو[٣٤] أو مواد النانو ذات البعد الواحد[٣٥] فى هياكل الترانزستور(الشكل ٧-٩٧) و(الشكل ٧-٩٨).

الشكل (٧-٩٧) يظهر نقاط النانو لتكوين خطوة أعلى أى ركائز



الشكل (٧-٩٨) هيكل لمادة نانو

---

[٣٤] النقاط النانو (Nanodot) يمكن أن تشير إلى العديد من التكنولوجيات التي تستخدم أبعاد نانومتر الهيكلية (nanometer-scale localized structures). النقاط النانو عموما تستغل خصائص نقاط الكم (quantum dots) لتحديد الحقول المغنطيسية والكهربائية في أبعاد صغيرة جداً. تطبيقات نقاط النانو قد تشتمل تخزين معلومات عالية الكثافة ، والطاقة والعناصر التي ينبعث منها الضوء (energy storage, and light-information storage , emitting devices)

[٣٥] توصف المواد متناهية الصغر، من حيث المبدأ، على أنها مواد منها وحدة واحدة حجمها (في بعد واحد على الأقل) بين ١ و ١٠٠٠ نانومتر (١٠$^{-٩}$ متر) ولكن فى العادة من ١-١٠٠ نانومتر (وهو التعريف العام لأبعاد النانو .

٧ – ٥ دوائر الأفلام الرقيقة[٣٦]

يتم تصنع دوائر الأفلام الرقيقة والمقاومات وخطوط الموصلات من مواد عالية الأداء من خلال قناع حساس وترسيب فيلم رقيق على ركائز من مواد عازلة ومعادن مختلفة رقيقة. يمكن تكوين وتشكيل دوائر متكاملة للموجات الميكرو مهجنة عالية الأداء والإعتمادية متصلة بالعناصر النشطة والمكونات الأخرى المطلوبة على هذه الركيزة فى دوائر الفيلم الرقيق. من مزايا الدائرة المتكاملة للموجات الميكرو المهجنة بآلية الأفلام الرقيقة أنها صغيرة الحجم وخفيفة الوزن وتبديدها للحرارة جيدة، وعالية التردد، واسعة النطاق الترددي والموثوقية العالية. يتم تشغيل الدائرة من ١ إلى ٢٠ ميجاهرتز ويمكن أن تصل إلى الموجات المليمترية. حققت تقنية الأفلام الرقيقة للترددات العالية حلول لنطاق عريض من الصناعات والتطبيقات. منها تطبيقات فى وسائل النقل – المجال الطبى – المجال الصناعى ومقياس العداد الإلكتروني– نظم التوجيه – الفضاء الجوى والرادارات الدفاعية والإتصالات وتدفئة الأنسجة للتطبيقات الطبية .

٧ – ٥ – ١ قواعد تصميم دوائر الأفلام رقيقة[٣٧]

تنقسم الى جزئين:

- قواعد التصميم الأساسية التي يجب إتباعها بالتسلسل لتكون متوافقة مع تقنيات المعالجة مع مؤسسة منتجات الأفلام الرقيقة[٣٨].
- متطلبات أقنعة الترسيب والإزالة

تتطلب قواعد التصميم الأساسية التجهيز القياسي حيث تكون الدوائر مربعة أو مستطيلة. أما الأشكال الخاصة الأخرى تتطلب إعتبارات معالجة خاصة.

---

[٣٦] مؤسسة فيديليكس لتطوير الإلكترونيات الدقيقة .Fidelics Microelectronics (Chengdu) Co. Ltd (مرجع)

[٣٧] Atp_50020 circuit1 (مرجع)

[٣٨] تأسست مؤسسة تطبيق منتجات الأفلام الرقيقة Applied Thin-Film Products(ATP) في قلب وادي السليكون خصيصا لغرض توفير تجهيز دوائر الأفلام الرقيقة

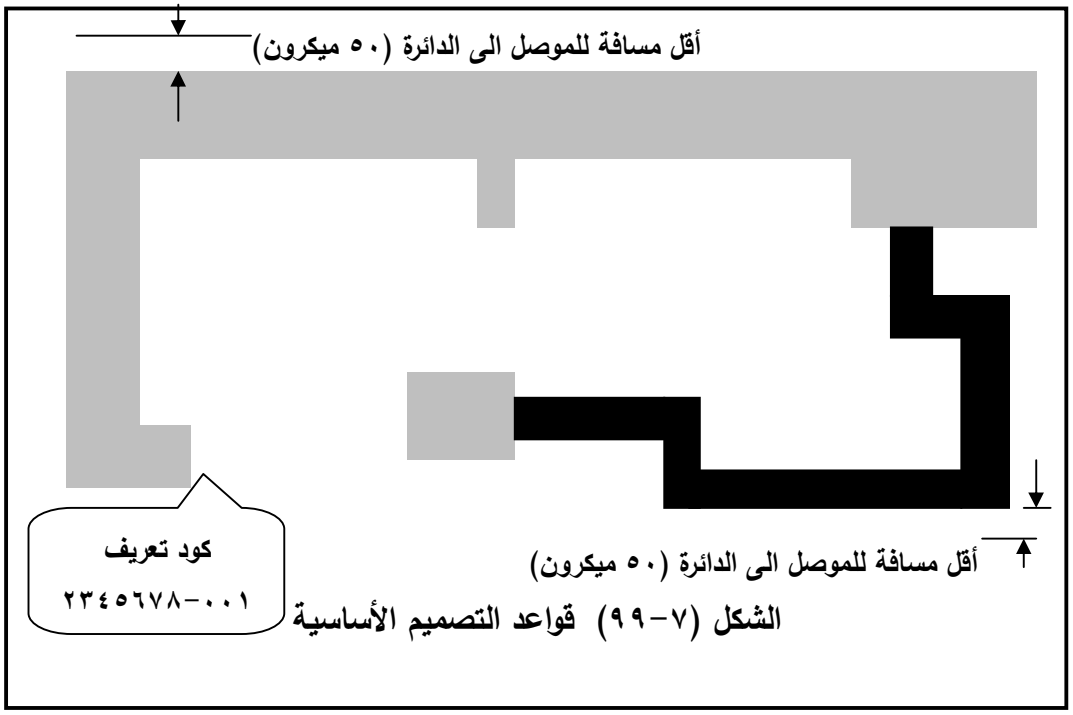
١. يجب أن تتكون كل دائرة من الخطوط المستقيمة ، الأقواس ، أو المزج بينهما٠
٢. يجب تحديد نوع مواد الركيزة، وسمكها وأسلوب معالجة سطح الركائز٠
٣. يجب تحديد متطلبات الطبقات المعدنية ويشمل أنواع المعادن، والسمك والتفاوت لكل جوانب الركيزة٠
٤. عرض الخط الموصل الإسمى كحد أدنى ٢٠ ميكرون إذا كان سمك الذهب المستخدم ٤ ميكرون أو أقل٠
٥. العرض الأدنى لتباعد خطوط الموصلات ١٠ ميكرون إذا كان سمك الذهب المستخدم ٤ ميكرون أو أقل وهذا ينطبق على لوحة العمليات فقط٠
٦. الأبعاد الحرجة لها حد أدنى قياسى ±٢.٥٤ ميكرون من القيمة الإسمية إذا كان سمك الذهب المستخدم ٤ ميكرون أو أقل٠
٧. التسامح القياسي لسمك الذهب هو ± ٢٠.%
٨. الحد الأدنى للطول والعرض الأسمى للمقاومة هو ٦٣.٥ ميكرون٠
٩. المقاومة نتريد تانتاليوم ات مقاومة نوعية مستقرة ٥٠ أو ٧٥ أو ١٠٠ أوم / مربع٠
١٠. قيمة التسامح القياسي للمقاومات ±١٠% كما يمكن إستخدام نسبة تفاوت أقل بإستخدام طرق التشذيب بالليزر بتكلفة أعلى٠
١١. يجب أن تشتمل جميع الدوائر التي تحتوي على مقاومات رقيقة على مقاومة قياسية معزولة للإختبار قيمتها ٥٠ أوم ٠ وهذا مهم بشكل خاص للتصاميم التى تشتمل على مقاومات غير قابلة للقياس (مثل فواصل نمط ويلكنسون)[٣٩]٠
١٢. يجب أن تبتعد جميع أشكال الموصلات والمقاومات بحد أدنى ٥٠ ميكرون من حافة الدائرة الشكل (٧-٩٩)

[٣٩] فى مجال هندسة الموجات القصيرة وتصميم الدوائر، مجزءات القدرة بإسلوب (Wilkinson) هو فئة معينة من دوائر مجزءات القدرة (power divider) التي يمكن تحقيق العزل بين منافذ الخرج مع الحفاظ على شرط مطابقة على كافة المنافذ٠ يمكن إستخدام تصميم Wilkinson كمجمع قدرات (power combiner) نظراً لأنها تتكون من عناصر سلبية ومن ثم بالمقلوب.

١٣. يجب وضع علامة ديسينغ على طبقة الموصل٠ علامة ديسينغ المفضلة على شكل صليب بأبعاد (١٥٢ x ٧٦٢) الشكل (٧-١٠٠)

١٤. معيار التسامح ديسينغ (حجم الدائرة النهائية) ± ٥٠ ميكرون٠

١٥. يجب أن تشتمل جميع الدوائر على ملاحظة تعريف لطبقة الموصل٠



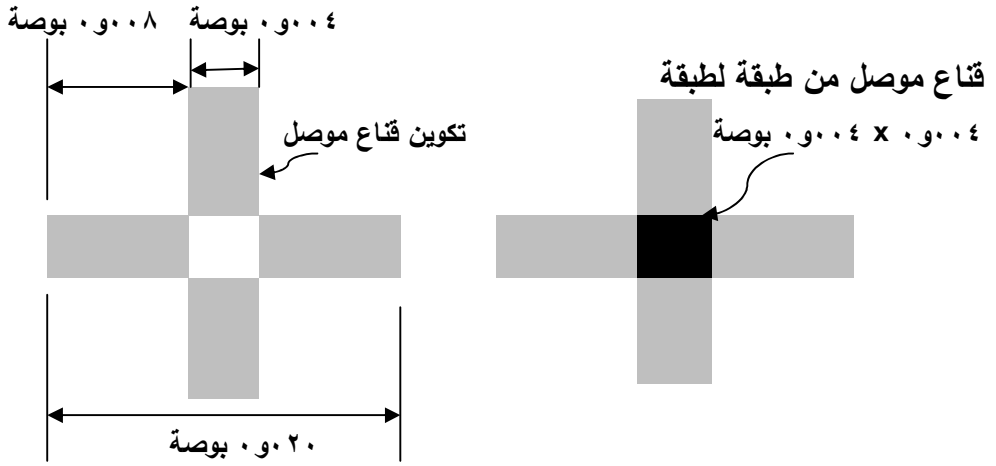
الشكل (٧-٩٩) قواعد التصميم الأساسية

١٦. نسبة العرض إلى الإرتفاع عبر الثقب المطلى ١.٠ (مثلاً ٠.٠١٥ ثقب في ركيزة سمكها ٠.٠٠٠١٥)٠ نسبة أدنى من ٠.٦ مقبولة لركائز سمكها (من ٠.٠١٥ بوصة الى ٠.٠٢٥ بوصة) ونسبة ٠.٨ مقبولة لركائز سمكها (٠.٠١٠ ") الشكل (٧-١٠١)٠

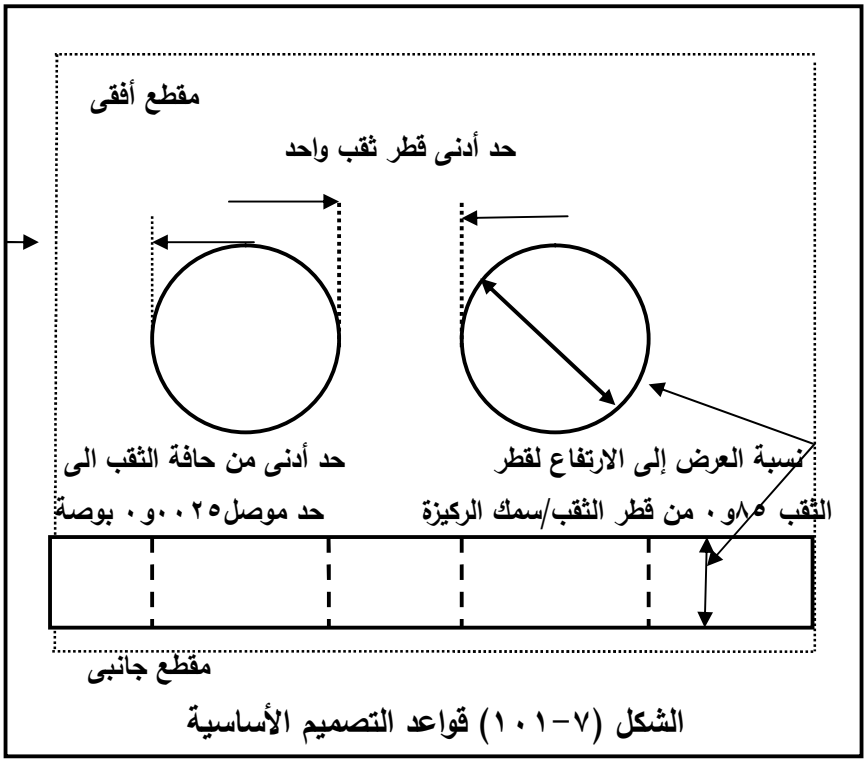
١٧. يتم تعريف نسبة الإرتفاع (قطر الثقب/ سمك الركيزة) ٠

١٨. التباعد بين الثقوب يجب أن يكون مساويا لقطر فتحه الثقب الشكل (٧-١٠١)

١٩. الحد الأدنى للمسافة من حافة الموصل المحيطة بالثقب وحافة الثقب ٦٣.٥ ميكرون الشكل (٧-١٠١)



الشكل (٧-١٠٠) علامة ديسينغ المفضلة



الشكل (٧-١٠١) قواعد التصميم الأساسية

٧ – ٥ – ٢ متطلبات أقنعة الترسيب والإزالة

- **عمليات إعداد اللوحة (أقنعة الموصلات)**

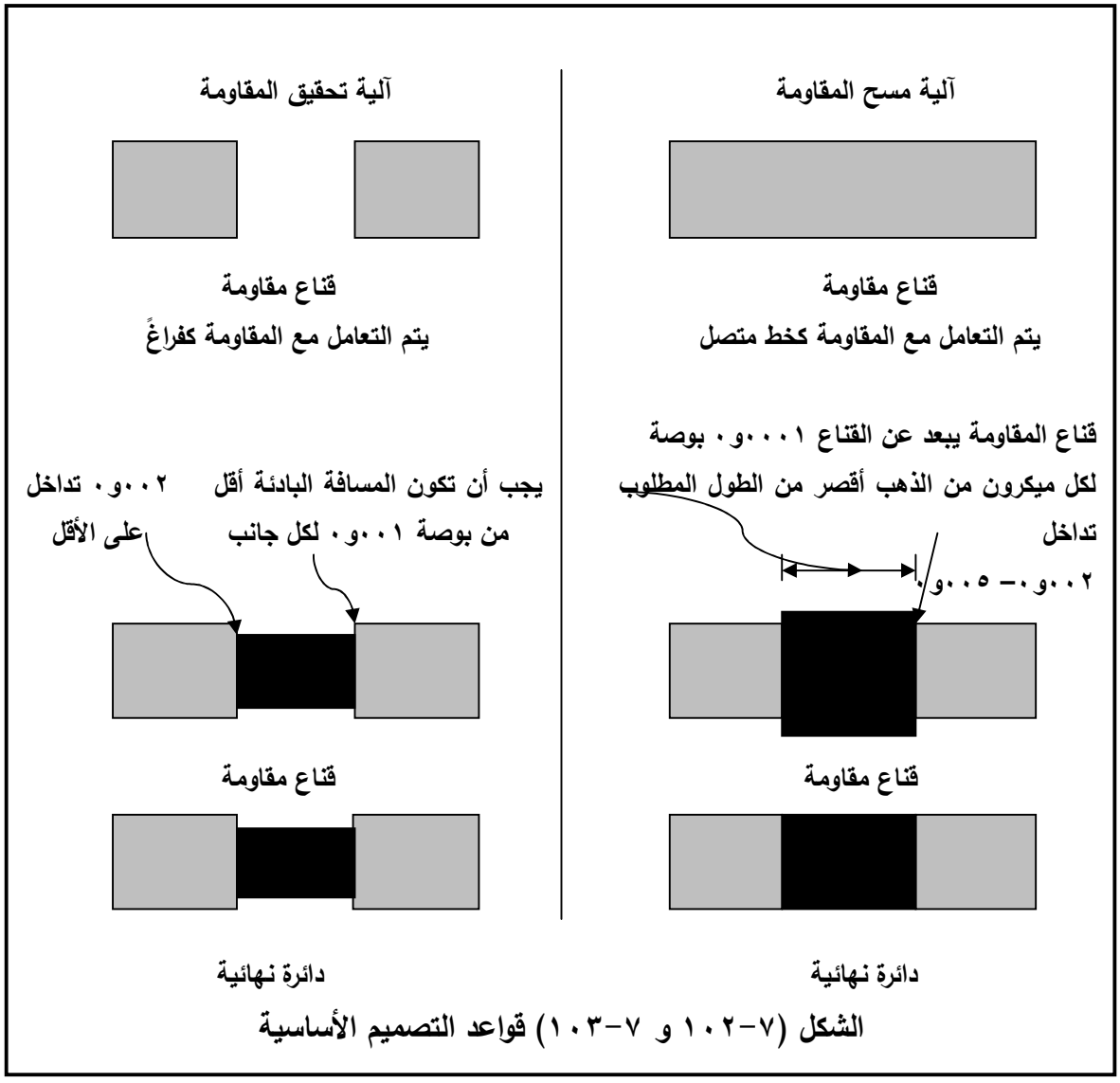
١. يراعى فى التصميم إستخدام الألوان للتفرقة بين خطوط الموصلات والأشكال المحيطة

٢. أن يكون نمط الموصلات ورقم الجزء سهل القراءة الصحيحة من الجانب إلى أسفل٠

٣. يعامل مسنن المقاومة كفراغً (مسح) (الشكل ٧-١٠٢)

٤. حفر االجزء الخلفي للمقاومة يعامل كخط موصلات صلب (الشكل ٧- ١٠٣)

٥. يجب أن تشتمل جميع الأبعاد الهامة للوحة العملية على معامل تعرض٠ يجب أن تكون الفتحات على القناع ٣.٨١ ميكرون أوسع من البعد الأسمى٠ يجب أن يكون عرض الخط على القناع ٣.٨١ ميكرون أضيق من البعد الأسمى٠ يتطلب معامل التعرض نتيجة لمزيج حيود الضوء أثناء التعرض وإستخدام واقي ضوئي سميك أكبر من ٥ ميكرون٠



الشكل (٧-١٠٢ و ٧-١٠٣) قواعد التصميم الأساسية

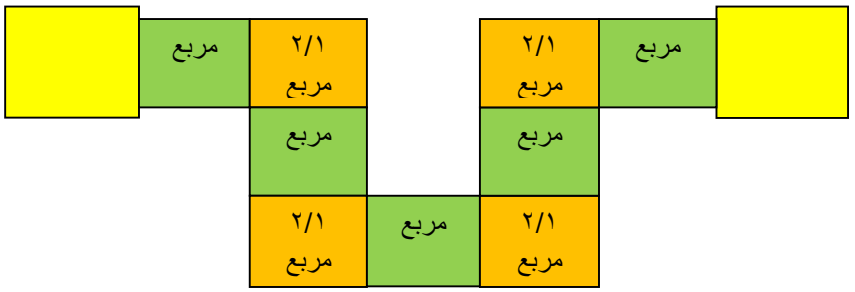
٧ – ٥ – ٣ قواعد تصميم المقاومات

١ – تتحدد قيم المقاومة بنسبة الطول إلى العرض، يتم التعبير عنها كعدد من "المربعات"

٢ – معادلة لحساب المقاومة R = s(L/W) : حيث (s) المقاومة النوعية (أوم/مربع) و (L) طول المقاومة و(W) عرض المقاومة

٣ – "طول" المقاومة هو بعد المقاومة الموازية لتدفق التيار.

٤ – عند حساب قيمة المقاومة الكلية يراعى إحتساب قيمة المقاومة النوعية لمساحة المربع فى الركن مساوية لنصف مربع (مثلاً فى الشكل (٧ – ١٠٤) عدد المربعات الغير ركنية ٥ مربعات وعدد المربعات الركنية ٤ مربعات يحسب كل من المربعات الركنية بنصف مربع فيصبح إجمالى عدد مربعات المقاومة فى (الشكل ٦) يساوى (٥ + (٤ x ٢/١) = ٥ + ٢ = ٧ مربعات.



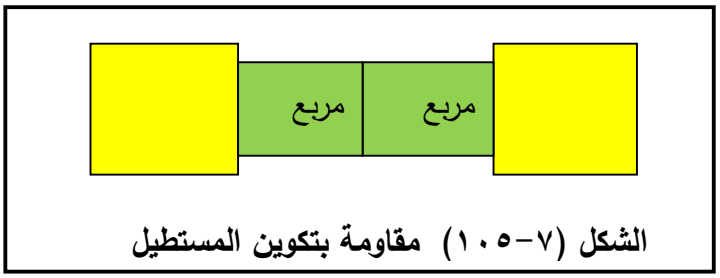
الشكل (٧ – ١٠٤) أسلوب حساب قيمة المقاومة

٦ – تقليم الليزر : تحتاج كل مقاومة يتم إختبارها أو تقليمها وسادة ذات حجم كاف. الحد الأدنى لحجم لوح مفرد ٠و٠٠٤ x ٠و٠٠٤ بوصة جيدة لقيم مقاومات أكبر من ١٠٠ أوم أو قيمة تفاوت أكبر من ٢و٠ %

٧ – التفاوت فى أبعاد الركيزة الكلية ± ٠و٠٠٢ بوصة

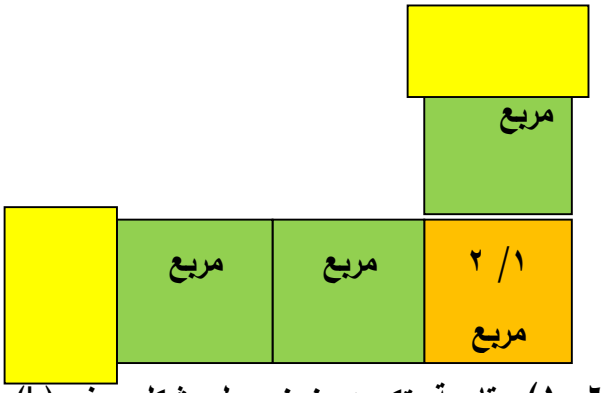
- **أنواع المقاومات**

مقاومة على شكل المستطيل : وهى الأكثر شيوعاً (٧-١٠٥)



الشكل (٧-١٠٥) مقاومة بتكوين المستطيل

مقاومة بشكل حرف (L) التكوين المنحنى : مساحة المربع الركنى فى المقاومات المنحنية يحسب كنصف مربع غير ركنى (٧-١٠٦)



(٧-١٠٦) مقاومة بتكوين منحنى على شكل حرف (L)

(٧-١٠٧) مقاومة بتكوين سيربانتين

- **تصميم قناع تصنيع المقاومات لتحقيق التصميم (عملية إعادة حفر)[٤٠] (يفضل تصميم فيديليكس)**

١. لون شكل المقاومة مظلم والمحيط فاتح (سلبي)

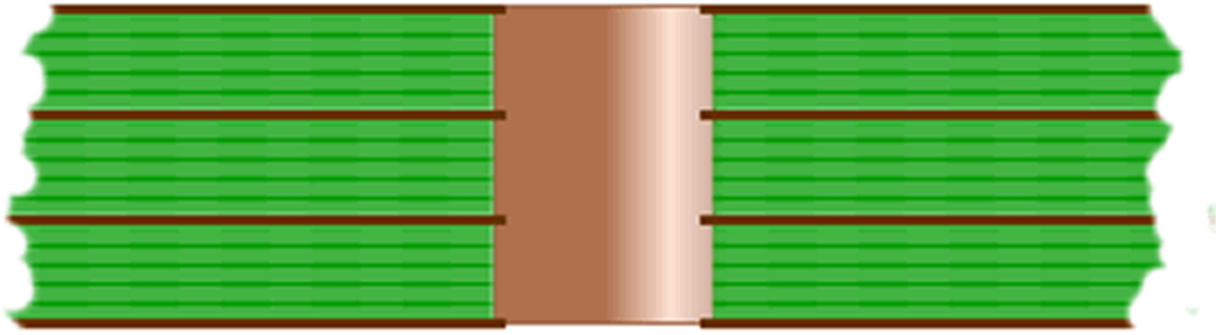
٢. نمط المقاومات ورقم الجزء سهل القراءة الصحيحة من الجانب إلى أسفل٠

٣. يعامل مسنن المقاومة كفراغً (٧-١٠٢) (جب أن يكون الحد أدنى ٠.٠٠١ بوصة على كلا الجانبين. لا ينبغي أن تكون حواف المقاوم متلامسة مع الموصل

٤. يجب أن تكون المقاومات كحد أدنى ٥٠ ميكرون متداخلة على خط الموصل٠ الحفر و/أو عوامل التعرض غير مطلوبة مع عملية المقاومة المسننة (٧-١٠٢).

٥. تدفق (حفر الأسلوب الخلفي) للمقاومة يعامل كخط موصلات صلب (٧-١٠٨)

٦. جميع الأبعاد الهامة لعملية الحفر الى الخلف يجب أن يكون لها معامل حفر أو إزالة٠ ويجب أن تكون الفراغات أكبر من البعد الأسمى ٠



الشكل (٧ - ١٠٨)عملية الحفر الى الخلف تمكن عملية طلاء خلال الثقوب[٤١] للسندات ليصل إلى ثلاثة أوجه من النحاس لتوفير أكبر قدر من الموثوقية والحصانة ضد إضعاف المعدن بسبب الضغوط الميكانيكية التي تفرضها الصدمات الخارجية الميكانيكية والحرارية

---

[٤٠] الحفر أو الإزالة الخلفية تتسبب فى إزالة المواد العازلة للكهرباء في جدران مما تسبب في إنسياب أرضية النحاس على حافة جدران الثقب

[٤١] الطلاء من خلال الثقوب Plated Though Holes (PTH)

- **عملية المقاومة المسننة**

١. لون شكل المقاومة مظلم والمحيط فاتح (سلبي)

٢. نمط المقاومات ورقم الجزء سهل القراءة الصحيحة من الجانب إلى أسفل٠

٣. يجب تحقيق قيم جميع المقاومات (٧-١٠٣) ويعامل مسنن المقاومة كفراغً (مسح) يجب أن يكون الحد أدنى ٠.٠٠١ بوصة على كلا الجانبين٠ لا ينبغي أن تكون حواف المقاومة متلامسة مع الموصل

٤. يجب أن تكون أبعاد المقاومات بحد أدنى ٥٠ ميكرون وكحد أقصى ١٢٧ ميكرون متداخلة على خط الموصل٠ الحفر و/أو عوامل التعرض غير مطلوبة مع عملية المقاومة المسننة (الشكل ٧-١٠٣) ٠

- **تدقيق عملية المقاومة**

١. لون شكل المقاومة مظلم والمحيط فاتح (سلبي)

٢. نمط المقاومات ورقم الجزء سهل القراءة الصحيحة من الجانب إلى أسفل٠

٣. يجب أن تكون أبعاد المقاومات بحد أدنى ٥٠ ميكرون وكحد أقصى ١٢٧ ميكرون متداخلة على خط الموصل٠

٤. يجب أن تكون أطوال المقاومة على القناع ٢.٥٤ ميكرون لكل١ ميكرون من الذهب أقصر من الطول الأسمى للمقاومة (الشكل ٧-١٠٣)

- **التصفيف**

١. يحدد تصفيف قناع الركيزة التي يمكن إستخدامها٠ يؤثر حجم الركيزة المستخدمة لتصنيع الأجزاء المؤثرة بشكل كبير على التكلفة النهائية للدائرة٠ حجم التصفيف المطلوب يعتمد على حجم الدائرة والكمية المطلوبة٠ أحجام التصفيف القياسي ١ بوصة x ١ بوصة و٢ x ٢ بوصة و٢٥و٢ x ٢٥و٢ بوصة و٣ x ٣ بوصة و٢٥و٣ x ٢٥و٣ بوصة و٤ x ٤ بوصة٠

٢. حجم الحدود القياسية بين حافة االصف وحافة الركيزة ١٢٧٠ ميكرون٠

٣. عرض سنون منشار التقطيع القياسية ٢٥٤ ميكرون

٤. مسافة تنقل الدوائر في الصفوف يتحدد بإضافة عرض سنون منشار التقطيع إلى حجم الدائرة. يتم توسيط علامة المحاذاة عند كل تقاطع.

٧ – ٥ – ٤ مواد الركيزة

يوضح الجدول (١) قائمة ببعض المواد القياسية للركائز وسمك الركائز

	الومينا معالجة السطح أسفيريد (Al2O3)	الومينا معالجة السطح مصقول (Al2O3)	أكسيد البريليوم (BeO)
سمك الركائز	٠٫٠٠٥ بوصة	٠٫٠٠٥ بوصة	
	٠٫٠١٠ بوصة	٠٫٠١٠ بوصة	٠٫٠١٠ بوصة
	٠٫٠١٥ بوصة	٠٫٠١٥ بوصة	٠٫٠١٥ بوصة
	٠٫٠٢٠ بوصة	٠٫٠٢٠ بوصة	
	٠٫٠٢٥ بوصة	٠٫٠٢٥ بوصة	٠٫٠٢٥ بوصة

وتتوفر أيضا مواد أخرى. وتشمل : نتريد الألومنيوم، والسليكا الكوارتز/فيوسيد. الياقوت، تيتانات الباريوم.

يوضح الجدول (٢) قائمة ببعض المواد القياسية للركائز وخصائصها

الخصائص	ألومينا مصقولة السطح Al_2O_3	ألومينا أسفيريد Al_2O_3	أكسيد باريليوم (BeO)	نتريد ألومنيوم	سيلكا مسبوكة
التركيب الكيميائى	Al_2O_3	Al_2O_3	BeO	AlN	SiO2
النقاوة %	٩٩٫٦	٩٩٫٦	٩٩٫٥	٩٨	١٠٠
الكثافة (جم/سم^3)	٣٫٨٧	٣٫٨٧	٢٫٨٥	٣٫٢٨	٢٫٢
معامل تمدد حرارى(جزء كل مليون/درجة مئوية	٧ – ٨٫٣ ٢٥–١٠٠٠	٧ – ٨٫٣ ٢٥–١٠٠٠	٩ ٢٥–١٠٠٠	٤٫٦ ٢٥–١٠٠٠	٠٫٦٥ ٢٥–١٠٠٠
الموصلية (وات/م)	٢٦٫٩	٢٦٫٩	٢٧٠	١٧٠	١

معامل العزل (εr)	٩و٩	٩و٩	٥و٦	٦و٨	٨و٣
معامل الفقد	٠و٠٠٠١	٠و٠٠٠١	٠و٠٠٠٤	٠و٠٠١	٠و٠٠٠١٥
العزل (ك ف/سم)	٤٠٠٠	٤٠٠٠	–	–	١٠٠٠٠
حجم البلورة (م متر)	١ >	١ >	٩ – ١٦	٥ – ٧	غير متبلور
الصلابة	٨٧	٨٧	٤٥	n/a	٧ موه
قوة المجال (K) ١٠$^{-٣}$ /بوصة^{٢}	٩٠	٩٠	٣٥	٥٩	٢٥
القوة الضاغطة (M) ١٠$^{-٣}$ /بوصة^{٢}	٥٤	٥٤	–	–	١٦١
حجم الركيزة (بوصة)	١ – ٣	١ – ٣	١ – ٢٥و٢	١ – ٢٥و٢	١ – ٢٢و٢

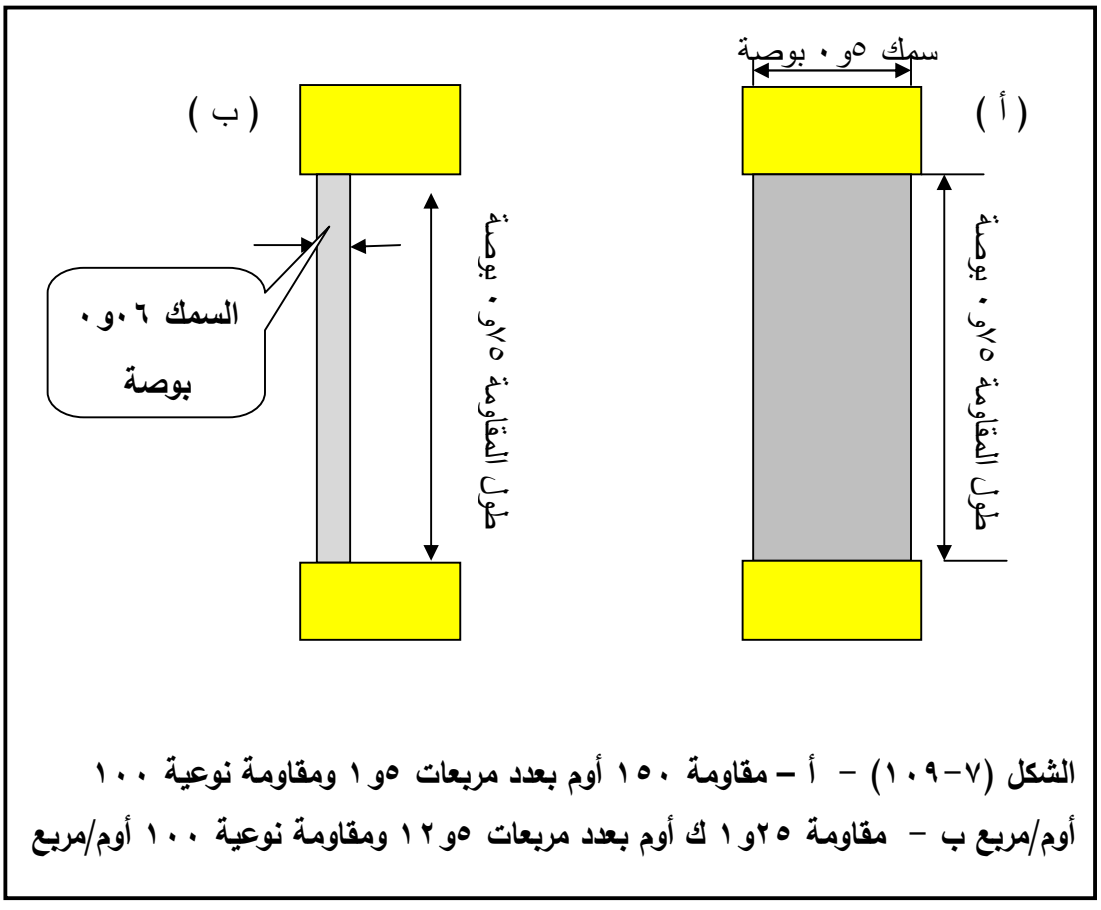
٧ – ٥ – ٥ مؤسسة ت ت للإلكترونيات

تعتبر مؤسسة ت ت للإلكترونيات[٤٢] الرائدة في العالم في تصنيع دوائر الأفلام الرقيقة والركائز المهجنة من أكثر من ٣٠ عاماً وذات الخبرة فى تصنيع أفلام نتريد التنتاليوم ذات الدقة والإستقرار على المدى الطويل حتى في البيئات القاسية٠ من خلال آلية التناثر وأجهزة الليزر وتنوع معدات التصنيع عالية الأداء وخليط من مواد ذات جودة ونسبة التسامح قليلة ونسبة مطابقة تمكنت من تصنيع مقاومات الأفلام رقيقة بجودة عالية لتناسب مواصفات عالية التردد٠ مقاومات نيتريد التنتاليوم بتقنية الأفلام الرقيقة ومواد الترسيب ذات الاستقرار والأداء والجودة عالية التوصيل مع مرور الوقت ودرجة الحرارة وحتى في بيئات رطبة ومواد الطلاء مثل الألمنيوم والنحاس والذهب ساهمت فى تقليل التغيرات فى المقاومات مع الترددات العالية بسبب ظاهرة تأثير الطبقات السطحية كما توفر درجة كبيرة من الأنماط والقابلة للتكرار لعناصر الدائرة جميعها أو الموزعة على ركائز مستقرة من السيراميك٠ وهي مقلمة بالليزر بقيم تفاوت بسيطة ± ٠.٠١ في المائة٠ ركائز السيراميك صلدة مع ثابت

[٤٢] مؤسسة (TT) للإلكترونيات الرائدة في العالم في دوائر الأفلام الرقيقة مخصصة والركائز الهجينة

عزل متسق من دائرة الى دائرة٠ تستخدم لتغطية سطوح الأفلام مجموعة متنوعة من المواد العضوية وغير العضوية من سمك ٢و٠ ميكرون حتى ١٠ ميكرون مع قوة عزل للكهرباء حتى ٢٠٠ فولت لكل ميكرون٠

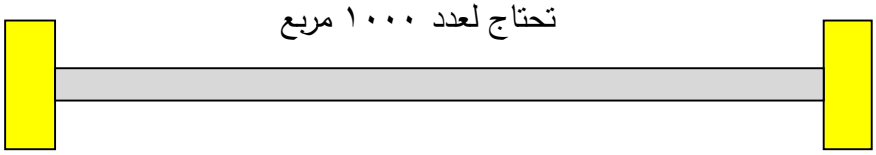
• قواعد تصميم مؤسسة ت ت للإلكترونيات: يتم قياس الأشكال الهندسية للمقاومات بالمربعات٠ وهى نسبة الطول للعرض دون أبعاد على سبيل المثال مقاومة على شكل مستطيل طولها ٧٥و٠ وعرضها ٥و٠ بوصة تمثل ٥و١ مربع ٠ بإستخدام مادة مقاومتها النوعية ١٠٠ أوم/مربع لمقاومة ١٠٠ ك٠أوم تحتاج ١٠٠٠ مربع مع مراعاة أن المربعات الركنية تساوى ٥٥٨و٠ مربع لكل منها٠



الشكل (٧-١٠٩) - أ – مقاومة ١٥٠ أوم بعدد مربعات ٥و١ ومقاومة نوعية ١٠٠ أوم/مربع ب - مقاومة ٢٥و١ ك أوم بعدد مربعات ٥و١٢ ومقاومة نوعية ١٠٠ أوم/مربع

مقاومة ١٠٠ ك أوم ومقاومتها النوعية ١٠٠ أوم/ مربع تحتاج ؟

تحتاج لعدد ١٠٠٠ مربع



$R = R_S\ L/D =$

100×10^3 ohm = 100 Ohm/sq (L/D)

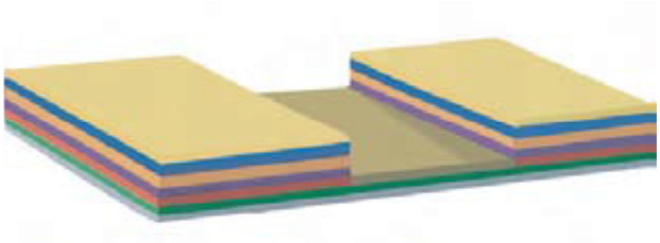
$(L/D)=100 \times 10^3$ ohm/ 100 Ohm/sq = 10^3 ohm/ Ohm/sq= 1000 sq

الشكل (٧-١١٠) أسلوب حساب قيمة المقاومة فى تقنية الأفلام الرقيقة

- **النظم النموذجية للتلميع**

المعاملات الحاسمة التي تواجه المصمم هى إختيار تقنية التلميع مثل قابلية اللحام ، أنواع اللحام، لحام التسلسل الهرمي، مرفقات الدائرة، عمق الطبقة والموصليه الكهربائية والحرارية للتصميم هي جميعها العوامل التي يجب مراعاتها في تحديد تقنية التلميع السليم.

طبقة مقاومة نتريد تنتاليوم طبقة من الذهب



الشكل (٧-١١١) نظام التلميع نموذجى لفيلم رقيق من نتريد تنتاليوم

طبقات التكوين من أسفل الى أعلى (١-الركيزة -٢- تنتاليوم نتريد -٣- تنتاليوم على الجانبين ومقاومة تنتاليوم بنتو أكسيد فى الوسط – ٤- بالديوم -٥- نحاس -٦- نيكل -٧- ذهب

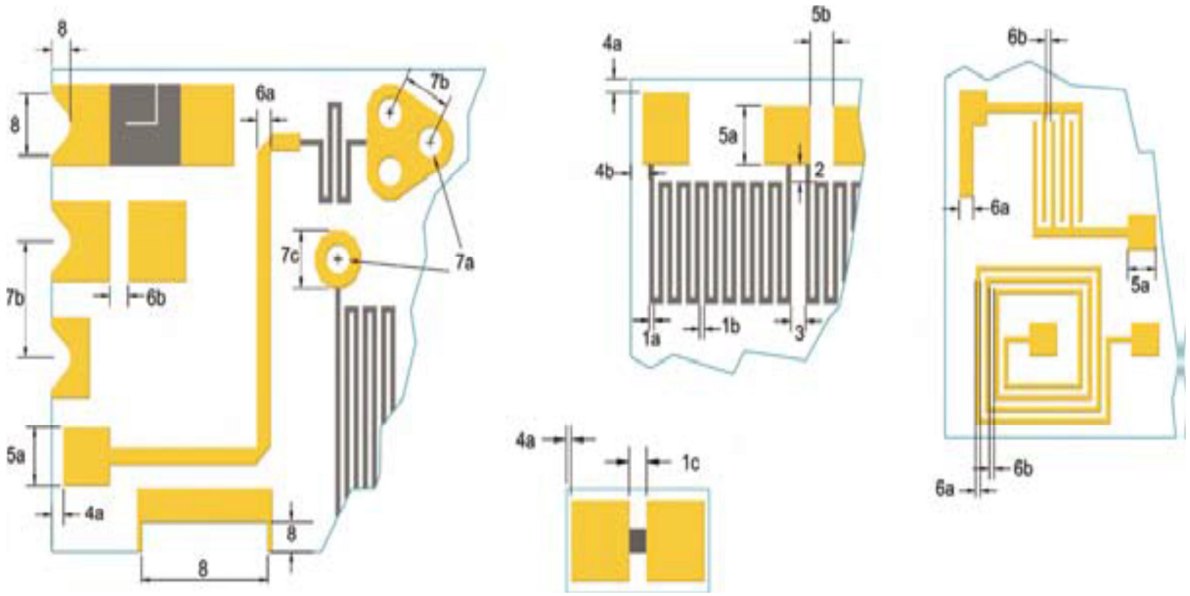
تقدم نظم التلميع سعة أكبر للوحة مع تحسن كبير في الأداء مع ضرورة تطبيق المعايير الرئيسية الثلاثة التالية في إختيار نظم التلميع المستخدمة في الأجهزة الإلكترونية.

أولاً، يجب أن تكون هذه النظم ذات موصلية جيدة لتقليل فقد القدرة. الذهب بمقاومة من ٤و٢ نانو متر x سم ، يفي بهذا الشرط، ويمكن أن يتسامح مع زيادة كثافة التيار.

ثانيا، يجب أن يكون التلميع خامل أو يظل سلبى في بيئات التشغيل حتى يمكن تحقيق مستوى عال من الموثوقية.

ثالثا، ينبغي أن تكون نظم التلميع متوافقة مع عمليات التصنيع

- **المبادئ التوجيهية لتصميم دوائر الأفلام الرقيقة**



الشكل (٧-١١٢) **قواعد التصميم الأساسية**

جدول (٣) عناصر توجيهية لتصميم الأفلام الرقيقة

التعريف	الوصف	النموذجى	الحد الأدنى
١ أ	عرض خط المقاومة	٢٥ ميكرون ± ٢ ميكرون	١٢ ميكرون ± ٢ ميكرون
١ ب	تباعد خط المقاومة	٢٥ ميكرون ± ٢ ميكرون	١٢ ميكرون ± ٢ ميكرون
١ ج	حجم كتلة المقاومة	٢٥٠ ميكرون X٢٥٠ ± ١٠ ميكرون	١٠٠ ميكرون X١٠٠ ± ١٠ ميكرون
٢	تباعد المقاومة عن الموصل	١٢٥ ميكرون ± ٢٥ ميكرون	١٠٠ ميكرون ± ٢٥ ميكرون
٣	التباعد بين مقاومات مختلفة	١٢٥ ميكرون ± ١٠ ميكرون	١٠٠ ميكرون ± ١٠ ميكرون
٤ أ	موصل إلى حافة الركيزة	١٥٠ ميكرون ± ٢٥ ميكرون	٥٠ ميكرون ± ٢٥ ميكرون
٤ ب	المقاومة إلى حافة الركيزة	٢٠٠ ميكرون ± ٢٥ ميكرون	٢٥ ميكرون ± ٢ ميكرون
٥ أ	حجم اللوح	٢٥٠ ميكرون X٢٥٠ ± ٢٥ ميكرون	١٠٠ ميكرون X١٠٠ ± ٢٥ ميكرون
٥ ب	التباعد بين الألواح	٢٥٠ ميكرون ± ٢٥ ميكرون	١٢٥ ميكرون ± ٢٥ ميكرون
٦ أ	عرض خط الموصل	١٠٠ ميكرون ± ٥ ميكرون	٢٥ ميكرون ± ١٠ ميكرون
٦ ب	التباعد بين الموصلات	١٠٠ ميكرون ± ٥ ميكرون	٢٥ ميكرون ± ١٠ ميكرون
٧ أ	قطر الثقب	٣٧٥ + ٧٥/ – ٢٥ ميكرون	٢٥٠ + ٧٥/ – ٢٥ ميكرون
٧ ب	مساحة الثقب	(٢٥ X قطر الثقب) ± ٥٠ ميكرون	(٥و٢ X قطر الثقب) ± ٢٥ ميكرون
٧ ج	غطاء ثقب اللوح	(قطر الثقب + ٥٠٠ ميكرون) ± ٥٠ ميكرون	(قطر الثقب + ٢٥٠ ميكرون) ± ٥٠ ميكرون
٨	الحافة أو حول المنحنيات	العمودي الكامل أو حافة الأفقى أو أى شكل مستطيل ناتج على الحافة	عرض ٥٢٥ مع ٢٠٠ ميكرون تسلل ± ٥٠ ميكرون
مقاومات محدودة "كثافة الطاقة" القصوى ١٠٠٠ وات/بوصة^{٢}			

جدول (٤) عناصر توجيهية لتصميم الأفلام الرقيقة

مواد الطلاء				
المادة	السمك	المقاومة النوعية	معامل حرارة المقاومة	إستخدام نموذجى
ذهب	١ الى ٤ ميكرون	٠و٠١٠ الى ٠و٠٢٠ أوم/مربع	+ ٤٠٠٠ ج ف م/م°	موصل
نحاس	١ الى ١٠ ميكرون	٠و٠٠٢ الى ٠و٠٢٠ أوم/مربع	+ ٦٠٠٠ ج ف م/م°	موصل
نيكل	١ الى ٥ ميكرون	٠و٠٢٠ الى ٠و١٠ أوم/مربع	+ ٥٠٠٠ ج ف م/م°	موصل
لحام ٥ الى ٢٠ ميكرون	لحام ٥ الى ٢٠ ميكرون	N/A		موصل الإنهاء
قصدير	٥ الى ٢٠ ميكرون			موصل الإنهاء

جدول (٥) عناصر توجيهية لتصميم الأفلام الرقيقة

مواد الطلاء				
المادة	السمك (ميكرون)	المقاومة النوعية (أوم/مربع)	معامل حرارة المقاومة	الإستخدام النموذجى
ذهب	١ الى ٤	٠و٠١٠ الى ٠و٠٢٠	+ ٤٠٠٠ ج ف م/م°	موصل
نحاس	١ الى ١٠	٠و٠٠٢ الى ٠و٠٢٠	+ ٦٠٠٠ ج ف م/م°	موصل
نيكل	١ الى ٥	٠و٠٢٠ الى ٠و١٠	+ ٥٠٠٠ ج ف م/م°	موصل
قصدير	لحام ٥ الى ٢٠	N/A		موصل الإنهاء
	٥ الى ٢٠			موصل الإنهاء

جدول (٦) عناصر توجيهية لتصميم الأفلام الرقيقة

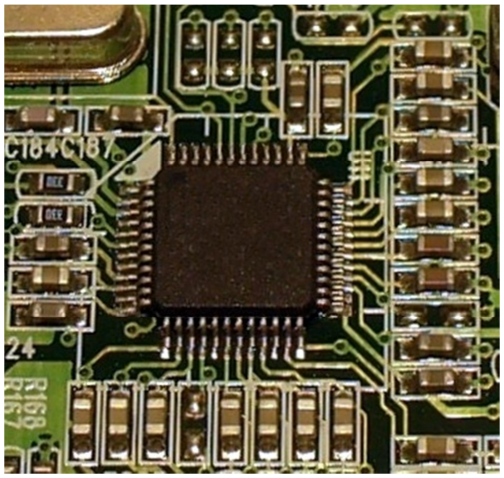
مواد الأفلام الرقيقة							
المادة	مقاومة نوعية (أوم/مربع)	معامل حرارة المقاومة (ج ف م/م°)	تتبع معامل حرارة المقاومة (ج ف م/م°)	نمط التسامح	تسامح الأقلمة	نسبة تسامح الأقلمة	الإستخدام النموذجى
تتانيوم	٥ الى ٢٥	NA		± ١٠%			طبقة الالتصاق
بالديوم	٥و٠ الى ٥			± ١٠%	NA		طبقة الالتصاق
تتانيوم- تانجستن	٨			± ١٠%			طبقة الالتصاق
ذهب	٨٠و٠			± ١٠%			موصل
الومنيوم	٢٠و٠ - ١و٠	NA		± ١٠%	NA		موصل
نتريد تنتاليوم	٥ الى ١٠٠	الى ± ١٠	الى ± ١	± ١٠%	الى ± ١٠و٠%	الى ± ٠٠٥و٠%	مقاومة
نيكل كروم	١٠ الى ٢٠٠	الى ± ١٠	الى ± ١	± ١٠%	الى ± ١٠و٠%	الى ± ٠٠٥و٠%	مقاومة
كروماكس	الى ك ٤	الى ± ٥٠	الى ± ٥	± ١٠%	الى ± ١و٠%	الى ± ١و٠%	مقاومة
بلاتنيوم	٥٠و٠ الى ١	+ ٣٧٥٠ الى +٣٨٥٠ ج ف م/م°	N/A	± ١٠%	الى ± ٥و٠%	N/A	عنصر إستشعار الحرارة

جدول (٧) عناصر توجيهية لتصميم الأفلام الرقيقة

المادة (فولت/ ميكرون)	نمط الصورة (فولت/ ميكرون)	السمك (فولت/ ميكرون)	قوة العزل الكهربائي (فولت/ ميكرون)
بوليميد ١ الى ١٠ ميكرون ٢٠٠	بوليميد ١ الى ١٠ ميكرون ٢٠٠	بوليميد ١ الى ١٠ ميكرون ٢٠٠	بوليميد ١ الى ١٠ ميكرون ٢٠٠
الإيبوكسي ٢٥ ميكرون ٢٠	الإيبوكسي ٢٥ ميكرون ٢٠	الإيبوكسي ٢٥ ميكرون ٢٠	الإيبوكسي ٢٥ ميكرون ٢٠
ثان أكسيد السيلكون (بلازما) ٢و٠ الى ١ ميكرون ٥٠٠	ثان أكسيد السيلكون (بلازما) ٢و٠ الى ١ ميكرون ٥٠٠	ثان أكسيد السيلكون (بلازما) ٢و٠ الى ١ ميكرون ٥٠٠	ثان أكسيد السيلكون (بلازما) ٢و٠ الى ١ ميكرون ٥٠٠

٧ – ٥ – ٦ الأفلام الرقيقة الغير نشطة فى ترددات اللاسلكية ودوائر الموجات القصيرة[٤٣]

حتى وقت قريب ، إستندت معظم مكثفات الموجات القصيرة على تكنولوجيا السيراميك متعدد الطبقات٠ فى هذه الآلية ،



الشكل (٧–١١٣) **مكثفات السيراميك متعددة الطبقات حول شريحة معالج**

[٤٣] مرجع للباحث ***BY RON DEMCKO AVX. Myrtle Beach, SC http://www.avx.com***

يتم تعشيق طبقات من سبائك معدنية عالية الموصلية الكهربائية مع طبقات متعددة من السيراميك العازل بمعامل فقد منخفض على نحو متعدد الطبقات حتى الحصول على السعة المستهدفة ٠يتم وضع التكوين الناتج فى بنية متجانسة في درجة حرارة عالية وتستمر هذه العملية تحقق بصورة مرضية متطلبات المكثف العالى القدرة بالإضافة الى المكثفات ذات القيم الكبيرة للترددات اللاسلكية ٠ على الجانب الآخر، يمكن أن تتحمل عملية مكثفات السيراميك متعددة الطبقات التقلبات من وحدة الى أخرى فيما يتعلق بمعايير هامة لمصممي دوائر الترددات اللاسلكية ٠ من بين هذه المعاملات الإختلافات في معامل الجودة ، المقاومة المكافئة على التوالى[٤٤] ومقاومة العزل[٤٥] والتغير فى السعة عبر النطاق الكامل المحدد للتسامح٠ على الرغم من العديد من التطبيقات فإنه ليس لها أثر سلبي بهذه الاختلافات، هذه التقلبات فى تصنيع عناصر الأفلام الرقيقة توفر للمصممين خيار بديل لمكونات الموجات العالية التردد٠ أستخدمت نفس مفاهيم تكنولوجيا الأفلام الرقيقة فى تصنيع عناصر أشباه موصلات التى سمحت بإنشاء مكونات غير نشطة من الأفلام الرقيقة مع الخصائص الكهربائية والمادية جيدة٠ حيث يمكن تحقيق عرض خطوط الترسيبات أقل من ١ ميكرومتر وسمك الطبقة العازلة أقل من ١٠٠ أنجستروم ٠ بالإضافة إلى إمكانية تحقيق دقة التفاوتات فى قيم (الحث والسعة) المكتسبة من عرض الخط الضيق ومزايا أخرى متعددة ذات أداء كهربائى ومن بينها:

إتساق المقاومة المكافئة على التوالى من مكون الى مكون كنتيجة لتقنيات الترسيب ذات التفريغ العالى ٠ يتفق مع معامل الجودة والمقاومة المكافئة على التوالى كنتيجة للنقاوة الكبيرة ومعامل ترسيب المواد العازلة الضعيف فى تقنيات التبخير٠ والممانعات المتوقعة خلال

---

[٤٤] المقاومة المكافئة على التوالى (ESR) كعامل الفقد dissipation factor (DF, tan δ) أو كعامل الجودة (Q) تعتمد على التطبيقات المطلوبة ٠

[٤٥] لا تصل مقاومة العازل الى قيمة لا نهائية، مما يؤدي إلى مستوى من تسرب التيار المستمر الذي يساهم في التفريغ الذاتي٠ فى مكثفات السيراميك توصل المقاومة بالتوازي مع المكثف في الدائرة المكافئة للمكثفات، وتسمى "مقاومة العزل" (R_{ins}) . ويجب عدم الخلط بين مقاومة العزل والعزل الخارجي فيما يتعلق بالبيئة.

نطاق واسع من الترددات. الشبكة المصفوفة الأرضية[٤٦] قادرة على تخفيض الأنماط الطفيلية. يمكن أن تؤثر مزايا الأداء الناتج لمكونات الأفلام الرقيقة على التصميم. في كثير من الحالات يمكن أن تقلل عدد المكونات المستخدمة لتحقيق وظيفة دائرة خاصة . ليس فقط تقلص حجم التصميم، لكن أيضا تخفيض وقت وتكلفة التجميع بينما يتم تحسين الموثوقية من خلال إستخدام مكونات أقل . ما هو أكثر من ذلك، يتم تحسين الأداء الكهربائي بإستخدام أجزاء أكثر إتساقا مع عوامل فقد أقل.

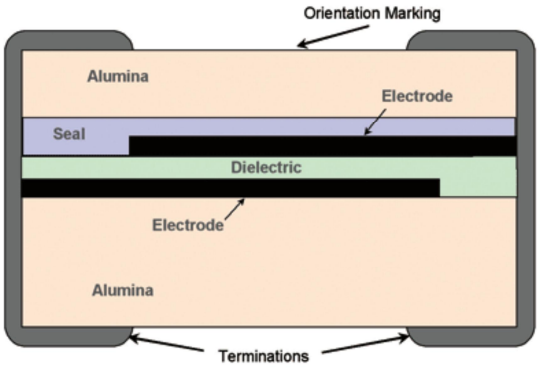
٧ – ٥ – ٧ مرشحات رفض نطاق

مرشحات رفض نطاق هى عبارة عن دائرة مصممة لمنع مرور الإشارات لطائفة محددة من الترددات اللاسلكية بينما تسمح لإشارات أخرى بالمرورر بدون إعاقة. الأسماء الشائعة الأخرى[٤٧] لمرشحات رفض نطاق هى مرشحات تصفية ، مرشحات توقف نطاق أو مرشحات قمع نطاق. التطبيق المشترك لمرشحات رفض نطاق بين مكبر القدرة والدائرة المطابقة قبل هوائي. على سبيل المثال : فى تطبيقات نموذجية تستخدم مرشحات التصفية الضيقة لتخفيض الضوضاء من هيتيرودينيس والتوافقيات المتولدة عن غير قصد من أجهزة الإستقبال ذات التغطية الواسعة متعددة النطاقات المعقدة. إستخدام مكثف واحد بتقنية الأفلام الرقيقة عالية الجودة يمكن أن يحل محل إستخدام ستة مكثفات متماثلة حيث أن خصائص الأفلام الرقيقة أقرب الى الخصائص المثالية.

---

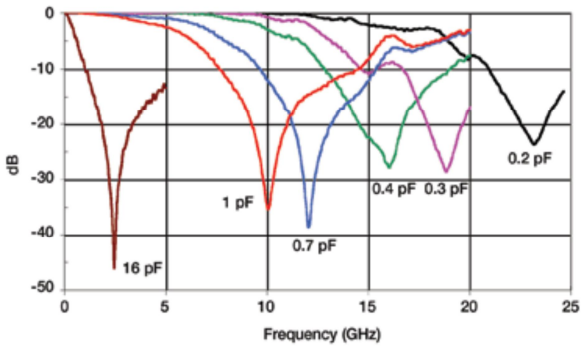
[٤٦] أدخل "معامل للتمدد الحراري" العالى High Coefficient of Thermal Expansion (HCTE) لمصفوفة الشبكة الأرضية للسيراميك Ceramic Land Grid Array (LGA) لتقليل كميات الرصاص في المنتجات النهائية. مصفوفة الشبكة الأرضية للسيراميك هى شريحة وجه قياسية "مصفوفة شبكة الكرة" standard flip-chip Ball Grid Array (BGA) بدون أبعاد حرة كروية الآن: تنتج مصفوفة الشبكة الأرضية للسيراميك بإستخدام معامل التمدد الحراري العالى للسيراميك high coefficient of thermal expansion (HCTE) فى أحجام كبيرة.

[٤٧] أسماء أخرى شائعة لمرشح رفض نطاق (band-reject filter) هي مرشحات الشق (band-reject filter) أو مرشحات توقف نطاق (stop filters band) أو مرشحات قمع نطاق (band suppression filters)



الشكل (٧-١١٤) **بناء مكثف أفلام رقيقة**

يتمتع مكثف الفيلم الرقيق بالشكل(١) بميزة إضافية فى الأداء لم تناقش في وقت سابق: ألا وهى إستجابة نقطة التنغيم الواحدة يرجع إلى حقيقة أن العناصر تستخدم تصميم واحد لطبقة عازلة طبقة واحدة مثل مكثف السيراميك متعدد الطبقات. يوضح الشكل (٧- ١١٥) خواص منحنيات الفقد فى الإرسال الأمامى[٤٨] (S21) لعدد قليل من مكثفات الأفلام الرقيقة.



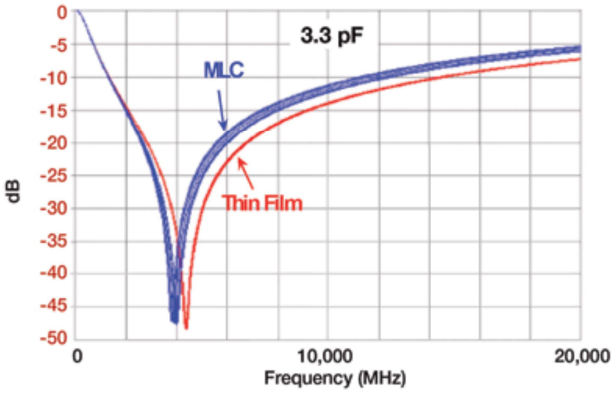
الشكل (٧-١١٥) **منحنى الخواص للفقد فى الإرسال الأمامى (S21)**

يوضح الشكل (٧-١١٥) منحنى الخواص للفقد فى الإرسال الأمامى (S21). تحقق الشركات المصنعة فوائد من المكثف ذو الطبقة الواحدة عند إستخدام مكثف الفيلم الرقيق

---

[٤٨] المعاملات إس (S-parameters) هى نسب بالديسبل مثل لوج ٢٠ (in dB as 20 log) لنسب الجهد للموجات عند المدخل، المتولدة، المنعكسة أو المرسلة (incident, reflected, or transmitted). نسب المعاملات إس الخرج (S11) الإنعكاس الأمامى (S22) الإرسال العكسى (S21) الإرسال الأمامى (S12) الإرسال العكسى

حيث أنه متسق الأداء للأقطاب وسمك طبقة الأكسيد وأثر الجودة على معامل العزل كما هو موضح فى الشكل (٧-١١٦)٠ من المهم أيضا أن ندرك حدود المكثفات الأفلام الرقيقة المستخدمة كمرشحات رفض نطاق٠ تتوفر مكثفات الفيلم الرقيق بقيم منخفضة السعة فتقتصر مرشحات رفض النطاق على مرشحات الترددات العالية ٠ في حالة التعامل مع النماذج منخفضة التردد تستخدم طرق ترشيح أخرى عادة تستخدم المكثفات متعدد الطبقات ذات معامل جودة عالى٠



الشكل (٧-١١٦) مكثف فيلم رقيق له استجابة تردد عالية متكررة

مقارنة بمكثفات السيراميك متعددة الطبقات

٧ – ٥ – ٨ لفائف الحث بتقنية الأفلام الرقيقة

تقدم لفائف الحث بتقنية الأفلام الرقيقة العديد من المزايا العملية بالمقارنة مع ملفات ذات القلب الهوائى (على الرغم من عدم تحقيق نفس معامل الجودة) ٠ ملفات الأفلام الرقيقة أسهل لإختيار المكان في عمليات التكوين السطحى[٤٩] بالمقارنة بملفات القلب الهوائى[٥٠] ٠ يمكن معالجتها بسهولة في مرحلة التبخير بالأشعة تحت الحمراء وكثرة العمليات المستخدمة

---

[٤٩] تكنولوجيا التكوين السطحى Surface-mount technology (SMT) تقنية لإنتاج دائرة إلكترونية توضع المكونات مباشرة على سطح الدائرة المطبوعة

[٥٠] ملف القلب الهوائى ('air core coil) لوصف ملف حث لا يعتمد على المواد المغناطيسية لتحقيق الحث المطلوب. وهذا يشمل الحالات حيثما كان هناك هو مجرد الهواء فى الداخل وكذلك اللفات على مواد عازلة مختلفة مثل الباكليت، الزجاج

فى التجميع٠ كذلك ، تحافظ على قيمتها خلال المناولة والبيئات عالية الإهتزازات٠ على الرغم من أنه لا يمكن ضبطها في دائرة مثل ملفات القلب الهوائى ، يمكن أن تستخدم ملفات الأفلام الرقيقة لتحل محل ملفات القلب الهوائى حالما يتم تحديد قيمة الحث الدقيق لمتطلبات الدائرة المناسبة٠ كما هو الحال في مكثفات الفيلم رقيق تنخفض المقاومة المكافئة على التوالى والفقد كثيرا بسبب التحكم فى عرض وجودة ودقة ترسيب خطوط الموصلات والطبقات العازلة ٠ وهذا يؤدي الى منتج نهائي صغير مع أي قيمة حث يمكن تخيلها بالإضافة إلى دقة التفاوت فى القيم وهى أقرب الى ٠٫٥ و٠ نانوهنرى ٠ علاوة على ذلك، يسمح الصقل والتلميع بإمكانية وقدرة تحمل التيار العالي فى ملف الفيلم الرقيق حتى ١٠٠٠ ميلى أمبير بناء على إختيار العناصر٠

مثال لتنفيذ ملف حث فيلم رقيق قد يكون لتعويض التردد لمكبرات الصوت ذات النطاق العريض . سابقا، كان يستخدم مزيج من مقاومة وملف ٠ كما هو الحال في مكثفات الفيلم الرقيق فإن إستخدام ملف الحث يمكن أن يخفض عدد المكونات المستخدمة فى الدائرة وبالتالي توفير المساحة والوزن والتجميع والتكلفة، فضلا عن تحسين الموثوقية٠ فقط كمكثفات غشاء رقيق فإن ملفات الحث الفيلم الرقيق محدودة بقيم قصوى٠ على وجه الخصوص، ملفات الحث الفيلم الرقيق توفر للمصممين حلول جيدة للترددات العالية ٠ مثال شائع في الإستخدام فى دوائر المذبذبات متعددة الجيجا هرتز٠ عند الترددات العالية ملفات الحث بالأسلاك الملفوفة ببساطة قد لا تكون متاحة نظراً لعدم وجود تقنيات تصنيع فعالة من حيث التكلفة لتصنيع مثل هذه الأسلاك منخفضة القيمة٠ عند هذه النقطة يترك للمصمم إختيار تكوين ملف حث منخفض القيمة فى دائرة مطبوعة أو إختيار ملف حث فيلم رقيق على التكوين السطحى للركائز٠ على الرغم من أن التوصل إلى حل على أساس الداوائر المطبوعة يمكن إعتباره ذو تكلفة منخفضة إلا أنه يحتاج الى مساحة أكبر ٠ ملف حث الفيلم الرقيق سوف يكون له نفس الغاية القابلة للتكرار وإستجابة متسقة التردد من مكون الى مكون كما هو الحال فى مكثفات الفيلم الرقيق٠

References

1. **Jump up ^** ***Brody, T. Peter (November 1984). "The Thin Film Transistor - A Late Flowering Bloom". IEEE Transactions on Electron Devices 31 (11): 1614–1628. doi:10.1109/T-ED.1984.21762.***
2. **Jump up ^** ***Brody, T. Peter (1996). "The birth and early childhood of active matrix - a personal memoir". Journal of the SID 4/3: 113–127.***
3. **^ Jump up to: *a* *b* Wager, John. OSU Engineers Create World's First Transparent Transistor. College of Engineering, Oregon State University, Corvallis, OR: OSU News & Communication, 2003. 29 July 2007.**
4. **R. G. Arns, *Eng. Sci. Edu. J.*, 7, 233 (1998).**
5. **P. K. Weimer, *Proc. IRE*, 1462 (1962).**
6. **T. P. Brody, J. A. Asars, and G. D. Dixon, *IEEE Trans. Electron Dev.,***
7. **ED-20, 995 (1973).**
8. **P. G. LeComber, W. E. Spear, and A. Ghaith, *Electron. Lett.*, 15, 179 (1979).**
9. **S. W. Depp and W. E. Howard, *Scientific American*, 266(3), 90 (1993).**