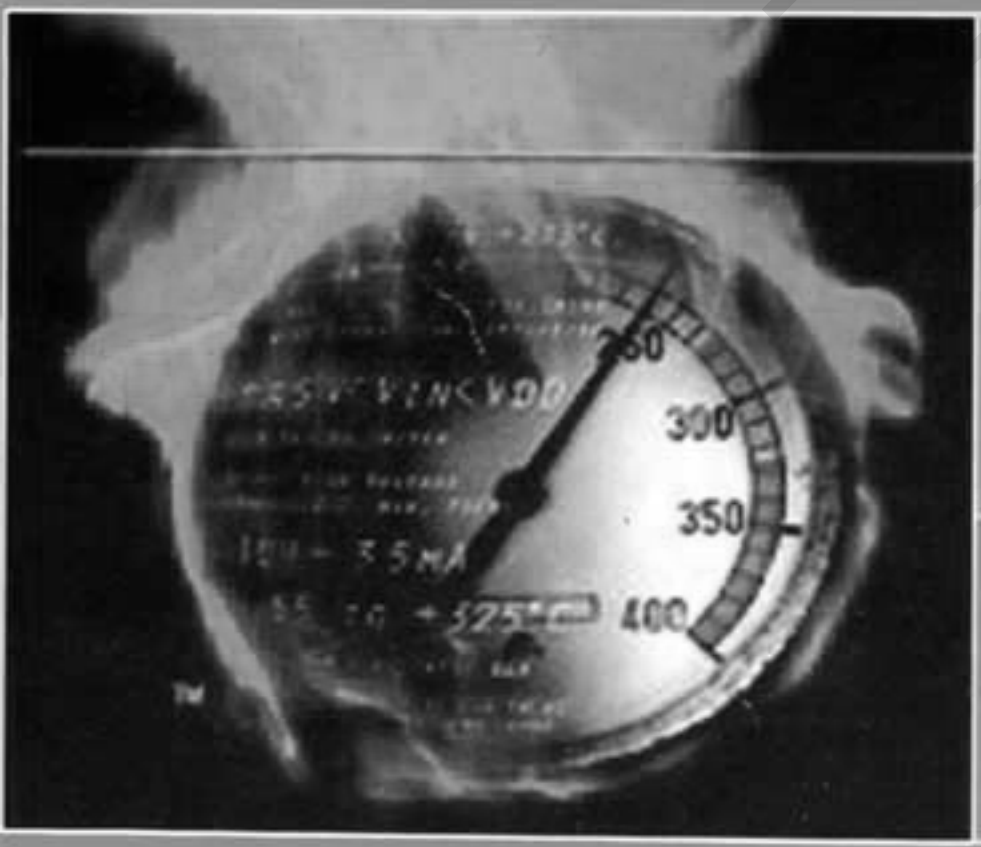
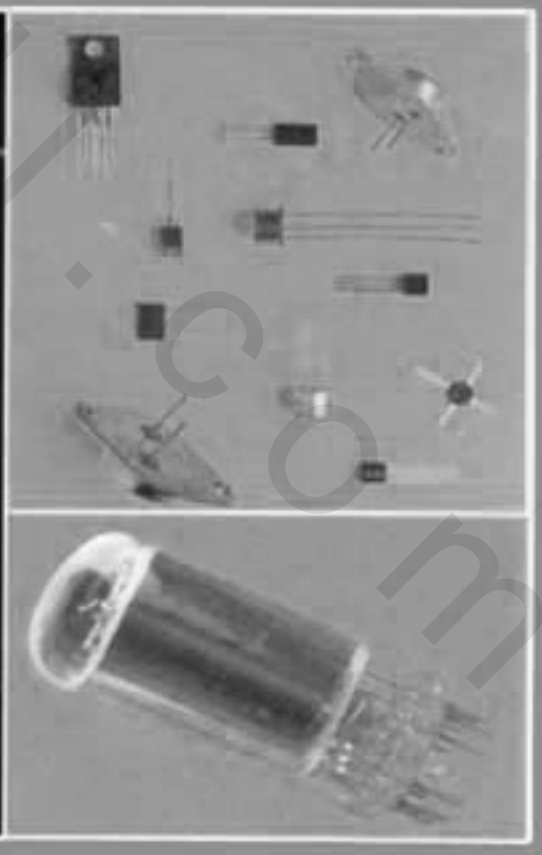
٣٨ ماذا تعلم عن..؟

الترانزستور

بقلم
دكتور مهندس سمير محمود والى





دار المعارف

obeikandl.com

ماذا تعلم عن؟..

موسوعة للأطفال تغطى مجالات المعرفة البشرية المختلفة بأسلوب شائق

٣٨

الترانزستور

بقلم

دكتور مهندس/ سمير محمود والى

دار المعارف

obeikandi.com

تنفيذ المتن والغلاف

بالمركز الإلكترونى

دار المعارف

obeikandl.com

الناشر: دار المعارف – ١١١٩ كورنيش النيل – القاهرة – ج. م. ع

هـاتف: ٥٧٧٧٠٧٧ – فـاكس: ٥٧٤٤٩٩٩ E-MAIL: MAAREF@ IDSE.NET.EG

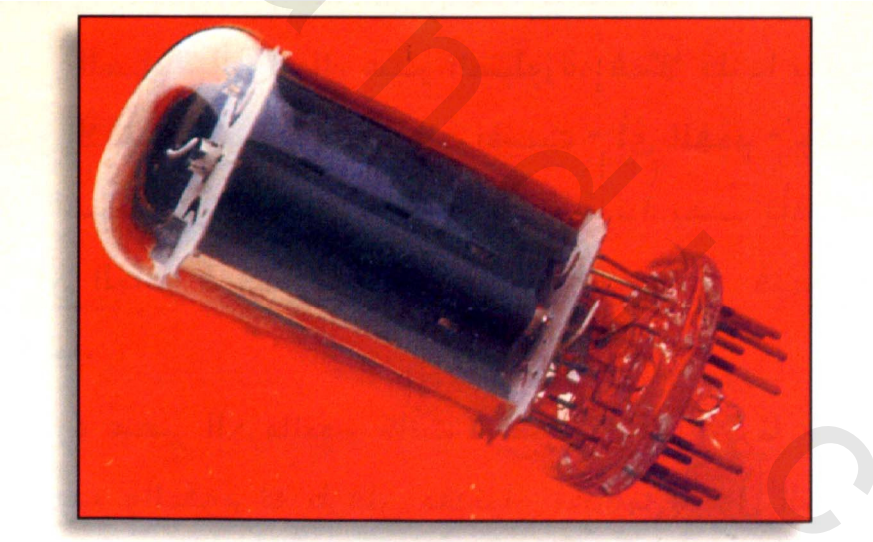
إعداد الماكيت: أمانى والى

مقدمة

الترانزستور هو أهم مكوناته الدوائر الإلكترونية وللترانزستور فى الدوائر الإلكترونية وظائف عديدة أهمها وأساسها هو عملية تكبير إشارات الجهد أو التيار الكهربائى.

والتكبير – فى الدوائر الإلكترونية عملية هامة للغاية؛ تمكننا من رؤية أو سماع الإشارات الكهرومغناطيسية الضعيفة للغاية التى ترسلها محطات الإرسال الإذاعى أو التليفزيونى أو سماع مكبرات الصوت أو تشغيل أجهزة الكومبيوتر أو أى جهاز إلكترونى آخر.

وقديما– قبل اختراع الترانزستور– كانت تستخدم الصمامات المفرغة من الهواء (اللمبات) شكل (١) فى عمليات التكبير الإلكترونية، حيث كانت جميع أجهزة الراديو وأيضا محطات الرادار فى نهاية الحرب العالمية الثانية تعمل كلها بمثل هذه الصمامات.



شكل رقم (١) قديما كانت تستخدم الصمامات المفرغة من الهواء فى عمليات التكبير الإلكترونى.

والتى كان طولها يتراوح بين ٥ إلى ٣٠ سنتيمترات طبقا لطبيعة استخدامها.

وقد كانت هذه الصمامات مصدر قلق دائم لمستخدمى الأجهزة الإلكترونية نظراً لجسمها الزجاجى القابل للكسر وكذا لكبر حجمها وصعوبة تداولها، لذا فقد بذل العلماء – فى ذلك الوقت– الجهد والفكر العميق لمحاولة تطوير " مقوم " التيار " DIODE " الشائع فى ذلك الوقت والذى كان مصنوع من بلورات عنصر الجرمانيوم لجعله يقوم بالتكبير للإشارات الكهربية بدلا من عمله المعتاد وهو تقويم التيار الكهربائى – أى تحويل التيار المتغير إلى تيار مستمر.

وعنصر الجرمانيوم كان قد تم اكتشافه بواسطة العالم " وينكلر " " WINKLER " فى عام ١٨٨٦م، وهو عنصر رباعى التكافؤ، كثافته ٥.٣ جرام لكل سنتيمتر مكعب أى أن له كثافة ضعف كثافة عنصر الألمونيوم، وينصهر عند درجة حرارة ٩٥٨ درجة مئوية ووزنه الذرى هو ٧٢.٦.

ومن المعلوم أن بلورات أى مادة تختلف فى خواصها الطبيعية عن نفس المادة فى الحال غير المتبلورة، فمثلا كلنا يعلم أن الماس ما هو إلا بلورات واحدة لمادة الجرافيت –أى الفحم– وتختلف البلورة عن المادة فى أن ذرات البلورة تكون مرتبة بحيث تأخذ اتجاهاً واحداً بدلاً عن المادة فى الحالة غير البلورية والتى تكون فيها ذراتها مرتبة عشوائياً.

وبلورة عنصر الجرمانيوم كانت تستخدم –كما ذكرنا– كمقوم للتيار أو الجهد، والمقاوم له طرفان معدنيان أحدهما لدخول التيار الكهربائى والآخر لخروجه، حيث يسمح للتيار الكهربائى بالمرور فيه فى اتجاه واحد فقط ولا يسمح للتيار بالمرور فى الاتجاه العكسى. وبذلك يقوم بعملية التقويم.

وفى ديسمبر من عام ١٩٤٧م نجح العلماء: شوكلى، وباردين، وبراتين من اختراع مكون إلكترونى ذى حالة صلبة– مثل بلورة الجرمانيوم– يقوم هذا المكون الإلكترونى بتكبير الإشارات الكهربية وأطلقوا عليه اسم " الترانزستور " وذلك بإضافة نقطة تلامس ثانية على بلورة الجرمانيوم، وفى عام ١٩٥٦م وكاعتراف لمجهودهم منحوا جائزة نوبل للعلوم.

وقد كان هؤلاء العلماء فى معامل " بل " " BELL " الأمريكية التابعة لشركة تليفونات تحمل نفس الاسم.

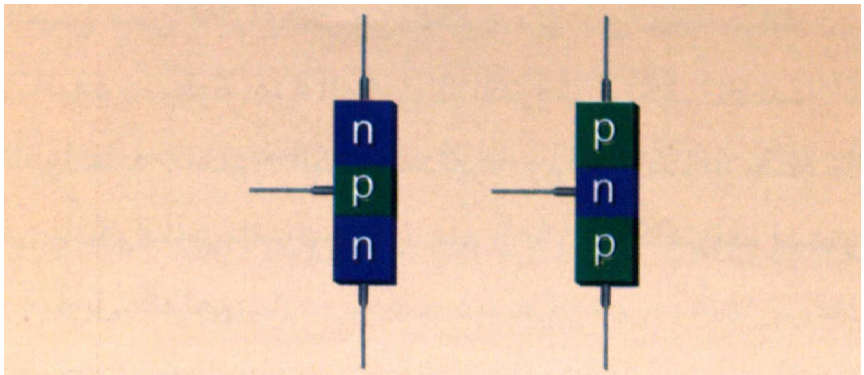
ولكن للأسف فإن صعوبة تصنيع ترانزستور الجرمانيوم، وكذا ارتفاع تكلفة إنتاجه وفساد معظم الإنتاج نتيجة لرطوبة وارتفاع درجة حرارة الجو فوق ٢٥ درجة مئوية، كل ذلك أدى إلى ركود تسويق هذا الترانزستور، وتزايد الحاجة إلى منتج جديد بتكنولوجيا لتصنيع الترانزستور.

وبحلول عام ١٩٥٢م ظهرت تكنولوجيا جديدة لتصنيع الترانزستور باستخدام أسلوب الانتشار الذى استطاع تحسين أداء الترانزستور مع انخفاض فى سعره، مما جعله يستخدم عام ١٩٥٣م فى تصنيع جهاز استقبلا لاسلكى (راديو) ولحسن الحظ فقد صادف ميعاد نزول هذا الجهاز إلى الأسواق انتشار حمى رقصة " الروك أند رول " الأمريكية، مما ساهم فى انتشار بيع هذا الجهاز الذى بلغ سعره فى ذلك الوقت ٤٩.٩٥ دولار أمريكى.

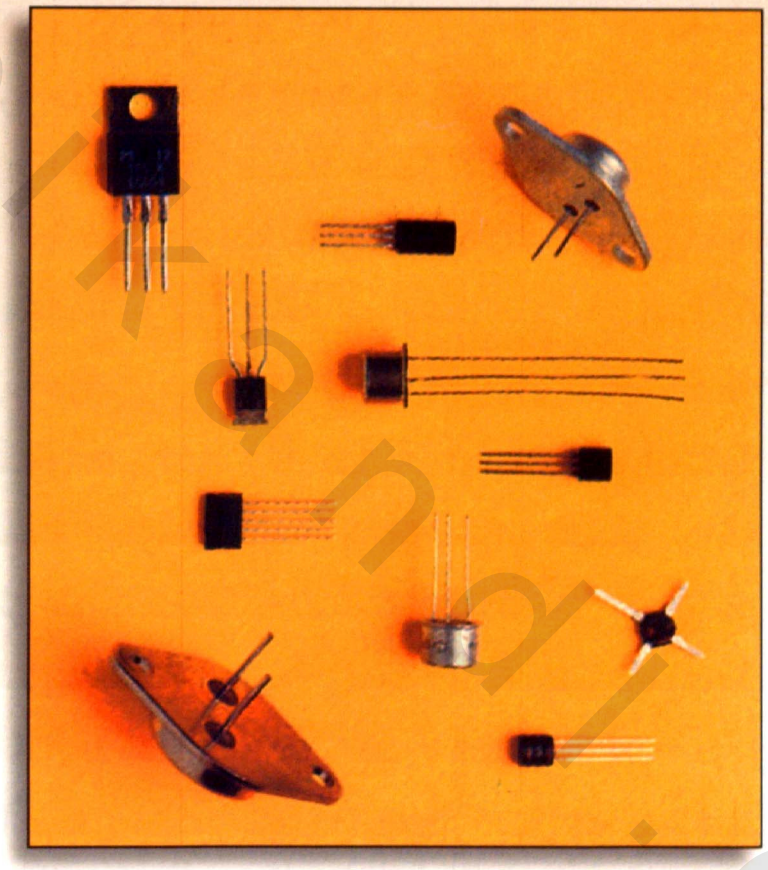
وصلة ب – ن:

الترانزستور هو مكون إليكترونى له ثلاث أطراف: كما هو واضح فى شكل رقم (٢)، وهذه الأطراف هى:

obeikandl.com



شكل رقم (٢أ) الرسم التخطيطى للترانزستور.



شكل رقم (٢ب) الترانزستور مكون إلكترونى ذو ثلاثة أطراف يتكون من ثلاث طبقات ووصلتين.

obeikandi.com

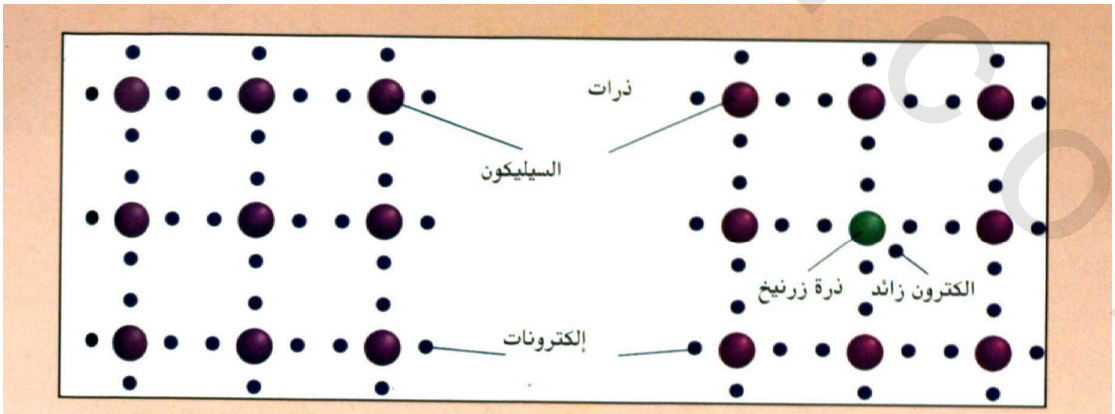
١- المجمع " COLLECTOR " ويرمز له فى الدوائر الإلكترونية بالحرف " C ": وعادة ما يتصل هذا الطرف مباشرة أو من خلال مقاومة بالطرف الموجب لمصدر الجهد، وتختلف قيمة هذا الجهد من دائرة إلى أخرى ومن ترانزستور إلى آخر.

٢- القاعدة " BASE " ويرمز لها فى الدوائر الإلكترونية بالرمز " B " والذى قد يكون متصل مباشرة أو عن طريق مقاومة بالطرف السالب لمصدر الجهد.

٣- الباعث " EMITTER " ويرمز له فى الدوائر الإلكترونية بالرمز " E " وعادة ما يتم إدخال الإشارة المطلوب تكبيرها على هذا الطرف ويتصل كل طرف من هذه الأطراف بطبقة من مواد أشباه الموصلات، وذلك يعنى أن هناك ثلاث طبقات متصلة ببعضها، وأن هناك وصلتين: الوصلة الأولى بين الطبقة الأولى والثانية، والوصلة الثانية بين الطبقة الثانية والثالثة.

ومواد أشباه الموصلات عديدة أهمها: السيليكون والفسفور والزرنيخ والجرمانيوم والبورون، وكل عنصر من هذه العناصر له تكافؤ إما ثلاثى أو رباعى أو خماسى، وعادة ما يتم اختيار عنصر السيليكون ذى التكافؤ الرباعى ليكون مادة أساسية من هذه المواد.

فإذا ما تم وضع طبقة ثلاثية أو خماسية على السيليكون، فإن ذلك سيسمح بانتقال إلكترون من أو إلى مادة السيليكون، وبذلك سيتم علم الترانزستور. وشبه الموصل الذى به إلكتروناته زائدة وقادر على إعطائها ما يسمى " المانح " " donner " ويرمز له بالرمز " n " وعادة ما تكون كميته ضئيلة للغاية؛ لذا فهو ينظر إليه على أنه " شوائب " شكل (٣).

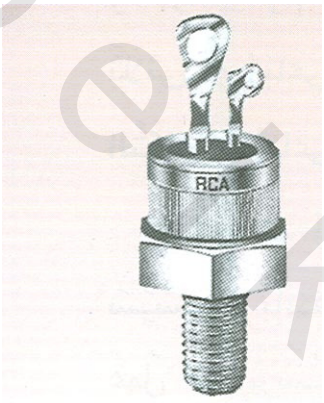


شكل رقم (٣) الشوائب داخل التركيب الإلكترونى أو طبقة الـ n وداخل طبقة الـ P.

أما شبه الموصل الذى يستقبل هذه الإلكترونات الزائدة فيسمى:

" المستقبل " " acceptor " وعادة ما يرمز له بالرمز " p ".

والترانزستور إما أن يكون p-n-p أو n-p-n كما هو واضح فى الشكل أى أن له ثلاث طبقات من مواد أشباه الموصلات ووصلتى ب–ن " p-n " ووصلة ب–ن هى الأساس فى صناعة الترانزستور أو أى مكون إلكترونى آخر، فالمقوم " diode " له وصلة ب–ن واحدة، والترانزستور له وصلتان

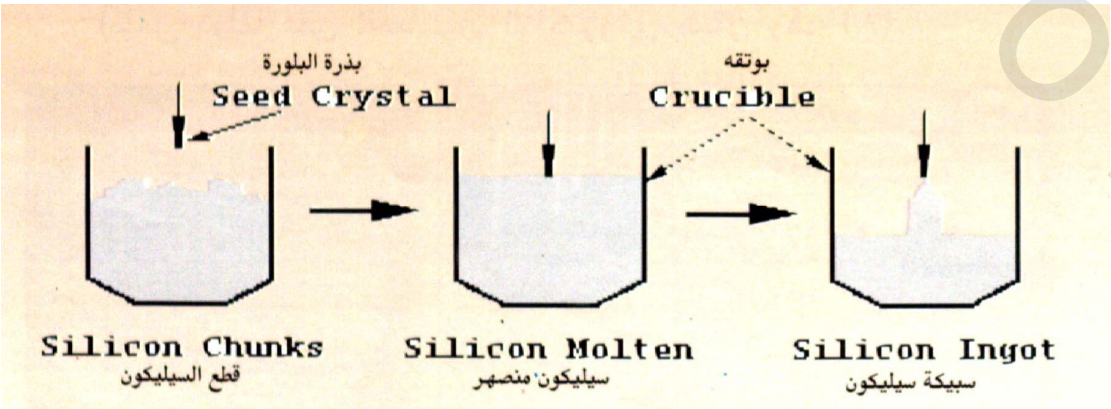


شكل (٤) المقوم السيلكونى
القابل للتحكم SCR

وهناك مكونات إلكترونية أخرى لها ثلاث وصلات أى أنها p-n-p-n مثل المقوم السيلكونى القابل للتحكم " silicon controlled rectitier " أو اختصارا " scr " شكل (٤)، لذا فإن معرفة أسلوب تصنيع وصلة ب–ن هو أمر هام حيث إنه أساس صناعة الترانزستور، وكذا كل المكونات الإلكترونية، ويتلخص أسلوب تصنيع وصلة ب–ن كالتالى:

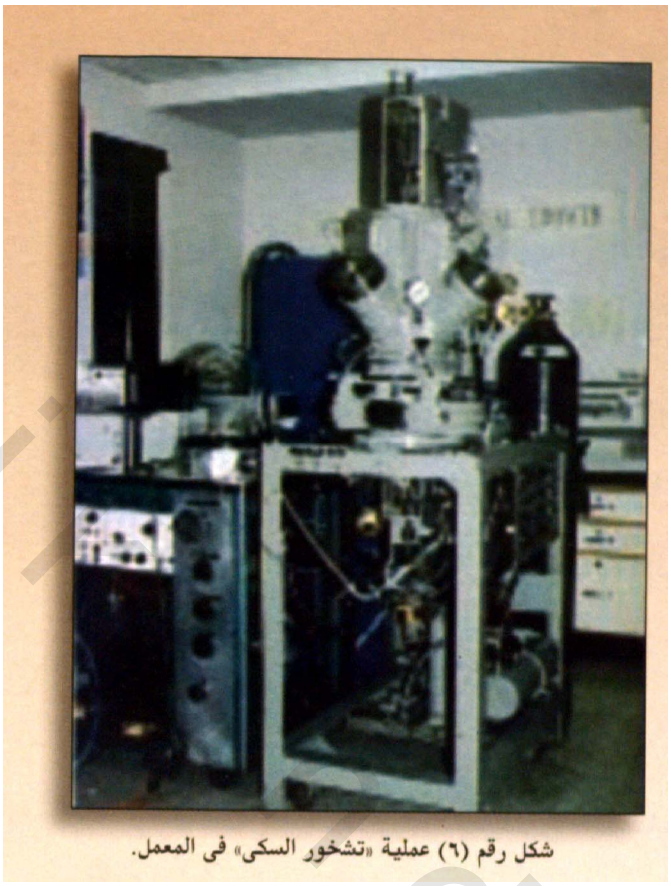
١- عملية التصنيع تبدأ من الرمال الطبيعة والتى لا تقل عادة نسبة أكسيد السيليكون فيها عن ٩٨% من مكوناتها، حيث تغسل وتنقى من الشوائب ثم يتم زيادة نقائها من خلال عمليات صناعية معقدة لتصل درجة نقائها إلى ٩٩.٩٩٩٩%، وفى هذه الحالة يعتبر السيليكون ذو نقاء إلكترونى.

٢- بعد الحصول على السيليكون ذى النقاء الإلكترونى، يتم تحويل ذرات السيليكون إلى سبائك " سيليكون متبلور " شكل (٥) وتختلف سبائك السيليكون المتبلور عن سبائك السيليكون غير المتبلور فى أن ذراتها يتم تكوينها ذرة ذرة بحيث تكون جميع الذرات ذات اتجاه واحد



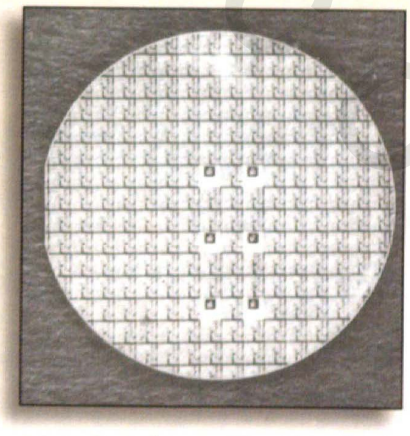
obeikandi.com

ويكون ذلك من خلال عملية تسمى عملية " تشخور السكى " شكل رقم (٦) وبالطبع فإن السيليكون المتبلور تكون له خواص طبيعية والكترونية أفضل من السيليكون الغير متبلور

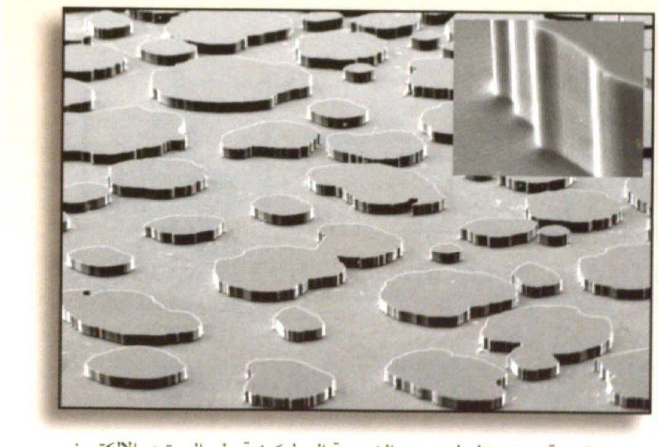


شكل رقم (٦) عملية «تشخور السكى» فى المعمل.

٣- بعد ذلك يتم تقطيع السبيكة إلى شرائح سيليكونية حيث يتراوح سمك الشريحة من ٢ إلى ١٠٠ ميكرون طبقاً للإستخدام المطلوب شكل رقم (٧) وتعالج هذه الشرائح كيميائياً بحيث يكون سطحها أملس تماماً على المستوى الإلكترونى شكل رقم (٨).



شكل رقم (٧) الشريحة السيليكونية وطريقة معالجتها.



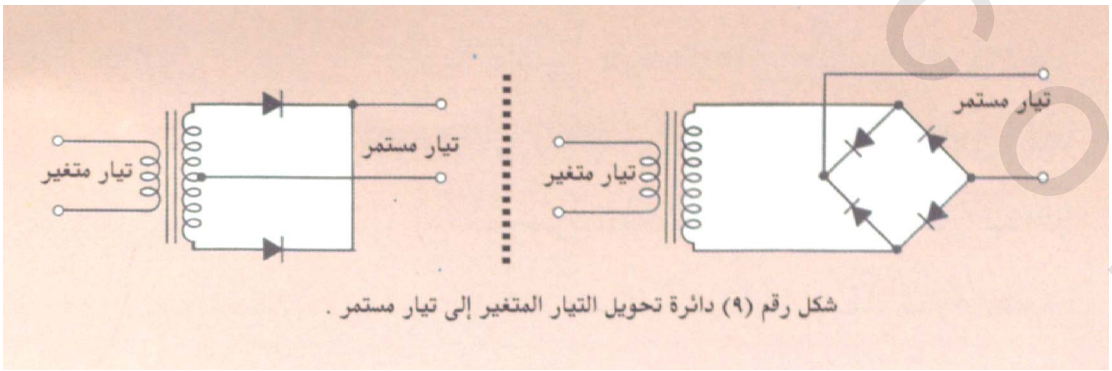
شكل رقم (٨) منظر لجزء من الشريحة السيليكونية على المستوى الإلكترونى.

٤- عند هذه اللحظة تكون الشريحة السيلكيونية جاهزة لتكوين وصلة ب-ن عليها، حيث توضع فى فرن درجة حرارته حوالى ٨٠٠ درجة مئوية ويمرر فوقها غاز لعنصر الجرمانيوم أو الفسفور أو الزرنيخ أو خلافه. (مع ملاحظة أن يكون هذا الغاز لعنصر ثلاثى أو خماسى التكافؤ بفرق واحد عن تكافؤ عنصر السيليكون المصنوعة منه الشريحة)، وبعد فترة معينة من الوقت يكون تم ترسيب طبقة من عنصر الجرمانيوم أو الفسفور أو الزرنيخ بسمك حوالى بضعة ميكرونات (الميكرون هو جزء من مليون جزء من المتر)، وبذلك يكون قد تم تكوين وصلة ب-ن من طبقة من السيليكون، وأخرى من عنصر الجرمانيوم أو الفسفور أو الزرنيخ، وبينهما طبقة مشتركة من السيليكون والعنصر الآخر.

٥- ومتى تم إنتاج وصلة ب-ن فإنه يلزم توصيل أسلاك معدنية بالطرف ب وبالطرف ن، ويتم ذلك من خلال عملية صناعية تسمى المعدنة " metalization "

٦- وأخيرا ونظراً لأن هذا المنتج يكون هشاً للغاية مثل شريحة الطباشير فإنه لابد من تغطيتها أو كما يسمى " كبسلتها " أى عمل كبسولة بلاستيك لها حتى يمكن تداولها تجاريا

ومتى تم ذلك أصبحت وصلة ب-ن جاهزة للاستخدام التجارى كمقوم للتيار، ولعل أشهر استخدام لهذه المقومات هو استخدامها فى دوائر تحويل التيار المتغير إلى تيار مستمر كما هو واضح فى شكل (٩)



شكل رقم (٩) دائرة تحويل التيار المتغير إلى تيار مستمر .

الترانزستور واستخداماته:

تنتج الشركات العالمية مئات الأنواع من الترانزستورات، وكل نوع من هذه الأنواع له مواصفاته الخاصة التى تؤهله لاستخدام ما، وتحدد هذه المواصفات قيمة الجهد المتقن وضعه على المجمع " collector " إذا كان ١.٥ أو ٣ أو ٤.٥ أو ٦ أو ٩ أو١٢ فولت كما تحدد أيضا التيار المقتن والتيار الأقصى المسموح به للمرور خلال المجمع، كما تحدد أيضا باقى الكميات الكهربية كالمقاومة والسعة الكهربائية والحث المغنطيسى ليس فقط للمجمع وإنما للباعث والقاعدة أيضا، كما تحدد الأبعاد الميكانيكية كالطول والعرض والارتفاع للترانزستور وهل هو من نوع n-p-n أو من نوع p-n-p.

ويوضح الجدول رقم (١) إحدى المواصفات والتى عادة ما تسمى ورقة البيانات " data sheet " وكل ترانزستور له ورقة بيانات، كما أن كل ترانزستور له رقم وحرف يميزه عن الترانزستور مثلاً.

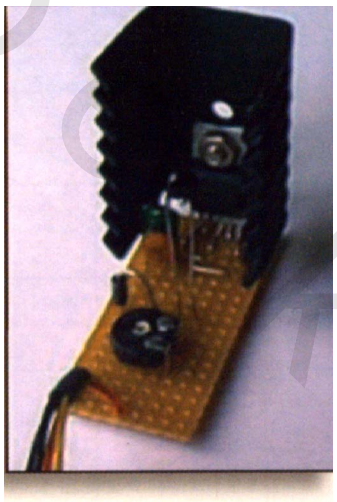
obeikandl.com

Transistors

Silicon plastic - encapsulated transistors

Type			Maximum Ratings					hFh		at	fT VCE(sat)		At		
No		VCBO	VCEO	ICM	IC(AV)	Tj	Ptot Tmb=	min	max	IC	min	max	IC	IB	Specia Features
N-P-N	P-N-P	(V)	(V)	(A)	(A)		25oC (W)			(mA)	(MHz)	(V)	(A)	(mA)	
Outline TO - 126 Drawing Reference BE															
BF469	BF470	250	250	0.1	0.03	150	1.8	50	-	25	60	-	-	-	Class B video output
BF457 BF458 BF459		160 250 300	160 250 300	0.3	0.1	150	6.0	26	-	30	90*	1.0	0.03	6	Class A video output
BD232		500	300	1	0.25	125	7.0	25	150	50	20*	1.0	0.15	15	Line-driver in tv receivers
BD135	BD136	45	45	1.5	1	150	8.0	40	250	150	250* 75*	0.5	0.5	50	
BD137	BD138	60	60	1.5	1	150	8.0	40	160	150	250* 75*	0.5	0.5	50	
BD139	BD140	100	80	1.5	1	150	8.0	40	160	150	250* 75*	0.5	0.5	50	
BD226	BD227	45	45	3	1.5	150	12.5	40	250	150	150* 50*	0.8	1	100	
BD228	BD229	60	60	3	1.5	150	12.5	40	160	150	125* 50*	0.8	1	100	
BD230	BD231	100	80	3	1.5	150	12.5	40	160	150	125* 50*	0.8	1	100	
BD131	BD132	70 45	45	6	3	150	15	40	-	500	60	0.3	0.5	50	
BD133		90	60	6	3	150	15	40	-	500	60	0.7	2	200	
BDX95 BDX96 BDX97		100+ + 120+ + 120+ +	60 60 80	10	5	150	15	45	450	500	100*	0.9 0.7 0.9	5	500	
BDX86 BDX87	BD234	800++ 1000++	400 450	1	0.5	150	20	50*	-	50	20*	3.0	0.2	20	
BD233 BD235 BD237	BD236 BD238 BD434	45 60 100	45 60 80	6	2	150	25	25	-	1A	3.0	0.6	1.0	100	
BD433 BD235 BD237	BD236 BD238	22 32 45	22 32 45	7	4	150	36	50 50 40	-	2A	3.0	0.5 0.5 0.7	2 2 3	200 200 300	
Outline TO-220 Drawing Reference BF1															
BDX84 BDX85	BD202	800++ 1000++	400 450	3	2	150	40	50*	-	100	20*	3.0	1	200	
BD201 BD203	BD204	60 60	45 60	12	8	150	60	30	-	3A 2A	3.0	1.0	3	300	
BDX77	BDX78	100 80	80	12	8	150	60	30	-	2A	3.0	1.0	3	300	
*Typical		++V ++ CBOM		++V	CESM	Max									

ونفس الترانزستور تنتجه أكثر من شركة فنجد مثلاً أن الترانزستور رقم " BD 133 " تنتجة شركات كثيرة فى الولايات المتحدة أو فى انجلترا أو اليابان أو تايوان أو خلافه، وبالطبع نجد أن نفس الترانزستور له أكثر من سعر طبقا للشركة أو الدولة المنتجة ومدى قوة عملتها وكذا مدى دقة البيانات الخاصة بالترانزستور والتى وردت فى ورقة البيانات، فهناك شركات تنتج ترانزستورات بدقة ± ١% وبالطبع فهى غالية الثمن، وهناك شركات تنتج ترانزستورات بدقة ± ٢٠% وطبعا تكون زهيدة الثمن.


شكل رقم (١٠) بالوعة الحرارة
Heat sink .

وهناك بعض أنواع الترانزستورات تستهلك وتكبر قدراً كبيراً من الطاقة الكهربية لذا فإن درجة حرارتها تكون مرتفعة، وعادة ما تزود مثل هذه الترانزستورات بوسيلة لتبريد الترانزستورات تسمى " بالوعة الحرارة " " HEAT SINK " شكل رقم (١٠)

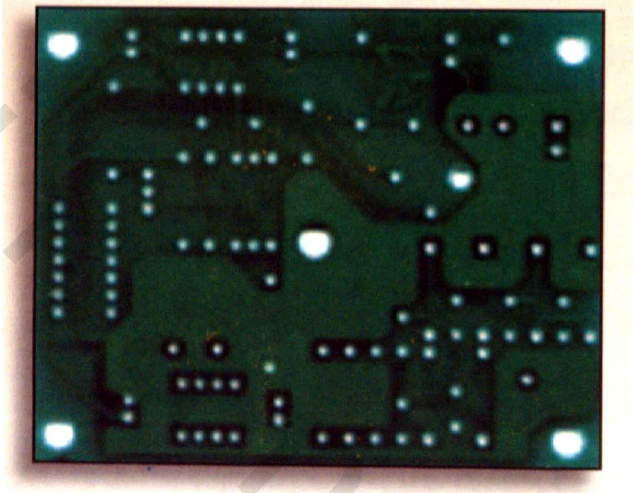
ويوضح الجدول السابق أشهر وأهم أنواع الترانزستورات ونبذة مختصرة عن خواصها ومصمم أية دائرة إلكترونية عادة ما يبدأ تصميمه بتحديد الخواص الكهربية والإلكترونية لهذه الدائرة'و فمثلاً إذا كان المطلوب تصميم دائرة لتكبير الصوت أو لتكبير موجات الراديو أو موجات الراديو أو موجات التليفزيون، فأول شىء يكون هو ما مقدار التكبير؟! وهل مطلوب تكبير الجهد أو التيار أو القدرة الكهربية..! وبالطبع فإن الإجابة على هذه الأسئلة ستكون سهلة للغاية؛ لأنها ستكون بمعنى آخر ما هو المطلوب من هذه الدائرة؟

ومتى تم معرفة قيمة التكبيرة ونوعه، فإن تحديد مواصفات الترانزستور وبالتالى رقمه سيصبح أمراً بسيطا بالاستعانة بورقة البيانات للترانزستور المطلوب.

أما عن تصميم الدائرة المطلوبة فهذا موضع بسيط حيث توجد تصميمات جاهزة ومنشورة بكافة المراجع المتخصصة، سواء لتكبير الصوت أو تكبير داوائر اللاسلكى RF أو دوائر التلفزيون أو غيره، ويوضح شكل رقم (١١) أحد هذه الدوائر

ومنذ سنوات ليست كثيرة جرت العادة على أن يتم تجميع الترانزستور مع المقاومات الكهربية والمكثفات والملفات وجميع لوازم دائرة التكبير على لوحة خاصة تسمى بالدائرة المطبوعة " PRINTED CIRCIT " شكل رقم (١٢)، وقد استخدمت هذه الدوائر المطبوعة بنجاح لعشرات السنين إلى أن ظهرت " الدوائر الإلكترونية المتكاملة " " INTEGRATED CIRCITS "

شكل رقم (١١) دائرة تكبير باستخدام ترانزستور.



شكل رقم (١٢) الدائرة المطبوعة.

obeikandl.com

والدائرة الإلكترونية المتكاملة كما تبدو فى شكل رقم (١٣) تنقسم إلى أربعة أنواع كالتالى:

شكل رقم (١٣) الدوائر الإلكترونية المتكاملة .

١- الدائرة الإلكترونية المتكاملة الصغيرة " SSI ":

وهى تلك الدائرة الإلكترونية المتكاملة التى تحتوى على عدد يتراوح بين ١٠-١٢ مكون إلكترونى (ترانزستور مثلاً)

٢- الدائرة الإلكترونية المتكاملة التى تحتوى على عدد يتراوح بين ١٢-١٠٠ مكون إلكترونى.

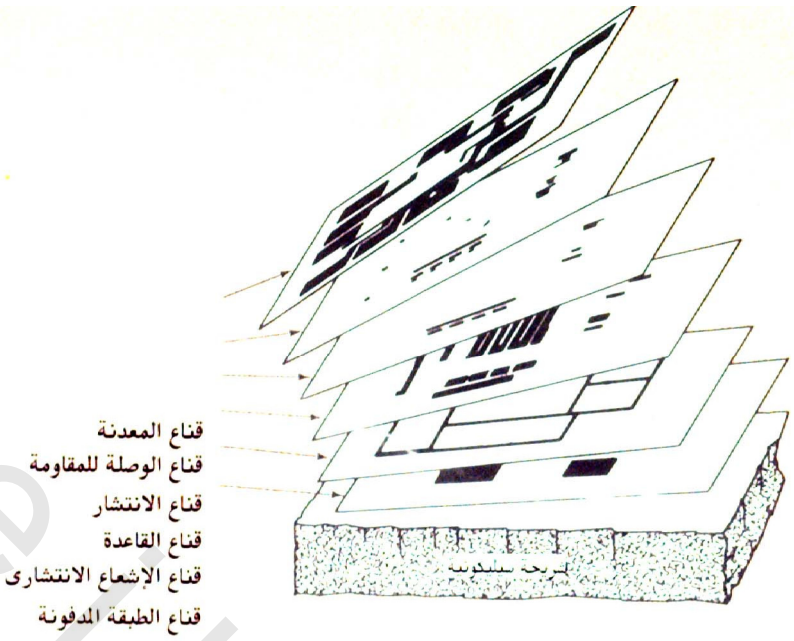
٣- الدائرة الإلكترونية المتكاملة الكبيرة " LSI ": وهى تلك الدائرة الإلكترونية المتكاملة التى تحتوى على أكبر من ١٠٠ مكون إلكترونى.

٤- الدائرة الإلكترونية المتكاملة الكبيرة للغاية " VLSI ":

وهى تلك الدائرة الإلكترونية المتكاملة التى تحتوى على ١٠٠٠٠ مكون إلكترونى أو أكثر.. وهذا النوع ناد ولا يباع إلا بإذن من الحكومات التى لها شركات منتجة لهذا النوع.

وتعتبر تكنولوجيات تصنيع الدوائر الإلكترونية إحدى الأسرار الصناعية التى تحتكرها بعض الشركات العملاقة نظراً لأن تطبيقات واستخدامات هذه الدوائر الإلكترونية المتكاملة قد انتشر بشكل كبير للغاية حيث لا يوجد راديو أو تليفزيون أو فيديو أو جهاز استقبال الأقمار الصناعية (ريسفر) أو حتى تليفون لا يوجد به أكثر من دائرة إلكترونية متكاملة.

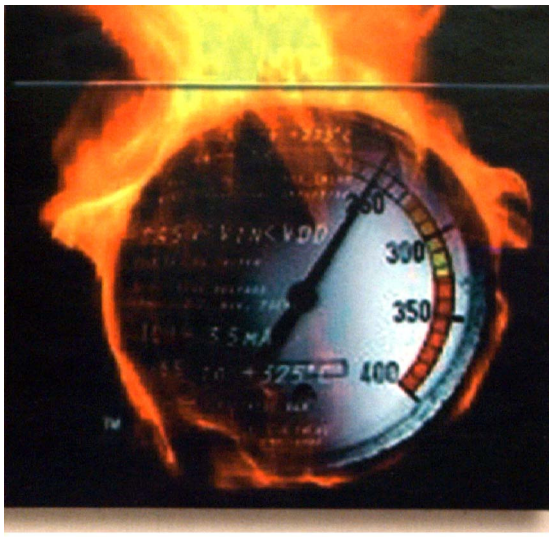
وفى الوقت الذى يمتلك العرب فيه معلومات قليلة عن تصنيع هذه الدوائر الإلكترونية المتكاملة شكل رقم (١٤) وتكنولوجياتها مثل تكنولوجيا علم الحفر الحجرى " LITHOGRAPHY " أو تكنولوجيا التنميش " ETCHING " أو خلافه نجد أن الغرب قد طور هذه الدوائر الإلكترونية المتكاملة لينتج دوائر إلكترونية متكاملة تتحمل درجات الحرارة العالية فيما يسمى بعلم:



شكل رقم (١٤) تكنولوجيا تصنيع الدوائر الإلكترونية المتكاملة بواسطة الأقنعة.

" الكترونيات درجات الحرارة العالية " " HIGH TEMPERATURE ELECTRONICS " والتى فيها يتم إنتاج دوائر إلكترونية متكاملة تتحمل حتى ٣٠٠ درجة مئوية للاستخدام داخل محركات السيارات والصواريخ والطائرات وفى أفران صهر الصلب والمعادن وخلافه. وبالطبع فإن هذا العلم لا دراية لنا به حيث لا يدرس فى الجماعات شكل (١٥).

إن التطوير هذه الدوائر الإلكترونية المتكاملة مازال مستمراً حيث تم إنتاج شرائح سيليكونية متناهية الصغر لا تتجاوز أبعادها ١ × ١ مليمتر قادرة على إتمام وظائف إلكترونية كثيرة للغاية داخل الكومبيوتر أو فى وسائل التحكم الآلى للمصانع أو فى الإنسان الآلى " الروبرت " أو فى أبحاث الفضاء



شكل رقم (١٥) إلكترونيات درجات الحرارة العالية.

ومما يجدر ذكره أن صناعة المكونات للدوائر الإلكترونية سواء ترانزستور أو دوائر إلكترونية إلكترونية متكاملة أو خلافه تحتاج إلى الرمال كمادة خام لتصنيعها، والرمال

متوفرة بكثرة فى الوطن.

كل ذلك يفرض على شبابنا العرب التزود بالعلم والثقافة الإلكترونية بشتى الوسائل، مثل كتب تبسيط العلوم أو الانترنت أو القراءة الحرة فى المراجع المتخصصة؛ حتى نستطيع مواكبة التقدم الحضارى المتسارع فى جميع دول العالم... وفق الله شبابنا لما فيه الخير على طريق التقدم والرفاهية.

obeikandl.com

المراجع

1- INTEGRATED CIRCUITS: MATERIALS, DEVICES AND FABRICATION – WILLIAM C. TILL & JAMES T. LUXON – PRINTICE – HALL, INC.

2- R C A SOLID STATE DATA BOOK, THYRISTORS, RECTIFERS AND DIACS.

3- CONCEPTS IN SCIENCE – GROUPE OF AUTHORS, HARCOURT BRACE JOVANOVICH, INC.

4- SEMI CONDUCTOR DEVICES AND APPLICATIONS, R.A. GREINER MC GRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.

5- DIFFERENT SITES ON INTERNET.

obeikandl.com

الفهرس

مقدمة ٤

وصلة ب – ن: ٦

الترانزستور واستخداماته: ١١

المراجع ١٩

obeikandl.com

رقم الإيداع	١٤٦٥٩/ ٢٠٠٤
الترقيم الدولى	ISBN 977- 02- 6703 – 1

٦٢/ ٢٠٠٤/ ٧

طبع بمطابع دار المعارف (ج. م. ع)

obeikandl.com