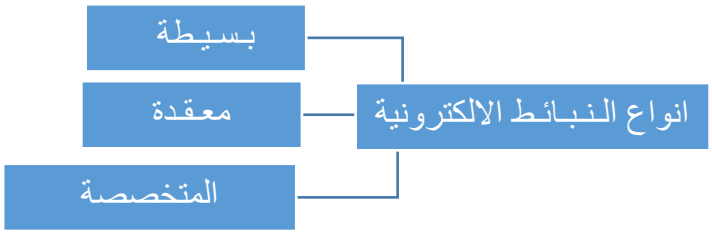
انواع نبائط اشباه الموصلات

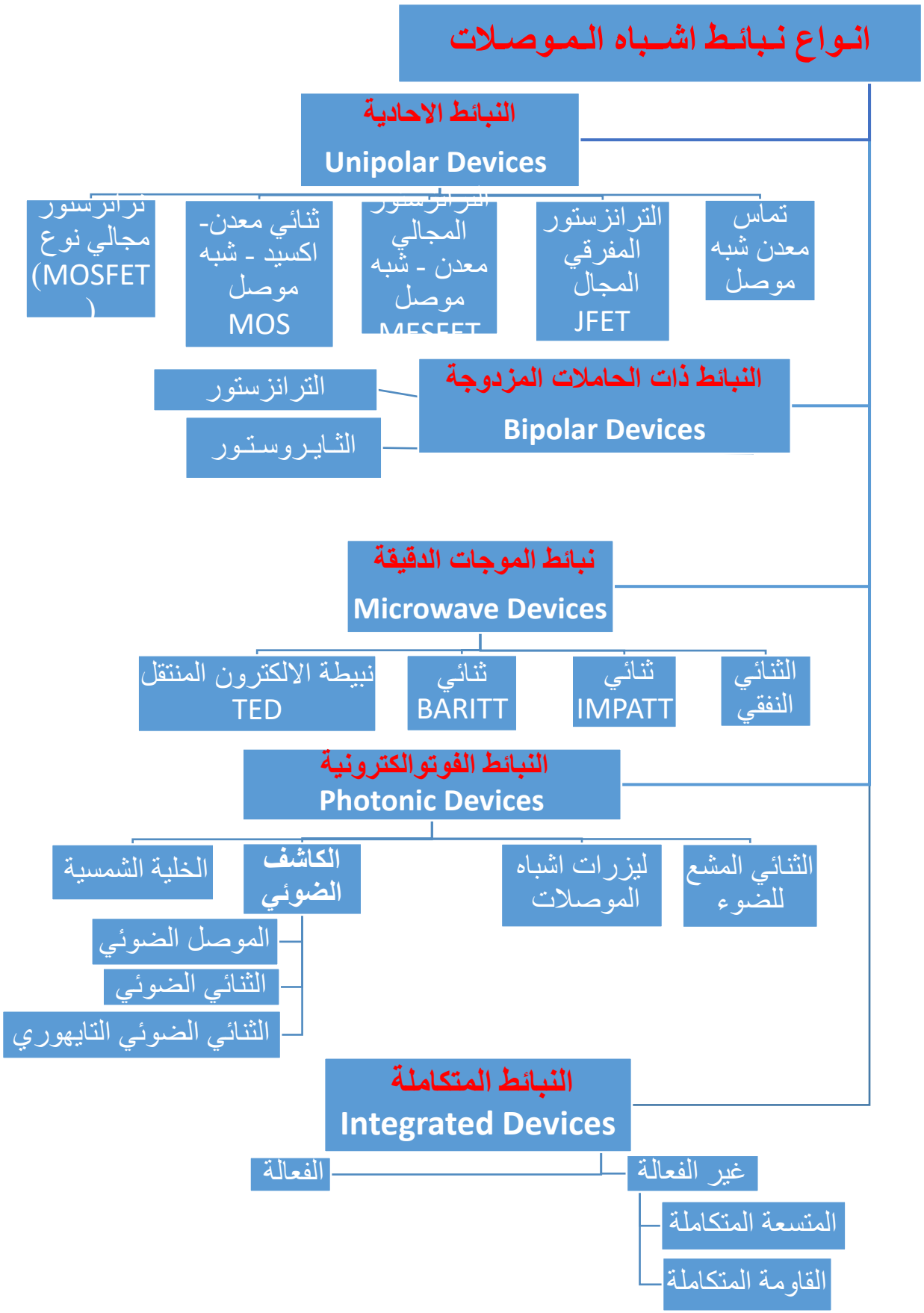
النبائط الالكترونية : وحدات بناء التي تبنى عليها الانظمة الالكترونية او مكونات اي دائرة الكترونية ولذلك هنالك ثلاثة انواع منها ، اذ يمكن تقسيم النبائط الالكترونية بصورة عامة الى :



مخطط (3-1) يوضح انواع النبائط

ونقصد بالبسيطة: مثل الملفات و الاسلاك والمقاومات و المكثف ، اما المعقدة: الدايود و الترنستور ، اما المتخصصة هي التي التي ان حذفت من الدائرة تبقى الدائرة تعمل ولا تتوقف ، وهي موجودة بالدائرة لتقوم بوظيفة محددة مثل نبيطة الخلية الشمسية في الحاسبة الصغيرة .

النبائط المعقدة عندما تصنع من اشباه الموصلات والتي لها تقسيم خاص بها والذي يمكن ان يلخص بالمخطط الاتي:



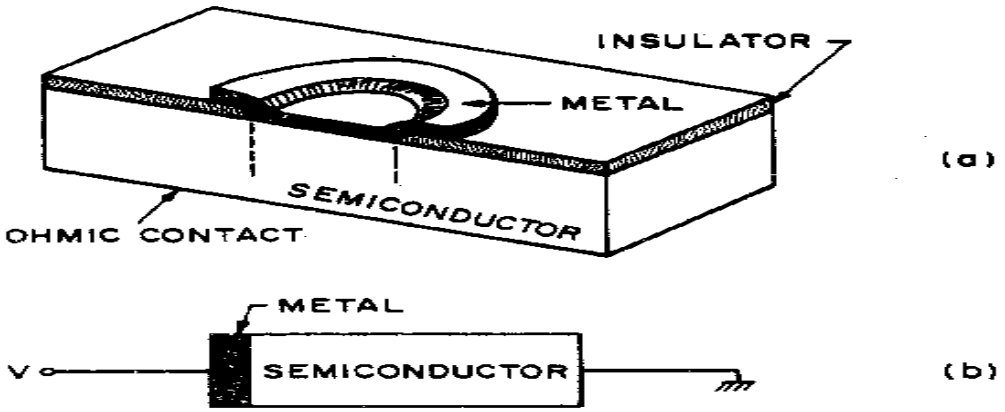
مخطط (3-2) يوضح انواع نبائط اشباه الموصلات

اولا:- النبائط أحادية الشحنة Unipolar Devices

وهي نبائط شبه موصلة يهيمن على عملية التوصيل فيها نوع واحد فقط من الشحنات، وسوف نتعرف على خمسة منها وكما يظهر بالمخطط أعلاه:

1- تماس معدن – شبه موصل METAL – SEMICONDUCTOR CONTACTS

النبيطة الاولى هي تماس معدن-شبه موصل ومن الناحية الكهربائية تشبه مفرقا فجائيا لطرف واحد نوع *p-n* في حين هي نبيطة يتوقف عملها على الحاملات الاغلبية وتتميز باستجابة زمنية سريعة. ان تماس المعدن-شبه الموصل المتكون على شبه موصل عالي التطعيم يعد اهم اشكال التماس الاومي ohmic contact. وهذه النبيطة اول نبيطة تم صناعتها لتكون مقوما بتماس نقطة. اذ تم ذلك بضغط سلك معدني دقيق لسطح شبه موصل. وقد استخدمت هذه النبيطة لاغراض عدة منذ عام 1904. واقترح شوتكي Schottky في 1938 ان بالامكان الحصول على خاصية التقويم نتيجة حاجز الجهد الذي ينشأ بوجود شحنات فضاء مستقرة في شبه الموصل ويدعى النموذج المبني على هذه الفرضية **بحاجز شوتكي** Schotty barrir . ومن الممكن ايضا ان لا يشكل تماس معدن – شبه موصل تماسا مقوما. اي ان مقاومة التماس تكون مهملة وصغيرة ايا كانت قطبية الفولتية المسلطة و يعرف التماس من هذا النوع **بالتماس الاومي**. وتحتاج جميع النبائط شبه الموصل وكذلك الدوائر المتكاملة الى تماس اومي من اجل ربطها بالنبائط الاخرى في المنظومة الالكترونية .



الشكل يوضح (a) شكل مجسم لتماس معدن – شبه موصل مصنع بالعملية المستوية
(b) تركيب ببعد واحد لتماس معدن – شبه موصل

التماس الاومي Ohmic Contact

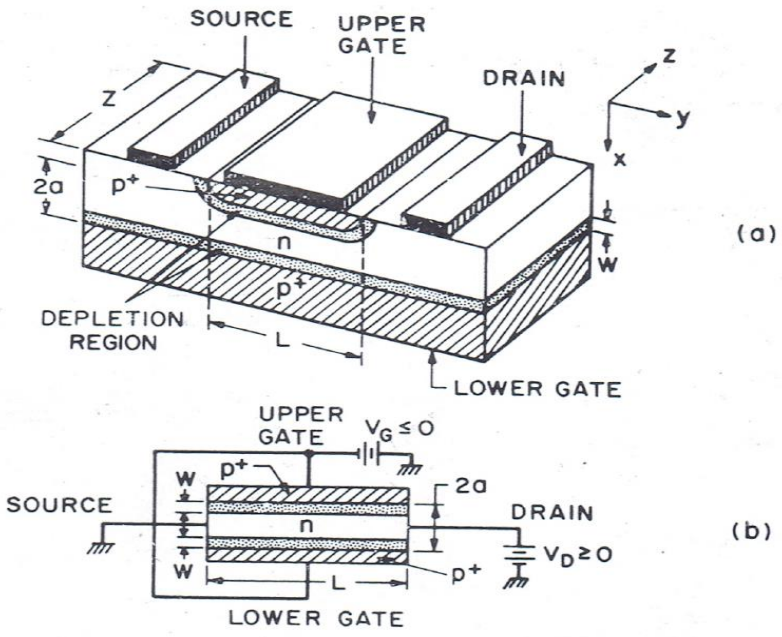
يعرف التماس الاومي بانه تماس المعدن – شبه الموصل الذي تكون مقاومته صغيرة جداً بالمقارنة بمقاومة التوالي او مقاومة المتن لشبه الموصل . والتماس الاومي المقبول يجب ان لا يؤثر سلباً من اداء النبيطة وان يمرر تيار النبيطة بحيث يكون هبوط الفولتية عبره ضئيلاً جداً بالمقارنة بهبوط الفولتية عبر الجزء الفعال من النبيطة وتقاس درجة جودة التماس الاومي بما يعرف بمقاومة التماس النوعية *specific contact resistance* وهي :

$$R_c \equiv \left[\frac{\partial J}{\partial V}\right]_{V=0}^{-1} \qquad \Omega - \mathrm{cm}^2 .$$

2. الترانزستور المفرقي المجالي THE JFET

اجرى اول تحليل للترانزستور المفرقي المجال **(JFET)** في العام 1952 . يستخدم **JFET** منطقة النضوب لمفرق او اكثر من نوع *p–n* وبانحياز عكسي للتحكم في مساحة المقطع العرضي لمسار التيار . ويكون التيار ناجماً عن نوع واحد من الشحنات لذا يعد **JFET** من النبائط الاحادية الشحنة .

وهو بالاساس مقاومة تتحكم فيها الفولتية. وهي تستخدم مفرق *p-n* بانحياز عكسي كبوابة للتحكم في المقاومة ثم سريان التيار بين تماسيين اوميين.



الشكل يوضح (a) منظر تجسيدي لـ JFET
(b) المقطع العرضي للجزء الوسطي منه . وقد تم تأريض المصدر في حين وضعت فولتية البوابة وفولتية المصرف بالانحياز المناسب لعملية التشغيل الاعتيادية .

مبدأ العمل : Principles of Operation

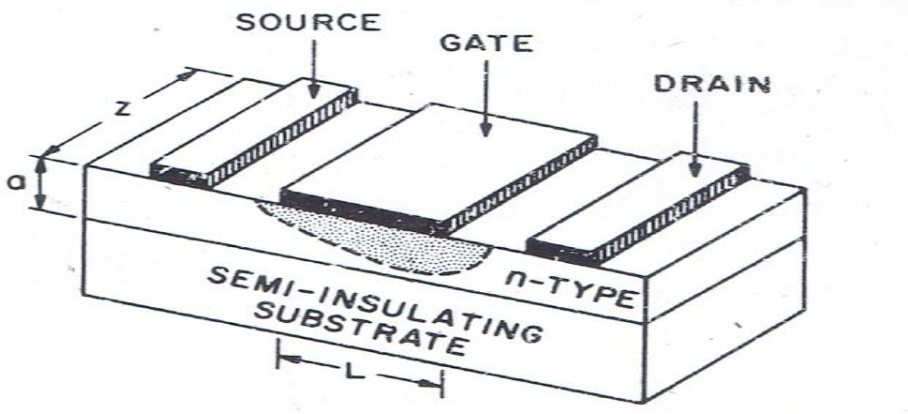
يبن الشكل (a) اعلاه منظر يجسد تركيب JFET اذ يتكون الترانزستور المفرقي المجالي من قناة موصلة في نهايتها تماسيين اوميين، واحدة من هاتين النهايتين تفعل فعل المصدر source والاخرى تفعل فعل المصرف drain. وعند تسليط فولتية موجبة على المصرف نسبة الى المصدر فان الالكترونات تسري من المصدر الى المصرف و بذا يبدو المصدر منبعا للحاملات في حين يبدو المصرف كالبالوعة لها. اما القطب الثالث ينثل البرابة فانه يكون مفرقا مقوما مع القناة. وتعد **الابعاد الاساس للنبيطة هي طول القناة L وعرض القناة Z وعمق القناة $2a$** .

3. الترانزستور المجالي معدن – شبه موصل *The MESFET*

وهو يشبه JFET غير انه يستخدم تماسا مقوما Rectifying contact نوع معدن – شبه موصل وهذا يكون بوابة التحكم بدلا من مفرق p-n . تم ابتكاره عام 1966 . ان عمله مشابه لعمل JFET . ويتم تصنيعه بتكوين طبقات فوقية Epitaxial على ارضية من مادة شبه عازلة وذلك للتقليل من المتسعات الشاردة. ويبين الشكل ادناه منظر يجسد MESFET . وتصنع معظم هذه النبائط من شبه موصل نوع n من مركبات III-V كارسنيد الكاليوم GaAs وذلك بسبب التحركية العالية للالكترونات فيه والتي تساعد في تقليل المقاومة المتوالية وبسبب سرعة الاشباع العالية للالكترونات التي ترفع من قيمة تردد القطع. ويكون على نوعين اساسيين :

1- الترانزستور MESFET المغلق عادة The Normally – Off MESFET

2- الترانزستور MESFET ذو المفرق المتباين The HeteroJunction MESFET



الشكل يوضح منظر يجسم الترانزستور MESFET

4. ثنائي معدن ـ اكسيد ـ شبه موصل THE MOS DIODE

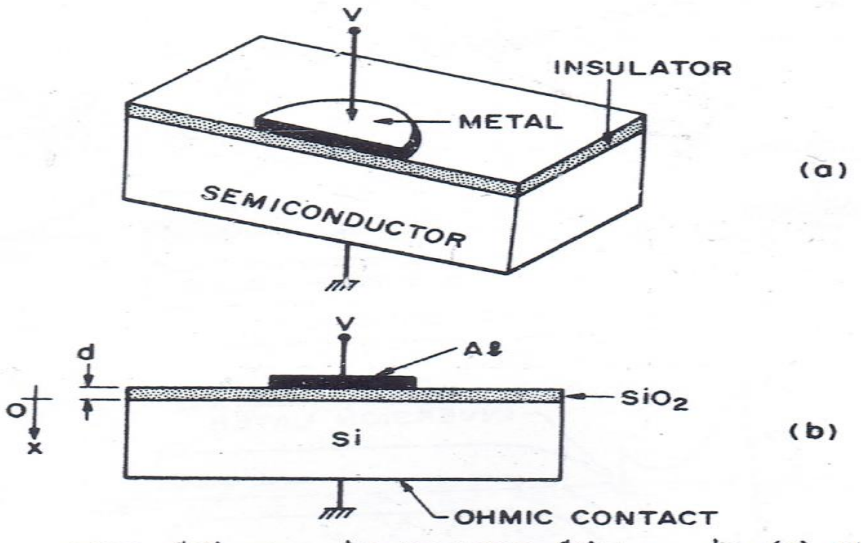
لثنائي MOS اهمية كبيرة في فيزياء نبائط شبه الموصل* . والسبب ان هذه النبيطة برهنت فائدتها العظيمة في دراسة سطوح شبه الموصل وان ثنائي MOS يشكل جوهر النبيطة الاعظم اهمية في الدوائر المتكاملة ذات الكثافة العالية جدا (VLSI) ونعني بها الـ MOSFET في هذا الجزء نتناول اولا المميزات في الحالة و لثنائي MOS اهمية كبيرة في مساعدتنا لفهم عمل النبائط لان استقرارية جميع النبائط شبه الموصلة مرتبطة بصلة وثيقة بحالة سطوحها . وله فائدة اخرى اذ يستخدم كمتسعة خزن في الدوائر المتكاملة ، ويشكل وحدة البناء الاساس للنبائط متقارنة الشحنة charge-coupled devices (CCD) . ويكون اما :

1- ثنائي MOS المثالي The Ideal MOS Diode

2- ثنائي MOS نوع SiO_2-Si The SiO_2-Si MOS Diode

4.1 ثنائي MOS المثالي The Ideal MOS Diode

يبين الشكل *a* ادناه مخططاً لثنائي MOS . ونرى في الشكل *b* ادناه مقطعاً عرضياً للنبيطة حيث يمثل *d* قيمة سمك طبقة الاكسيد و *V* هي الفولتية المسلطة على طبقة المعدن . وسنعتبر في هذا البند ان الفولتية *V* تكون موجبة عندما يكون انحياز المعدن موجبا بالنسبة الى التماس الاومي مع شبه الموصل وتعد *V* سالبة عندما يكون انحياز المعدن سالبا بالنسبة الى التماس الاومي .



الشكل يوضح (a) منظر يجسد ثنائي MOS (b) مقطع عرضي لثنائي MOS

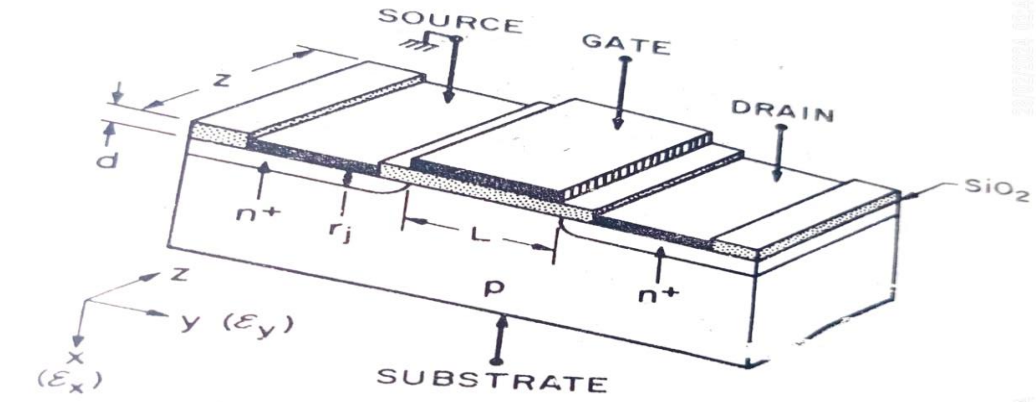
4.2 ثنائي MOS نوع SiO_2-Si *The SiO_2-Si MOS Diode*

ان اكثر الثنائيات MOS دراسة وبحثا هو الثنائي معدن - SiO_2 - Si وتقترب المميزات الكهربائية لمنظومة SiO_2 - Si من مميزات الثنائي MOS الا انه في حالة الاقطاب المعدنية شائعة الاستخدام عادة لا يكون فرق دالة الشغل $q\phi_{ms}$ صفرا وبذلك تكون هنالك شحنات متنوعة داخل الاكاسيد او عند السطح البيني لل SiO_2 - Si والتي تؤثر بشكل او اخر على مميزات ال MOS المثالي.

* الصنف الاكثر عمومية من النبائط هو معدن ـ عازل ـ شبه موصل (MIS) الا ان استخدام اكسيد السليكون في معظم الدراسات العملية مادة عازلة مكن من استخدام التعبير MOS ولهذا فان التعبير ثنائي Mos يؤخذ مرادفاً للتعبير ثنائي M·I·S.

5 المميزات الاساسي لترانزستور MOSFET
THE MOSFET: BASIC CHARACTERISTICS

وهو في الاساس ثنائي MOS مع مفرقين *p-n* يقعان تماما بجوار منطقة الثنائي MOS. ان مميزات وسمات عمله تشبه ما نجده في JFET وفي MESFET . وان استهلاكه للقدرة واطيء جدا وان عدد الوحدات الصالحة للعمل عند تصنيعه عالي جدا مقارنة بعدد الوحدات التالفة. و ايضا من المزايا هو امكانية تصغيره وان يحتل مساحات اقل من الترانزستورات المزدوجة باستخدام نفس قواعد التصميم. ويعد اهم نبيطة مستخدمة في الدوائر المتكاملة عالية الكثافة جدا VLSI ويستخدم بصورة واسعة في المعالجات الدقيقة microprocessors وذاكرات شبه الموصل التي تحتوي على الاف المركبات المنفردة على الفتاتة الواحدة chip.



الشكل 34 ، منظر لترانزستور MOSFET

يجسد الشكل 3.4 منظراً لترانزستور MOSFET لهذه النبيطة اربعة اطراف وتتألف من ارضية شبه موصلة نوع p تم فيها تكوين منطقتين نوع n^+ تمثلان المصدر والمصرف* ويدعى التماس المعدني فوق الاكسيد بالبوابة . ويمكن استخدام البوليسليكون العالي التطعيم او مركب من السيليسايد (مثلاً $MoSi_2$) والبوليسليكون كقطب للبوابة . ان العناصر الاساس للنبيطة هي طول القناة L . ويمثل المسافة بين المفرقين الفعليين p–n^+ عرض القناة Z . وسمك الاكسيد d وعمق المفرق r_j وتركيز تطعيم الارضية N_A . ويجدر الملاحظة بان الجزء الوسطي من النبيطة يمثل ثنائي MOS الذي سبق شرحه في 5.4 .

---

* هذه النبيطة هي ذات قناة n ويمكن تحضير نبيطة ذات قناة p باستبدال n بـ p وعكس قطبية جميع الفولتيات .

كما ان MOSFET يأخذ دوره كنبيطة مهمة لتطبيقات القدرة . ولها مسميات عديدة منها الترانزستور المجالي ذو البوابة المعزولة IGFET insulated-gate FET والترانزستور المجالي معدن ـ عازل ـ شبه موصل MISFET (metal–insulator–semiconductor) والترانزستور معدن ـ اكسيد ـ شبه موصل (metal–oxide–semiconductor transistor) MOST والـ MOSFET من عائلة الترانزستورات المجالية FET .

5.5.4 انواع الـ MOSFETs

هنالك في الاساس اربعة انواع مختلفة من الـ MOSFETs تتوقف على نوعية طبقة الانقلاب . فاذا كانت موصلية القناة واطئة جداً عند غياب الانحياز عن البوابة فانه يتوجب تسليط فولتية موجبة على البوابة لتكوين قناة n وعندئذ فان النبيطة من نوع المغلق عادة normally-off (تعزيزي (enhancement) MOSFET ذو قناة n . اما اذا كان للترانزستور قناة n عند غياب الانحياز ويجب تسليط فولتية سالبة الى البوابة لاجل استنزاف الحاملات وتقليل موصلية القناة فعندئذ نقول عن الترانزستور بانه من نوع مفتوح عادة normally-on (النضوب ـ (depletion MOSFET . وكذلك هنالك الترانزستور ذو القناة p من نوع المغلق عادة (التعزيزي) والمفتوح عادة (النضوب) .

ثانيا: النبائط ذات الحاملات المزدوجة Bipolar Devices

هي نبائط من شبه الموصل تسهم الالكترونات والفجوات معا في عملية التوصيل فيها. وهذا مغاير لما وجدناه في النبائط ذات الحملات المنفردة unipolar devices اذ يهيمن نوع واحد من الحملات على عملية التوصيل فيها.

ومن الأمثلة على هذا النوع الثاني من النبائط سنتعرف على:

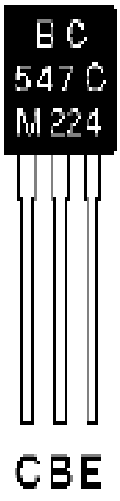
أولا: الترانزستور

وهو من اكثر نبائط اشباه الموصلات أهمية ، اذ عندما تضاف طبقة ثالثة للثنائي بحيث يتشكل لدينا وصلتين، فان الناتج هو عنصر جديد يطلق علية" الترانزستور"، ويتمتع الترانزستور بقدرة عالية على تكبير الاشارات الالكترونية، وهذا بالرغم من حجمه الصغير

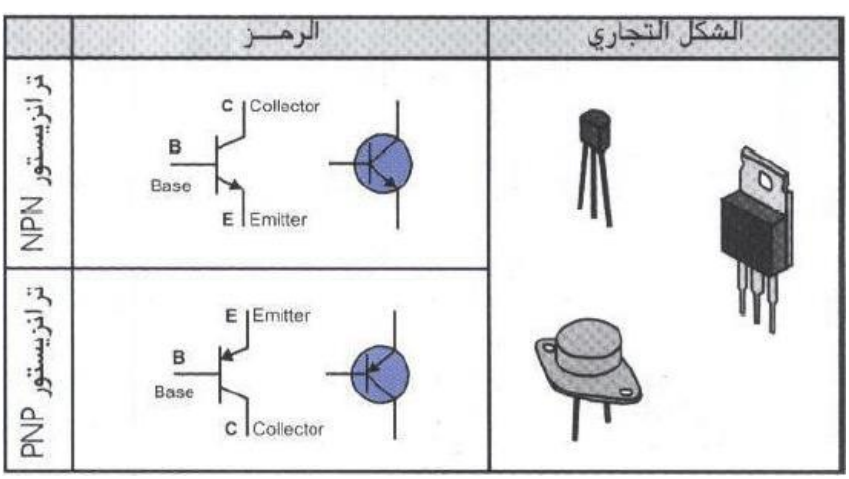
سبب اختراع الترانزستور:

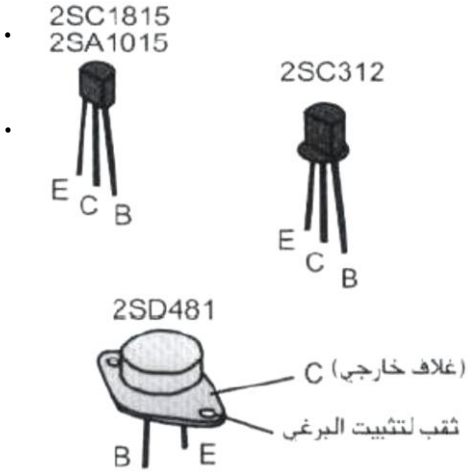
تم اختراعه بسبب عيوب الصمامات المفرغة من استهلاك عالي للقدرة وانعدام الجساءة الميكانيكية وأيضا كبر الحجم والوزن وقد ظهر أول تطبيق له في الحرب العالمية الثانية.

وصف الترانزيستور: الترانزيستور هو عنصُر له ثلاثة طراف تخرج منهُ. وهي القاعدة B و المجمّع C و الباعث E ..في الجانب رسم لترانزيستور من النوعBC547 مكبر اربع مرات



هو بلورة من مادة شبه موصل مطعمة كالجرمانيوم أو السيليكون تحتوي على بلورة رقيقة جدا بحيث تكون المنطقة الوسطى منها شبه موصل موجب أو سالب وتسمى القاعدة بينما المنطقتان الخارجيتان من النوعية المخالفة وله قدرة كبيرة على تكبير الإشارات الإلكترونية .ويعرف ايضا على انه : وصلة ثلاثية من بلورة الجرمانيوم أو السليكون تحتوي على بلورة رقيقة جدا من النوع الموجب أو السالب تسمى القاعدة توجد في الوسط وعلى جانبيها بلورتان من نوع مخالف هما الباعث والمجمع.





2	S	C		1815
تشير إلى أن العنصر هو ترانزستور	للإشارة إلى أن العنصر هو نصف ناقل	A	ترانزيستور نوع PNP لتطبيقات الترددات العالية	رقم مضاف بغرض تمييز المنتج
		B	ترانزيستور نوع PNP لتطبيقات الترددات المنخفضة	
		C	ترانزيستور نوع NPN لتطبيقات الترددات العالية	
		D	ترانزيستور نوع NPN لتطبيقات الترددات المنخفضة	

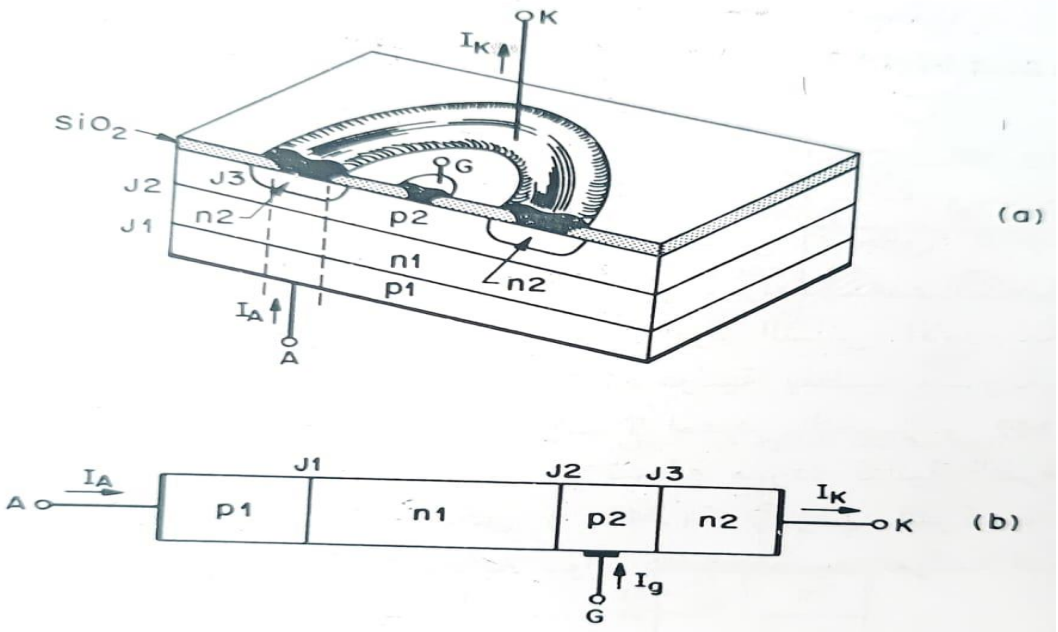
شكل يوضح الاشكال التجارية وانواع ورموز الترانزستور ودلالتها

ثانيا : الثايروستور The Thyristor

ونبيطة اخرى ذات حاملات مزدوجة هي الثايرستور thyristor, ولها ثلاثة مفارق مترابطة على هيئة $p-n-p-n^2$. ولهذه النبيطة حالتان مستقرتان عند التشغيل اذ يمكن تحويلها من حالة الممانعة العالية high-impedance وهي في حالة الاطفاء "off" الى حالة الممانعة الواطئة low- impedance وهي حالة الفتح "on", وقد اشتق اسم الثايرستور من الثايرترون وهو صمام الكتروني مملوء بالغاز ذو مميزات شبيهة بالثايرستور . وبسبب حالتي الاستقرار (الاطفاء والفتح) (on off) وبسبب القدرة المبددة الواطئة في هاتين الحالتين يستفاد من الثايرستور في تطبيقات تمتد من خافتات الضوء light dimmers ومتحكمات السرعة في الاجهزة المنزلية الى المفاتيح switching وقالبات القدرة inversion في خطوط نقل الضغط العالي .

الثايرستور نبيطة مهمة في تطبيقات الاقلاب التي تتطلب من النبيطة التحول من حالة الغلق *off* او حالة القطع blocking state الى حالة الفتح *on* او حالة التوصيل conducting state او العكس[2,9] . ولقد تناولنا استخدام الترانزستور مزدوج الحاملات في هذه التطبيقات . حيث يستخدم تيار القاعدة لتحويل الترانزستور من وضع القطع الى وضع الاشباع عند الفتح on-state . وتحويلة من وضع الاشباع الى وضع القطع عند الغلق off-state . ان عمل الثايرستور . يرتبط صميمياً بعمل الترانزستور المزدوج الحاملات . حيث تساهم الالكترونات والثقوب في عمليات النقل . إلا ان آلية الاقلاب من الفتح الى الغلق في الثايرستور تختلف كلياً عنها في الترانزستور مزدوج الحاملات . وكذلك . فان اسلوب تركيب الثايرستور يجعله ذا مديات تحمل اوسع من الترانزستور للتيار وللفولتية .

وتوجد الان ثايرستورات يتراوح مدى تحملها من بضع ملي امبيرات الى 5000 أمبير ولفولتيات تفوق 10,000 V فولت .



(a) ثايرستور مستوي ثلاثي الاطراف (b) مقطع عرضي ببعد واحد لثايرستور مستوي