



حلقة بحث لمادة الفيزياء بعنوان
أنصاف التواقل ومدخل إلى الترانزستور

2014/2015

الصف: العاشر

تقديم الطالب: سليمان علي

محمود

المدرّس المشرف: رشيد سيّو

• المقدمة:

علم الإلكترونيات من العلوم الحديثة التي تطوّرت سريعا منذ مطلع القرن العشرين، حيث أدى اختراع الترانزستور الذي احتلّ مكانة هامة في صناعة الأجهزة الإلكترونية إلى تطوّر هائل في هذه الأجهزة من الراديو إلى الحاسب إلى التلفزيون وأجهزة الاتصالات و.... إلخ.

إن الأبحاث العلمية المتعلقة والدوائر الإلكترونية قد خطت فيه خطوات واسعة وجبارة للأمام. وسلّطت الأضواء بشدة على الأبحاث الجارية في مجال تطوير الإلكترونيات لإنتاج الكمبيوترات المستقبلية.

وتعتمد الحقبة الجديدة على تطوير أداء وتصغير أحجام الترانزستور الذي قاد الثورة الرقمية منذ أكثر من نصف قرن وما زال متريعا على عرش الصناعات الإلكترونية حتى الآن .

ويتوقع الخبراء أن الكمبيوترات الجديدة التي ستكون ذات سرعة عالية، وضئيلة الحجم من شأنها أن تقلب حياة الإنسان رأسا على عقب، مثلما انقلبت حياة البشر في منتصف القرن الماضي بعد اختراع الترانزستور .

• إشكالية البحث:

- ما هي أنصاف النواقل؟
- ما هي البنية البلورية لأنصاف النواقل (ناقليتها، التهجين)؟
- الترانزستور، وخصائصه
- هل يدخل النانو عالم الترانزستور مستقبلاً؟

• ما هي أنصاف النواقل؟

تصنف المواد إلى ثلاثة أنواع من حيث ناقليتها للتيار الكهربائي وذلك يعتمد على وفرة الإلكترونات الحرة (الكثافة الحجمية للإلكترونات)، وهي تصنف بحسب مقاومتها النوعية إلى ثلاثة أنواع:

1- مواد جيدة الناقلية (النواقل).

2- مواد ضعيفة الناقلية (عوازل).

3- مواد نصف ناقلة.

المواد نصف الناقلة: تأخذ مقاومتها النوعية بالدرجة العادية من الحرارة، فيما تقع بين المقاومة النوعية لكلٍ من المواد جيدة الناقلية والمواد العازلة، وتقل مقاومتها النوعية بازياد درجة الحرارة ومن أمثلتها (السليسيوم)، وتكون المقاومة النوعية للمواد نصف الناقلة من رتبة $10^{-5} / 10^5$.

• البنية البلورية لنصف الناقل:¹

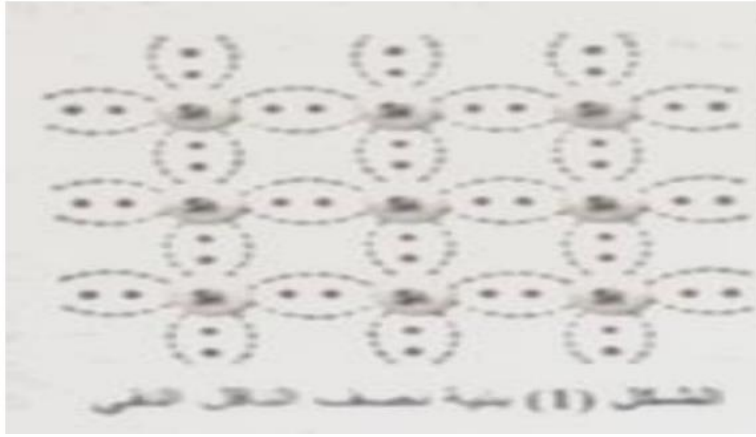
تحتوي ذرات عناصر نصف الناقلة على أربعة إلكترونات في طبقتها التكافؤية، وترتبط كل ذرة مع أربعة ذرات مجاورة لها بأربع روابط تشاركية لتحقيق الثمانية الإلكترونية.

يعد نصف الناقل عازلاً مثالياً في درجة الصفر المطلق ، لأنه لا يحوي إلكترونات حرّة²، وعند ارتفاع درجة حرارته يمكن لبعض الإلكترونات التكافؤية أن تحصل على طاقة كافية لتحرّر من روابطها المشتركة ، وتصبح حرّة الحركة داخل البلورة وعند ترك أحد هذه الإلكترونات لمكانه يترك خلفه مكاناً فارغاً نسميه ثقباً شحنته موجبة ممّا يؤلف زوجاً (إلكترون _ ثقب) يسبّب الناقليّة في نصف الناقل النقي، ويمكن للإلكترون في ذرة مجاورة

¹ - كتاب الفيزياء العام، الصف الثالث الثانوي، الجمهورية العربية السورية، تاريخ الطبعة

أن يتحرّك ليماً هذا الثقب مخلفاً وراءه ثقباً جديداً موجباً وهكذا يحدث انتقال في إمكانية الثّقوب يكافئ انتقال الشّحنة الموجبة بعكس جهة حركة الإلكترونات الحرّة وتبقى البلّورة معتدلة ، لأنّه يكون دوماً عدد الإلكترونات الحرّة مساوياً عدد الثّقوب التي تخلفها على الذّرات في درجة حرارة معيّنة .

مثال: كما هو موضّح في الشّكل التالي وهي عبارة عن بلّورة لذرة السيليكون حيث تم تمثيل ذرة السيليكون Si بكرة صغيرة والإلكترونات بروابطها المشتركة.



الشكل (1)

- الناقلية الهجينة لأنصاف النواقل:

يُقصد بالتّهجين هو إدخال ذرات معينة لتحلّ في أماكن الذّرات الأصليّة، وتسمّى هذه العمليّة التّطعيم أو الإشابة وتكون النسبة: ذرة واحدة شائبة مقابل مليون ذرة نصف الناقل تقريباً، ويفيد ذلك في زيادة ناقلية نصف الناقل نتيجة زيادة عدد الشّحنات الكهربائيّة المتحرّكة (إلكترونات، ثقب) وبالتالي نقصان مقاومته.

يوجد نمطان لأنصاف النواقل الهجينة:

- النمط الأوّل: n

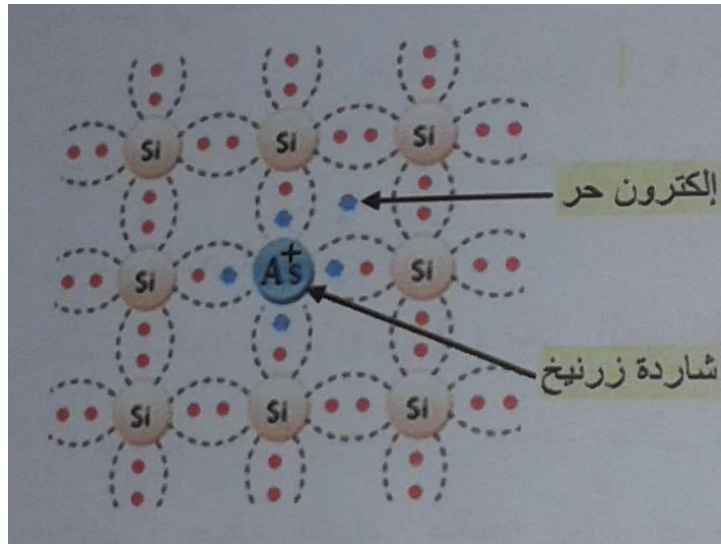
شوائبه من ذرات تحتوي كل منها على خمسة إلكترونات في طبقتها السّطيّة مثل: الزّرنينخ (خماسيّة التّكافؤ).

- النمط الثاني: p

شوائبه من ذرات تحتوي كل منها على ثلاثة إلكترونات في طبقتها السطحية مثل: البور (ثلاثية التكافؤ).

حيث تسمى الناقلية الجديدة التي حصلنا عليها نتيجة لإدخال الشوائب (الناقلية الهجينة).

- نصف الناقل الهجين من النمط: n

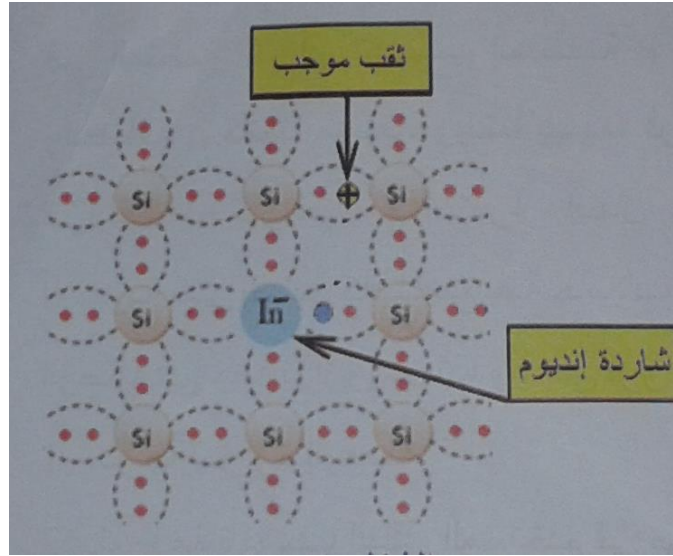


الشكل (2)

ذرة الزرنيخ (خماسية التكافؤ)، تحل مكان إحدى ذرات (السيليكون) في البلورة، حيث تكون محاطة بأربع ذرات من السيليكون وتكون مع تلك الذرات بأربع روابط مشتركة، يساهم في تلك الروابط أربعة إلكترونات من ذرة الزرنيخ، ويبقى لديها إلكترون فائض غير مرتبط بترك ذرته، ويسهل انتقاله داخل البلورة.

ويبقى نصف الناقل الهجين معتدلاً حيث يمكن للإلكترونات الفائضة أن تتحرر بسهولة معطية ناقلاً هجيناً وتسمى هذه الناقلية (بالناقلية الإلكترونية).

- نصف الناقل الهجين من النمط: p^3



الشكل (3)

ذرة الأنديموم (ثلاثية التكافؤ) ، تحل مكان إحدى ذرات (السيليكون) في البلورة ، حيث تكون محاطة بأربع ذرات من السيليكون حيث تكوّن روابط مشتركة مع ثلاث ذرات منها وينقص إلكترون في ذرة الأنديموم لتكوين الرابطة الرابعة مع ذرة السيليكون ، حيث يؤدي النقص إلى ترك مكاناً شاغراً يدعى (ثقب) ، حيث يستطيع إلكترون من ذرة مجاورة ان يتحرك ليعدّل هذا الفراغ حيث يخلف وراءه ثقباً جديداً ، ويبقى نصف الناقل معتدلاً ذا ثقب غير مشغولة بالإلكترونات، ويسعى إلى قبول إلكترونات يملأ ثقبه الفارغة ، تسعى إلكترونات الترابط المجاورة لملء هذه الثقب مخرّفة وراءها ثقباً جديدة تُضاف إلى الثقب الأصليّة ، وتسمّى هذه الناقلية (بالناقلية الثقبية).

- كتاب الفيزياء العام، الصف الثالث الثانوي، الجمهورية العربية السورية، تاريخ الطبعة

2012-2013، صفحة 215

- ثنائي الوصلة غير المستقطب (p-n)



الشكل (4)

نقوم بصنع شريحة من نصف ناقل حيث يتم تهجين نصفها بذرّات من النوع n والنصف الآخر من النوع p فتتّشأ بينهما منطقة رقيقة تسمّى منطقة العبور.

تنتقل بعض إلكترونات المنطقة n نحو المنطقة p، وتنتقل بعض ثقبوب المنطقة p نحو المنطقة n خلال منطقة العبور، فيتشكل لدينا تيار يتجه من المنطقة p إلى المنطقة n حيث تنتقل الإلكترونات إلى المنطقة p وتنتقل الثقبوب إلى المنطقة n، فيتشكل شحنات موجبة في المنطقة n وشحنات سالبة في المنطقة p، حيث يتولد فرق في الكمون بين المنطقتين حيث تكسب المنطقة p كموناً سالباً، والمنطقة n كموناً موجباً حيث تتزايد شدة فرق الكمون تدريجياً مع استمرار انتقال حاملات الشحنة حتى يصبح كافياً لمنع انتقال حاملات الشحنة فتصبح الوصلة متوازنة، ويدعى عندها فرق الكمون بـ(توتر الحاجز).

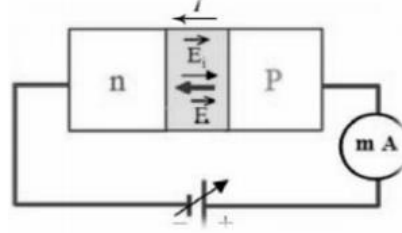
ملاحظة: تتوقف قيمة توتر الحاجز على:

- نوع مادة نصف الناقل
- نسبة الإشابة في كل من المنطقتين n و p
- نوعية مادة نصف الناقل

- ثنائي الوصلة المستقطب (p_n)

هو توصيل طرفي الوصلة مع قطبي مولّد تيار مستمر، ويمكن بطريقتين:

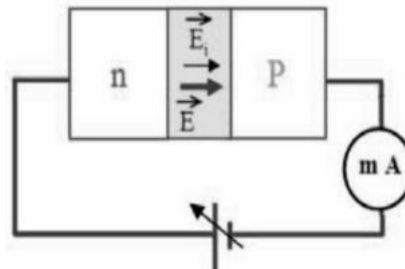
- الطريقة الأولى هي: توصيل الاتجاه الأمامي (تطبيق توتر مباشر):



الشكل (5)

حيث يتم وصل المنطقة n بالقطب السالب والمنطقة p بالقطب الموجب، ونوصل مقياس ميلي أمبير، فيولّد التوتر المطبق بين طرفي الوصلة حقلاً كهربائياً يعاكس جهة الحقل الكهربائي الداخلي فيؤدي إلى إضعافه مما سيسمح بانتقال حاملات الشحنة الأكثرية عبر منطقة العبور فيمر تيار كهربائي فينحرف مؤشر مقياس ميلي أمبير.

- الطريقة الثانية: توصيل الاتجاه العكسي (تطبيق توتر معاكس):



الشكل (9) استقطاب الوصلة

الشكل (6)

هذه الطريقة يتم فيها وصل المنطقة n بالقطب الموجب والمنطقة p بالقطب السالب، ومقياس ميلي أمبير، فيولّد التوتر المطبق بين طرفي ثنائي الوصلة حقلاً كهربائياً له نفس جهة الحقل الكهربائي الداخلي، فيؤدي إلى ازدياد معاكسة انتقال حاملات الشحنة عبر

منطقة العبور، فتظهر في الوصلة مقاومة كبيرة فتمنع مرور تيار الأكرية، ولا يظهر أي انحراف في مؤشر مقياس الميلي أمبير.

وعندما نطبق تياراً متناوباً على ثنائي الوصلة فيمر تيار كهربائي في الدارة في نصف الدّور الأوّل الذي يحقّق توتراً مباشراً، ولا يمر تيار في نصف الدّور الذي يحقّق توتراً عكسياً وهذا يعرف بتقويم التّيار المتناوب.

• الترانزستور وخصائصه:

عندما تضاف طبقة ثالثة للثنائي الوصلة يتشكل لدينا عنصر جديد وهو الترانزستور: هو عبارة عن بلورة نصف ناقل مهجنة يتألف من ثلاثة مناطق حيث تكون المنطقتان الطرفيتان من نمط واحد والمنطقة الوسطى من نمط مختلف، بالرغم من صغر حجم الترانزستور إلا أنه يستطيع تكبير الإشارات الإلكترونية.

هناك نمطان للترانزستور:

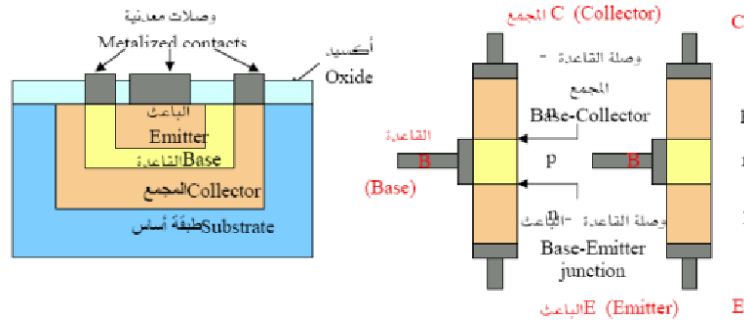
- الترانزستور PNP: يتكون من ثلاث مناطق، اثنتان موجبتان من النمط p وبينهما طبقة سالبة من النوع n
- الترانزستور NPN: يتكون من ثلاث مناطق، اثنتان سالبتان من n وبينهما طبقة موجبة من النمط p



الشكل (7)

يحتوي الترانزستور على ثلاثة أطراف وهي:

- الباعث Emitter: وهو الجزء المختص بإمداد حاملات الشحنة، حيث حاملات الشحنة تكون هي نفسها الثقوب في حالة الترانزستور PNP، وتكون الإلكترونات في حالة الترانزستور NPN
- المجمع Collector: يقوم هذا الجزء بتجميع حاملات الشحنة القادمة من الباعث حيث يوصل عكسياً مع القاعدة.
- القاعدة Base: تعد هي الجزء الأوسط بين المجمع والقاعدة حيث توصل أمامياً مع المشع وعكسياً مع المجمع.



الشكل (8)



الشكل (9)

• هل يدخل النانو عالم الترانزستور مستقبلاً؟⁴

تحمل النقاة النانوية الالكترونية الأجابة عن كيفية زيادة قدرة الأجهزة الكهربائية بينما نقوم بتقليل وزنها واستهلاكها للطاقة، هذا وستستخدم أنابيب الكربون النانوية في صنع ترانزستور الأثر المجالي والقافات في الحاسوب أي أن زمن القفل سيكون أسرع بحوالي 400 مرة مما هو موجود عليه الآن، ومن المتوقع أن تكون حواسيب المستقبل عبارة عن شبكة من أنابيب الكربون النانوية الموضعة على قاعدة معينة.

ولم يستسلم العلماء للتوقعات السابقة المتشائمة التي تتنبأ بسقوط الترانزستور من على عرشه، وما زال علم الإلكترونيات يفاجئ العالم كل يوم بخبر هائل جديد، ويرى العلماء أن وجود ترانزستور جزئي رخيص الثمن يتميز بسهولة إنتاجه في مختبر عادي بدلاً من الغرف المعقمة التي تستعملها شركات صنع الرقاقات قد يغير تاريخ الكمبيوتر، وعلى ما يبدو أن الأجيال الجديدة من علماء الإلكترونيات في مختبرات "بل" الشهيرة، التي شهدت ولادة أول ترانزستور منذ أكثر من نصف قرن، ما زالت تقاوم لتحاظ على هذا العرش، ومؤخراً نجح فريق جديد في هذه المختبرات ويضم 3 علماء أيضاً، وهم "هيندريك شون" و"زينان باو" و"هونغ مينج"، في تصميم أول "نانو-ترانزستور" مكون من جزيء واحد، ويمكن تجميع حوالي 10 ملايين منه على رأس دبوس.

وقد استخدم الفريق مواد شبه موصلة تدعى "ثيول (Thiols)" لإنتاج ما يلقبونه بالترانزستور العضوي (Organic Transistor) ومن الناحية الكيميائية، تعد مادة الثيول شبيهة بالكحول، فالفرق الوحيد أن ذرة الأكسجين تبدل بذرة الكبريت. وتم ترتيب الترانزستورات بطريقة جديدة تماماً، تتمثل في إلحاق جزيء "الثيول" بقطب كهربائي من الذهب، ونظراً لأن مسافة "القناة" بين الأقطاب صغيرة جداً (حوالي جزء من المليون من المليمتر) فمن المتوقع أن يكون التيار الناتج وسرعة التحويل (أي سرعة الكمبيوتر) 10 أضعاف أسرع من أحدث المعالجات.

ومن جهة أخرى، يعتبر الخبراء أن هذا التطور سيفتح أبواباً لمستويات جديدة من الأداء، ومن المحتمل أن يلعب دوراً أساسياً في تصميم ما يعرف بالـ "مينوسكول (Minuscule)"، وهي عبارة عن رقاقات كمبيوتر عالية السرعة لا تحتاج إلا لكمية ضئيلة من الطاقة. كما يعتقد الخبراء

أن الأبحاث الحالية في مجال تطوير الدوائر الإلكترونية المتناهية الصغر التي لا يزيد حجمها على حجم الجزيء المنفرد، والتي أجراها مجموعة من الباحثين في جامعة "هارفارد" الأمريكية، ستؤدي إلى إنتاج أجهزة كمبيوتر فائقة السرعة والقوة، فضلا عن روبوتات طبية صغيرة الحجم جداً لاستخدامها في عمليات التشخيص والفحص وربما الجراحة الدقيقة أيضاً.

ويتوقع العلماء بأن الترانزستورات النانوية Nano transistors يمكن استغلالها بشكل تجاري في تطبيقات في العقد الثاني من هذا القرن، ويمكن إنتاج أجهزة كمبيوتر مرنة للغاية تعمل على الرق وفي الملابس، وحتى داخل خلايا الجس

وأدى هذا التطور المتسارع إلى إعادة النظر في الفكرة القائمة حالياً المعروفة بقانون "مور"، وقد أصبحت هذه المقولة في ذمة التاريخ بعد هذه الاكتشافات؛ فالتقدم المتوقع لا حدود له، كمثال بسيط لنتخيل ظهور كمبيوترات وآلات إلكترونية على المستوي الجزيئي بحجم أصغر مليون مرة من حبة الرمل.

• النتائج والمقترحات:

- الترانزستور من أهم الاختراعات في العصر الحديث.
- تعود الناقليّة الأليّة لأنصاف النواقل لحركة الإلكترونات الحرّة والثقوب.
- ثنائي الوصلة ينقل التيار الكهربائي إذا كان التّوتر بين طرفيها موجباً.
- يقوم الترانزستور بتضخيم التيار الكهربائي.
- يتألّف الترانزستور من ثلاث أقسام هي (القاعدة والمجمّع والباعث) وله نوعان npn و pnp.
- تعد أنصاف النواقل عازلاً مثالياً في درجة الحرارة صفر.

مراجع البحث:

• الكتب

- كتاب الفيزياء العام، الصف الثالث الثانوي، الجمهورية العربية السورية، تاريخ الطبعة 2013-2012.

- مجلة العلوم، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، دولة الكويت، عدد تموز-آب 1996.

• مواقع إلكترونية

<http://damascusuniversity.edu.sy/nano/articles/59whatisnanotechnology4> -

<http://www.qalqilia.edu.ps/more.htm> -

الفهرس

| الصفحة | العنوان |
|--------|------------------------------------------|
| 2 | المقدمة |
| 3 | إشكالية البحث |
| 4 | ما هي أنصاف النواقل |
| 4 | البنية البلورية لأنصاف النواقل |
| 9 | الترانزستور، الخصائص وآلية العمل |
| 12 | هل يدخل النانو عالم الترانزستور مستقبلاً |
| 14 | النتائج والاقتراحات |
| 15 | مراجع البحث |

فهرس الأشكال

| المضمون | الرقم |
|-----------------------------------|-------|
| بلورة لذرة السيليكون | 1 |
| نصف الناقل الهجين من النمط n | 2 |
| نصف الناقل الهجين من النمط p | 3 |
| ثنائي الوصلة غير المستقطب | 4 |
| تطبيق توتر مباشر على ثنائي الوصلة | 5 |
| تطبيق توتر عكسي على ثنائي الوصلة | 6 |
| الترانزستور بنوعيه npn و pnp | 7 |
| الترانزستور | 8 |
| ترانزستورين مختلفين | 9 |