



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الوادي
كلية العلوم والتكنولوجيا



رقم الترتيب :
رقم التسلسل :

مذكرة تخرج لنيل شهادة
ليسانس أكاديمي
مجال : علوم المادة
فرع : فيزياء
تخصص: فيزياء - إشعاع
من إعداد: بعطوط شهرزاد * خالد أسماء
الموضوع:

بعض الطرق التجريبية لتعيين الخصائص الكهربائية لنصف ناقل

نوقشت يوم 2014/06/03

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

الرئيس

المناقش

المؤطر

بن حوة عثمان

رحبة غاني

غوقالي مبروك

الموسم الجامعي 2014/2013

شكر و عرفان

الحمد لله الذي زيننا بزينة الإسلام، وأنار لنا العقول و الأذهان، بشعلة العلم و الإيمان. وبعد، من دواعي سرورنا أن نتقدم بأسمى عبارات الشكر و التقدير إلى كل من ساهم في إعداد هذه المذكرة و بالأخص إلى الأستاذ المشرف *غوقالي مبروك*، نسأل الله له التوفيق في مساره العلمي و العملي .

كما نتقدم بشكرنا الخالص إلى اللجنة المناقشة و خاصة الأستاذ *بن حوة عثمان* ، وإلى كل الزملاء و الزميلات .

و ختاماً نسأل الله العلي العظيم أن يبارك لنا في أعمالنا، و أن يوفقنا لما يحب و يرضى، إنه سميع مجيب.

و الله وليّ التوفيق

الفهرس

مقدمة عامة

الفصل الأول: مفاهيم عامة حول أشباه النواقل.

02	1.I- المقدمة.....
02	2.I- البنية البلورية لشبه الناقل.....
02	3.I- لمحة عن نظرية عصابات الطاقة.....
04	4.I- تعريف شبه الناقل.....
04	5.I- أنواع أشباه النواقل.....
04	1.5.I- شبه الناقل النقي.....
05	2.5.I- شبه الناقل المطعم.....
05	1.2.5.I- شبه ناقل مطعم نوع n.....
05	2.2.5.I- شبه ناقل مطعم نوع p.....
06	6.I- مفعول هول.....
07	7.I- الوصلة PN.....
07	1.7.I- وصلات غير متجانسة.....
07	2.7.I- وصلات متجانسة.....
08	3.7.I- كمون الإنتشار.....
08	4.7.I- الإستقطاب الأمامي "المباشر" للوصلة PN.....
09	5.7.I- المميزات المباشرة لثنائي الوصلة PN.....
09	6.7.I- الإستقطاب العكسي للوصلة PN.....
10	7.7.I- المميزات العكسية لثنائي الوصلة PN.....

الفصل الثاني: قياسات تجريبية.

11	1.II- المقدمة.....
11	2.II- التجربة الأولى: دراسة كمون هول V_H بدلالة الحقل المغناطيسي B.....
15	3.II- التجربة الثانية: دراسة كمون هول V_H بدلالة درجة الحرارة T.....
16	4.II- التجربة الثالثة: تقنية المسابر الأربعة المتتالية لدراسة المقاومة ρ
19	5.II- خاتمة الفصل.....

الخاتمة العامة

المراجع

فهرس الأشكال

الفصل الأول: مفاهيم عامة حول أشباه النواقل

- 02 الشكل (1.1): البنية البلورية للماس، السيليوم Si و الجيرمانيم Ge.
- 03 الشكل (2.1): بنية عصابات الطاقة للسيليوم Si و زرنيخ الغاليوم GaAs.
- 03 الشكل (3.1): تصنيف المواد حسب الفاصل الطاقى.
- 03 الشكل (4.1): عصابات الطاقة.
- 05 الشكل (5.1): التطعيم بذرات مانحة (الفوسفور).
- 06 الشكل (6.1): التطعيم بذرات أخذ.
- 07 الشكل (7.1): مخطط نظري لتجربة هول.
- 08 الشكل (8.1): الوصلة PN.
- 08 الشكل (9.1): عصابة الطاقة للوصلة في حالة التوازن الترمودينامىكي.
- 09 الشكل (10.1): الإستقطاب المباشر للوصلة PN.
- 10 الشكل (11.1): الإستقطاب العكسى للوصلة PN.
- 10 الشكل (12.1): تغيرات شدة التيار بدلالة الكمون و الخصائص الكاملة للوصلة.

الفصل الثانى: قياسات تجريبية

- 11 الشكل (1.11): التركيب التجريبى الذى يسمح بقياس كمون هول V_{H1} .
- 15 الشكل (2.11): التركيب التجريبى الذى يسمح بقياس كمون هول عند درجة حرارة معينة.
- 17 الشكل (3.11): التركيب التجريبى الذى يسمح بقياس مقاومة عينة شبه ناقلة عند درجة حرارة معينة.

المقدمة العامة:

تحظى المواد الشبه ناقلية في الوقت الراهن بأهمية بالغة، و ذلك لإستخدامها في تصنيع معظم الأجهزة الإلكترونية الحديثة. إنَّ أيَّ دراسة موسعة أو معمقة لهذه المواد تكون لغرض فهم سلوكها الكهربائي، حيث تبدأ هذه الدراسة بالتعرّف على التركيب البلوري لأشباه النواقل من أجل معرفة خواصها البلورية و عصابات الطاقة المكوّنة لها، ممّا يؤدي إلى معرفة الإنتقالات الإلكترونية التي تحدث في البلورة و كيفية تأثيرها على شبه الناقل، وهذا ما جعلنا نتطرّق إلى دراسة عامة حول أشباه النواقل بما فيها البنى البلورية و دراسة بعض الطرق التجريبية لتعيين الخواص الكهربائية لشبه الناقل والتي هي موضوع بحثنا، و من أجل تحقيق هذه الغاية سوف نتطرّق في الفصل الأول إلى دراسة مفاهيم عامة حول أشباه النواقل و التي تتضمن تعريف شبه الناقل، أنواعه، كما يتضمّن هذا الفصل أهمّ ظاهرة تحدث في أشباه النواقل و المتمثلة في *فعل هول* بالإضافة إلى تركيبات أشباه النواقل و المتمثلة في الوصلة PN، أمّا الفصل الثاني فقد تضمن دراسة تجريبية لبعض خواص أشباه النواقل الكهربائية ومدى تأثرها بدرجة الحرارة، مثل: المقاومة، فرق كمون هول.

الفصل الأول :

مفاهيم عامة حول أشباه

النواقل

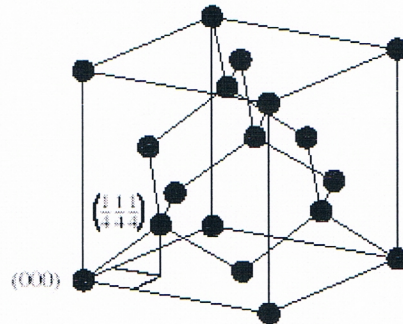
الفصل الأول : مفاهيم عامة حول أشباه النواقل

1.1 المقدمة:

كما هو شائع أنّ هناك مواد موصلة للتيار الكهربائي وأخرى عازلة، غير أنّ هناك مواد تقع بين مواد جيّدة التوصيل و مواد عازلة مثل: "السليسيوم" Si و "الجرمانيوم" Ge، وتُعرف هذه المواد بأشباه نواقل، والمقصود بذلك أنّ هذه المواد تصبح موصلة للتيار في ظروف معيّنة، و عازلة في ظروف أخرى، و تتميز هذه المواد عن العوازل بصغر الفاصل الطاقوي الذي تتراوح طاقته من 1ev إلى 3ev بين عصابة النقل و عصابة التكافؤ، لذلك يمكن أن تُثار حرارياً بعض الإلكترونات من عصابة التكافؤ إلى عصابة التوصيل مما يؤدي إلى ظهور الثقوب في عصابة التكافؤ و بذلك يحصل بعض التوصيل الكهربائي الذاتي بهذه الناقلات الذاتية (الإلكترونات المثارة إلى عصابة التوصيل و الفجوات المتولدة في عصابة التكافؤ)[1]، و لتوضيح ما أسلفنا ذكره سوف نتطرق إلى دراسة موسّعة عن أشباه النواقل لمعرفة مدى تأثير عصابات الطاقة على ظواهر التوصيل فيها.

2.1 البنية البلورية لشبه الناقل:

هي عبارة عن تجمّع عدد لا نهائي من الوحدات الذرية المتماثلة تتكرر بشكل دوري و منظم (إذا كانت مثالية) في جميع إتجاهات الفضاء. تتميز البنى البلورية باستقرارها غالباً و إمتلاكها لكثافة طاقة أصغرية [2]، حيث أن معظم العناصر الشبه ناقلية تتبلور وفق بنية الماس الذي يمتلك بنية مكعبة ممركرة الوجوه (CFC) ذات قاعدة مؤلفة من ذرتين متماثلتين. إنّ الروابط بين ذرات العناصر الشبه ناقلية موجودة في المجموعة الرابعة من الجدول الدوري (IV) هي روابط تكافؤية، حيث أنها تتألف من إلكترونين سبينهما (عزمهما اللفيان) متعاكسان، و واقعة تقريبا في منتصف المسافة على الخط الواصل بين الذرتين، ففي الشكل (1.1) كل رابطة من الروابط التكافؤية الأربع تصل ذرة سيليسيوم (Si) بجارتها هي رابطة تكافؤية بتجهين SP^3 (حالة واحدة 3S و ثلاث حالات 3P لتشكيل الروابط الأربع لسيليسيوم Si)، هذه الحالة تنطبق تماما على جميع عناصر المجموعة الرابعة (IV) من الجدول الدوري [3].



الشكل (1.1): البنية البلورية للماس، السيليسيوم Si و الجيرمانيم Ge .

3.1 لمحة عن نظرية عصابات الطاقة :

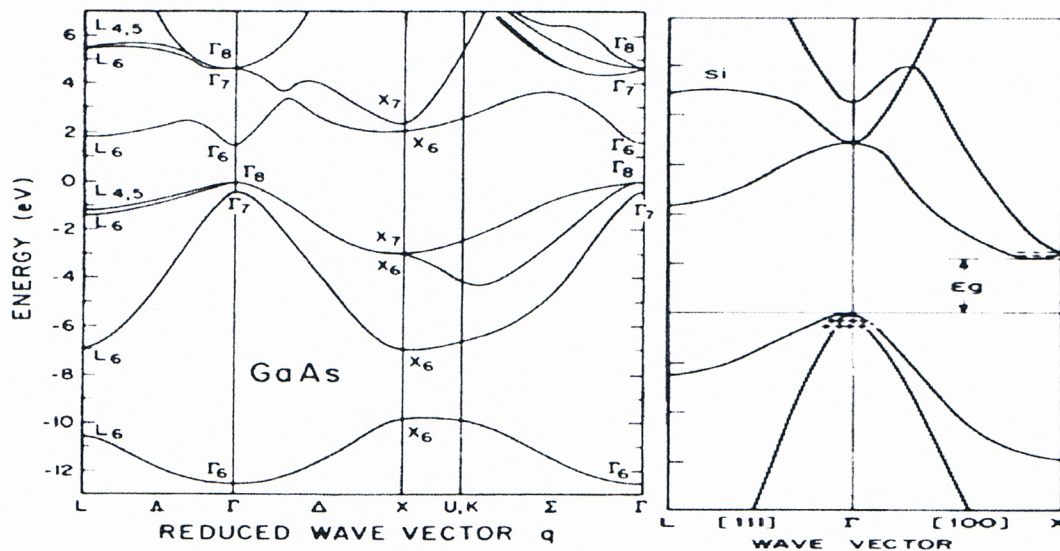
إنّ أول محاولة لتفسير إختلاف نقل المواد للتيار كانت من طرف العالم "درود" سنة "1900" الذي إقترح نموذجا للمادة الصلبة إفتراض فيه أن كل ذرة تساهم في النقل بالإلكترونات تكافؤها، و على الرغم من نجاح هذا النموذج مع بعض المعادن فقد فشل في تفسير سبب ضعف ناقلية بعض المواد مثل: Si و Ge، كما فشلت عدّة نماذج أخرى مطوّرة له، لذلك أستخدم بنظرية الكم الحديث (الطاقة المكمّمة) لتفسيرها. يؤدي التفاعل بين الإلكترونات البلورية و الحقل البلوري إلى شطر الطيف الطاقوي للإلكترونات الحرة إلى سويات طاقة مفصولة

عن بعضها بمناطق محرمة (ممنوعة) أو "فواصل طاقة" و أهم هذه العصابات هي : عصابة التكافؤ BV، عصابة النقل BC [1].

ففي درجات الحرارة المنخفضة جدا تكون "عصابة النقل" فارغة تماما من الإلكترونات و "عصابة التكافؤ" مملوءة كليا لأن الطاقة الحرارية غير كافية لتأيين ذرات الشبكة البلورية، أما عند درجات الحرارة العادية فهناك عددا معتبرا من الذرات المؤينة التي فقدت بعض إلكترونات تكافؤها في عصابة النقل، و بالتالي تكون قد شاركت الشحنات السالبة في النقل الإلكتروني .

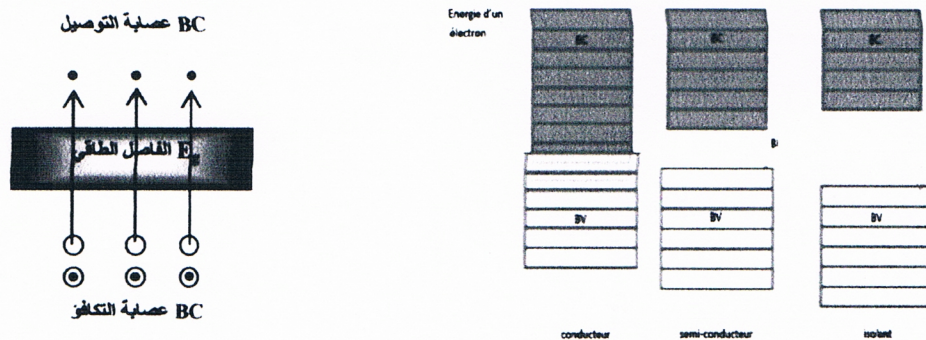
عصابة التكافؤ هي أيضا شبه ممتلئة حيث يكون فيها عدد الحالات الفارغة (الثقوب) يساوي إلى عدد الإلكترونات في عصابة التوصيل (في الحالة المثالية)، هذه الحالات الفارغة يمكنها أن تكسب إلكترونات تكافؤ من ذرات مجاورة، وهكذا يتم التوصيل في الشبكة البلورية ، و تكون حينها الثقوب هي التي شاركت في التوصيل الإلكتروني.

الفاصل الطاقي E_g للعصابة الممنوعة يعطي خصائص إلكترونية مهمة لكل شبه ناقل [4].



الشكل (2.1): بنية عصابات الطاقة للسيليسيوم Si و زرنيخ الغاليوم GaAs [5].

إعتادا على إمتلاء عصابتي التوصيل و التكافؤ و مقدار الفاصل الطاقي بينهما و احتمالية تراكبهما يمكن تصنيف المواد حسب موصليتها إلى ناقلة، شبه ناقلة و عازلة [1].



الشكل (4.1): عصابات الطاقة.

الشكل (3.1): تصنيف المواد حسب الفاصل الطاقي .

I. 4. تعريف شبه الناقل :

هو المادة التي تكون عازلة عند درجة حرارة الصفر المطلق (حيث تكون حزمة التوصيل فارغة أي لا توجد طاقة كافية عند أي إلكترون لكي ينتقل إلى حزمة التوصيل) و تكون هذه المواد موصلة عند الدرجات الحرارية العالية. و من جهة أخرى عند درجة حرارة الغرفة ($27^{\circ}\text{C} = 300\text{K}$) يكتسب عدد من الإلكترونات الطاقة الكافية لكي ينتقل إلى حزمة التوصيل، إلا أنّ التيار الناتج يكون صغيراً، بحيث لا يمكن الاستفادة منه في معظم التطبيقات، وعند هذه الدرجة لا تكون المادة شبه الناقلة عازلاً جيداً كما لا تكون موصلاً جيداً و لهذا تدعى "شبه ناقل".

و من أشباه النواقل نذكر: Si و Ge، كما يوجد منها أشباه نواقل مركبة ثنائية مثل: GaAs و GaP، أو ثلاثية مثل: $\text{Ga}_{1-x}\text{AsAl}_x$ ، أو رباعية: $\text{As}_y\text{P}_{1-y}\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x$. و تتميز أشباه النواقل عن بعضها البعض حسب عرض الفاصل ونوعه إن كان مباشراً أو غير مباشر [1].

I. 5. أنواع أشباه النواقل: و نَمَيِّز نوعان:

I. 1.5. شبه الناقل النقي:

هو شبه الناقل الشبه الخالي من الشوائب تقريباً و العيوب البلورية. حيث أنّ رفع درجة حرارة المادة الشبه الناقلة يؤدي إلى زيادة طاقة الإلكترونات التكافئية، و من ثَمَّ فإنّ عدد الإلكترونات التي تصل إلى عصابة التوصيل سوف يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة و بالتالي فإنّ الموصلية (σ) لهذه المواد سوف تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة .

تمتلك عناصر المجموعة الرابعة IV من الجدول الدوري أربعة إلكترونات تكافئية ، حيث يتم فيه توليد زوج إلكترون- ثقب بشكل متكافئ، أي عند إنتقال إلكترون من عصابة التكافؤ (BV) إلى عصابة التوصيل (BC) يتولد ثقب مقابل له في عصابة التكافؤ، مما يعني أنّ تركيز الإلكترونات (n) في عصابة التوصيل مساو لتركيز الثقوب (p) في عصابة التكافؤ و نكتب :

$$(1.1) \quad n = p = n_i$$

حيث n_i هو التركيز الذاتي .

في الواقع لا يمكن أن يخلو شبه ناقل من الشوائب ، حيث أنّ أقل تركيز ممكن للشوائب لأشباه النواقل هو 10^{10} ذرة لكل cm^3 ، وفي هذه الحالة كي نعتبر شبه الناقل نقياً ينبغي أن يكون نقياً كفاية و أن ترفع درجة حرارته بقدر كاف يضمن أن يكون تركيز الحاملات الذاتية المتولدة نتيجة إنتقال الإلكترونات من عصابة التكافؤ إلى عصابة النقل أكبر بكثير من تركيز الحاملات المتولدة من الشوائب [3]، بالإضافة إلى ذلك نذكر أنّ سوي فيرمي يقع تقريباً في منتصف الفاصل الطاقى أي: $E_F = (E_g / 2)$ و يعطى تركيز الحاملات الذاتية n_i للإلكترونات و p_i للثقوب بالعلاقة التقريبية [6]:

$$(2.1) \quad n_i = p_i = (N_C * N_V)^{1/2} e^{-E_g/2K_B T}$$

$$(3.1) \quad \begin{cases} N_C = 2.54 \cdot 10^{19} \left(\frac{m_p^*}{m_e}\right)^{3/2} \left(\frac{T}{300}\right)^{3/2} \text{ C m}^{-3} \\ N_V = 2.54 \cdot 10^{19} \left(\frac{m_p^*}{m_e}\right)^{3/2} \left(\frac{T}{300}\right)^{3/2} \text{ C m}^{-3} \end{cases}$$

حيث: m_e^* و m_p^* : الكتلة الفعالة للإلكترون و الثقب على التوالي. N_C و N_V الكثافة الفعالة للحالات في عصابة النقل و التكافؤ على التوالي، أمّا m_e فهي الكتلة الحقيقية للإلكترون.
 E_g : الفاصل الطاقى ، K_B : ثابت بولتزمان.

2.5.I شبه الناقل المطعم:

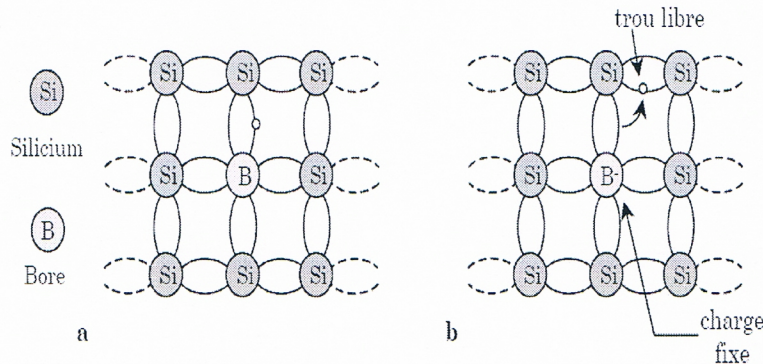
إنّ إضافة ذرات شائبة إلى أشباه النواقل النقية بنسب قليلة تعمل على زيادة الموصلية لهذه المواد، فمثلا إذا أُضيفت الشوائب بنسبة ذرة واحدة من الشوائب إلى 10^8 ذرة جرمانيوم فإن ذلك يكفي لزيادة الموصلية بمقدار 10 إلى 15 مرة كذلك فإن إضافة الذرات الشائبة إلى أشباه النواقل النقية تعطينا إمكانية التحكم في كثافة الإلكترونات الحرة الموجودة في شبه الناقل أو كثافة الفجوات فيه بصورة مستقلة، و تضاف الشوائب عادة بنسبة ذرة عنصر شائب واحد إلى مليون ذرة سيليكون أو جرمانيوم، و يوجد نوعان من الشوائب: تلك التي تعمل على زيادة الموصلية بزيادة عدد الإلكترونات و تكون من عناصر المجموعة الخامسة في الجدول الدوري (خماسية التكافؤ)، وتلك التي تزيد الموصلية بزيادة عدد الثقوب و تكون من عناصر المجموعة الثالثة من الجدول الدوري (ثلاثية التكافؤ)، و بالتالي فإن شبه الناقل المطعم يصنّف إلى نوعان رئيسيان هما: شبه ناقل مطعم نوع n و شبه ناقل مطعم نوع p على التوالي [1].

1.2.5.I شبه ناقل مطعم نوع n :

عند تطعيم السيلسيوم رباعي التكافؤ بذرات الفوسفور خماسية التكافؤ (أو ذرات العمود الخامس عموما) مثل: As، Sb، فإن ذرات الفوسفور ترتبط مع ذرات شبكة السيلسيوم بأربعة روابط تساهمية بذرات الجوار الأقرب لها، أما إلكترون ذرة الفوسفور الخامس فلا يستطيع الدخول في الروابط التكافئية المشبعة و يبقى مرتبط بشكل ضعيف مع نواة ذرته ممّا يتطلب طاقة صغيرة جدا لتحريره من نواته (أي تأيّن ذرة الفوسفور) و تعطي هذه الطاقة بالنسبة لـ Si المطعم بالفوسفور p :

$$(4.I) \quad E_d = 0.1 \text{ eV} \leq K_B T < E_g (\text{Si}) = 1.1 \text{ eV}$$

حيث E_d هو السوي الطاقى للمانحات، و عليه فإنّ سوّيات الطاقة للذرات الشائبة موجودة داخل الفاصل الطاقى بالقرب من عصابة التوصيل، حيث تكون مملوءة بالإلكترونات عند : $T=0K$ ، و عند رفع درجة الحرارة بقدر كاف كما هو موضح في المتراحة أعلاه، فإن إلكترونات ذرات الفوسفور ضعيفة الربط سوف تتحرر و تنتقل إلى عصابة النقل لتساهم في عملية التوصيل الكهربائي بشكل يطغى على التوصيل الذاتي الضعيف، و يتم النقل أساسا هنا بواسطة الإلكترونات لذلك يسمى شبه الناقل بشبه ناقل من النوع n. [3]

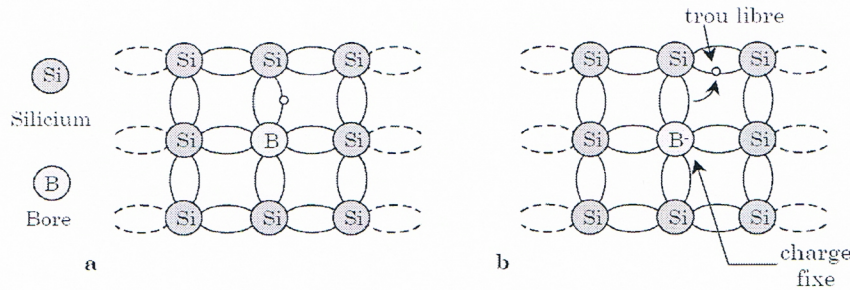


الشكل (5.I) : التطعيم بذرات مانحة (الفوسفور) [7].

2.2.5.I شبه ناقل مطعم نوع p :

بنفس الطريقة تفهم عملية تطعيم السيلسيوم أو الجيرمانيوم النقيين (عناصر العمود الرابع عموما) بشوائب ثلاثية التكافؤ (الزمرة III) و التي تسمى بالشوائب اللاخذة مثل البور (B)، الألمنيوم (Al)

و الأنديون (An)، تحتاج ذرة البور ثلاثية التكافؤ إلى إلكترون واحد لكي يصبح لديها أربع إلكترونات في مدارها الخارجي و بذلك تدخل في الشبكة البلورية للسليسيوم (Si) بأربع روابط تساهمية مع ذرات الجوار الأقرب الأربعة، حيث يستعار إلكترون الرابطة الرابعة من إحدى ذرات السليسيوم القريبة فيتولد نتيجة ذلك ثقب "فجوة" في الشبكة البلورية، وتصبح ذرات البور الشائبة أيونات سالبة (B^-). يسمى نوع شبه الناقل في هذه الحالة بشبه ناقل من النوع P، حيث تكون الفجوات هي المسيطرة في عملية التوصيل الكهربائي خاصة عند درجات الحرارة الواطئة [3].



الشكل (6.I): التطعيم بذرات أخذة [7].

6. I مفعول هول :

كثير من التطبيقات في مجال نبات أشباه الموصلات تتطلب قياس نوع الشحنة و تركيزها و مقدار حركيتها، و تعتبر طريقة هول من الطرق الشائعة في مجال قياسات أشباه الموصلات.

الشكل (8.I) يوضح مخططا نظريا لتجربة هول، حيث في هذه الحالة يستخدم مجالا كهربائيا خارجيا (E) في إتجاه (x) و مجالا مغناطيسيا B في إتجاه (z) و عينة شبه موصلة نوع موجب (من نوع P)، حيث نلاحظ أن الفجوات تتحرك في إتجاه (x) بسرعة (V_x) عمودية على المجال المغناطيسي، و وفق نظريات المغناطيسية فإن وجود (B) متعامد على إتجاه حركة الشحنة ذات السرعة (V_x)، ينتج عنه قوة عمودية على كل من (B) و (V_x) و في إتجاه (-y). هذه القوة تسمى قوة لورانتز و تعطى بالمعادلة :

$$(5.I) \quad \vec{F}_L = q \vec{V} \wedge \vec{B} = q \|\vec{V}_x\| \|\vec{B}_z\| \cdot \vec{e}_x \wedge \vec{e}_z = -q \cdot V_x \cdot B_z \cdot \vec{e}_y$$

القوة الناتجة من تأثير المجال المغناطيسي في إتجاه (z) و المجال الكهربائي في إتجاه (x) تكون في إتجاه (-y) (أنظر الشكل (8.I)) ، هذه القوة تعمل على دفع الفجوات لتتراكم على الوجه العلوي للعينة، مما يجعل الوجه العلوي موجبا أكثر من الوجه السفلي، و بالتالي ينتج عنه مجالا كهربائيا في إتجاه (+y)، فإذا وصلنا طرفي الفولت-متر كما بالشكل فإننا نستطيع قياس الناتج من تأثير المجالين الكهربائي (E) و المجال المغناطيسي (B)، و هذا الجهد يعرف بجهد هول و يرمز له بالرمز V_H و يعطى بالعلاقة التالية [8] :

$$(6.I) \quad V_H = \frac{I_x \cdot B_x \cdot R_H}{d} < 0$$

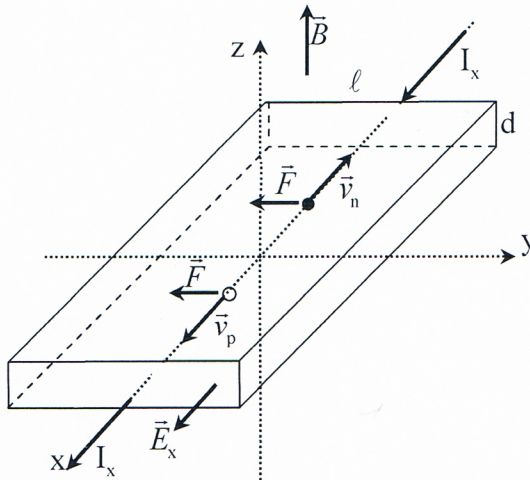
حيث d: هو سمك العينة ، و R_H : هو معامل هول و يعطى بالعلاقين:

$$(7.I) \quad R_H = \frac{1}{nq_n} < 0 : n \text{ حالة شبه الناقل من النوع } n$$

(8.I)

$$R_H = \frac{1}{Pq_p} > 0 \quad : \text{ حالة شبه الناقل من النوع } p$$

حيث $q_n = -e$: شحنة الإلكترون، $q_p = +e$: شحنة الثقب (الفجوة).



الشكل (7.I): مخطط نظري لتجربة هول .

7.I الوصلة PN:

تتكون معظم المركبات الإلكترونية من أنواع كثيرة من الوصلات، مما يجعل هذه الأخيرة مهمة جدا في مجال أشباه النواقل و الوصلات، عموما تعبر الوصلة عن إلتقاء أو إلتماس مادتين مختلفتين من حيث الخصائص الفيزيوكيميائية وتنقسم الوصلات إلى قسمين أساسيين هما :

1.7.I وصلات غير متجانسة :

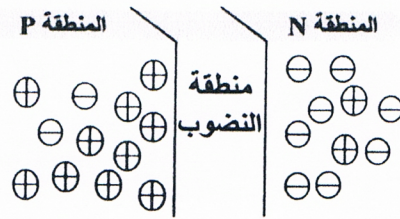
و تكون بين مادتين مختلفتين (شبه ناقل-معدن) أو (شبه ناقل-عازل) أو (شبه ناقل 1-شبه ناقل 2)... إلخ. أثناء دراستنا هذه سوف ندرس الوصلات المتجانسة بغض النظر عن الوصلات الغير متجانسة [3].

2.7.I وصلات متجانسة :

و أهم هذه الوصلات الوصلة PN و هي عبارة عن التقاء لمنطقتين مختلفتي التطعيم في نفس شبه الناقل، أي أن إحداهما مطعمة بمانحات وتسمى منطقة التطعيم N و الأخرى مطعمة بأخذات و تسمى منطقة التطعيم P.

هناك عدة طرق لصناعة الوصلة أسهلها طريقة التغلغل، في هذه الطريقة يوضع معدن ثلاثي أو خماسي

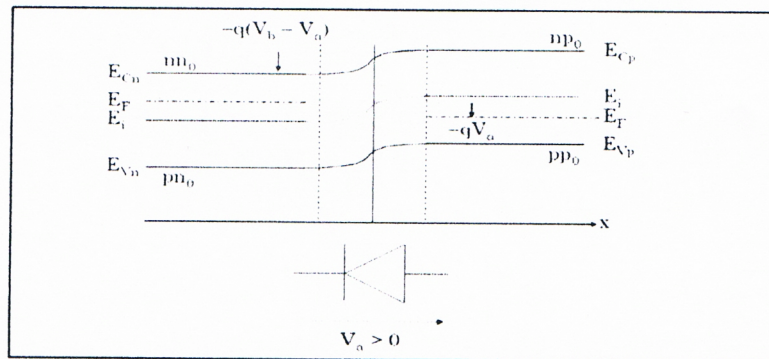
التكافؤ فوق شبه الناقل المطعم مسبقا ثم يتم تسخين المادتين المتلامستين حتى درجة حرارة إنصهار المعدن، فتنتشر ذرات المعدن داخل شبه الناقل حسب تدرج تركيزها. بعد التبريد تتكون لدينا منطقتين مختلفتي التطعيم إحداهما من النوع (p) و الأخرى من النوع (n) [3].



الشكل (8.1): الوصلة PN.

3.7.1 كمون الإنتشار (V_d):

هو الجهد المتولد في الوصلة PN و ينتج من التأثير الشحني للذرات المؤينة على جانبي هذه الوصلة، و يعمل على منع الإلكترونات و الثقوب الحرة من إعادة الإلتحام حيث يدفع كل واحدة منها في الإتجاه المعاكس للأخرى، و تبلغ قيمته 0,3volts بالنسبة لبلورات الجرمانيوم و 0,7volts بالنسبة لبلورات السيليكون، و ينتج هذا الكمون على مستوى حدود منطقة النضوب (منطقة شاغرة من الحاملات الحرة و تسمى أيضا بمنطقة شحنات الفضاء، و قد يصل عرضها إلى " 10^{-6} متر")، و هذا ما يؤدي إلى تحويل مخطط الطاقة [1].



الشكل (9.1): عصابة الطاقة للوصلة في حالة التوازن الترموديناميكي [9].

حيث: E_{Cp} و E_{Cn} : هي حافة عصابة التوصيل في المنطقتين N و P لشبه الناقل على التوالي.
 E_{pV} و E_{nV} : هي قمة عصابة التكافؤ في المنطقتين N و P على التوالي.
 E_i و E_F : هي طاقة سوي فيرمي، و نصف طاقة الفاصل الطاقوي على الترتيب.
 pn_0 و pp_0 : هو تركيز الثقوب في المنطقتين N و P على التوالي.
 np_0 و nn_0 : هو تركيز الإلكترونات في المنطقتين N و P على التوالي.

يؤدي كمون الإنتشار إلى توليد حقل كهربائي يعمل على الحد من إنتشار حاملات الشحنة الأكثرية و يساعد على إنتشار الحاملات الأقلية، حيث: $V_d = V_n - V_p$ و تعطى العبارة العامة لكمون الإنتشار بالعلاقة

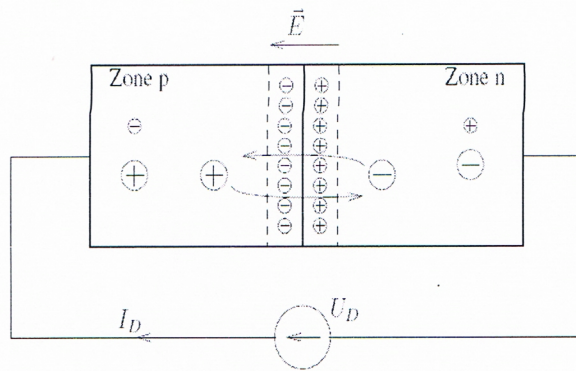
[3]:

$$(9.1) \quad V_d = V_{th} \ln\left(\frac{N_a * N_d}{n_i^2}\right) = \frac{K_B * T}{e} \ln\left(\frac{N_a * N_d}{n_i^2}\right)$$

حيث أن: V_{th} السرعة الحرارية، N_a : تركيز الأخذات، N_d : تركيز المانحات.

5.7. I الإستقطاب الأمامي "المباشر" للوصلة PN:

عند ربط مصدر جهد على طرفي وصلة PN كما هو موضح في الشكل فإن الفجوات التي تمثل حاملات الشحنات الأكثرية في المنطقة p سوف تتحرك مبتعدة عن الطرف الموجب، كذلك فإن الإلكترونات الحرة التي تمثل حاملات الشحنات الأكثرية في المنطقة N سوف تتحرك مبتعدة عن الطرف السالب للمصدر، هذا يعني أن حاملات الشحنات الأكثرية (الفجوات و الإلكترونات الحرة سوف تتحرك باتجاه الحاجز)، و في حالة تسليط جهد V أكبر من جهد الإعاقة فهذا يعني أن الإلكترونات سوف تعبر الحاجز الكموني نتيجة تغلبها على جهد الإعاقة و ينتج عن ذلك مرور تيار كهربائي، تعتمد قيمته على جهد الوصلة [1].



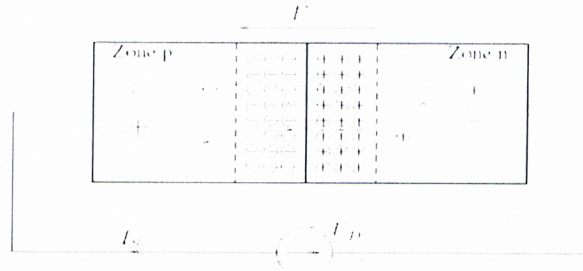
الشكل (10.I): الإستقطاب المباشر للوصلة PN [9].

6.7. I الممييزة المباشرة لثنائي الوصلة PN:

عندما يكون جهد المصدر المطبق على الوصلة أصغر من جهد الإعاقة فإن الإلكترونات التي تعبر الحاجز تكاد تكون معدومة، لذلك يعتبر التيار في هذه الحالة صغير جداً، و عندما نبدأ بزيادة جهد المصدر بحيث يكون مساوياً لجهد الإعاقة أو أكبر قليلاً فسوف نلاحظ أن الإلكترونات ستعبر الحاجز بأعداد كبيرة، و ينتج عن ذلك مرور تيار كهربائي عال. إن الجهد الذي يتغلب على جهد الإعاقة (يكون مساوياً أو أكبر من جهد الإعاقة) و يتسبب في مرور تيار كهربائي عال في حالة الإستقطاب المباشر يسمى جهد العتبة (Knee voltage).

7.7. I الإستقطاب العكسي للوصلة PN:

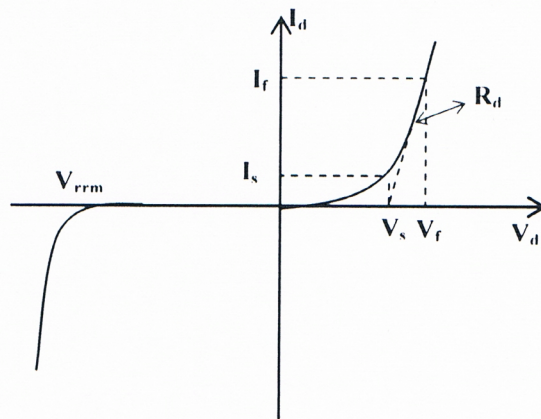
يتضح من الشكل الموالي أن حاملات الشحنات الأكثرية في المنطقة P هي الفجوات التي سوف تتحرك باتجاه الطرف السالب للمصدر (أي مبتعدة عن الحاجز)، كذلك فإن حاملات الشحنات الأكثرية في الطبقة N هي الإلكترونات التي سوف تتحرك باتجاه الطرف الموجب للمصدر (أي مبتعدة عن الحاجز)، هذا يعني أن حاملات الشحنات سواء كانت الفجوات أو الإلكترونات الحرة سوف لن تعبر الحاجز، و ينتج عن ذلك عدم مرور تيار كهربائي بسبب وجود حاملات الشحنات الأقلية و التي تمثل الإلكترونات في المنطقة P، و الفجوات في المنطقة N و بالتالي فإن هذه الشحنات الأقلية سوف تتحرك باتجاه الحاجز الكموني، و ينتج عن عبورها لهذا الحاجز مرور تيار كهربائي صغير جداً يسمى بتيار الإستقطاب العكسي [1].



الشكل (11.1): الإستقطاب العكسي للوصلة PN [9].

8.7.1 المميّزة العكسية لثنائي الوصلة PN:

في الإستقطاب العكسي سوف لن يعبر أيًا من حاملات الشحنات الأغلبية الحاجز الكموني و إنما الذي يعبر الحاجز هو حاملات الشحنة الأقلية فقط ، وبما أنّ عدد حاملات الشحنات الأقلية يكون صغيرًا جدًا ، لذلك فالتيار العكسي في هذه الحالة يكون صغيرًا جدًا أيضا، وعند زيادة الجهد العكسي المسلط على الوصلة حتى قيم كبيرة فإنّ ذلك سيؤدي إلى تحطيم أو اصر التركيب البلوري، ومن ثمّ يتحرّر عدداً كبيراً جداً من الإلكترونات ينتج عنه مرور تيار عكسي عال جداً، إستمراره يؤدي إلى تلف الوصلة. إنّ الجهد المسلط على طرفي الوصلة في هذه الحالة يسمى بجهد الإنهيار .



الشكل (12.1):تغيرات شدة التيار بدلالة الكمون و الخصائص الكاملة للوصلة.

حيث ؛ V_f و I_f : هما فرق الكمون و شدة التيار النهائيين.

V_s و I_s : هما فرق كمون و شدة تيار العتبة.

V_{rrm} : هو جهد الإنهيار.

R_d : المقاومة الديناميكية.

الفصل الثاني:

قياسات تجريبية

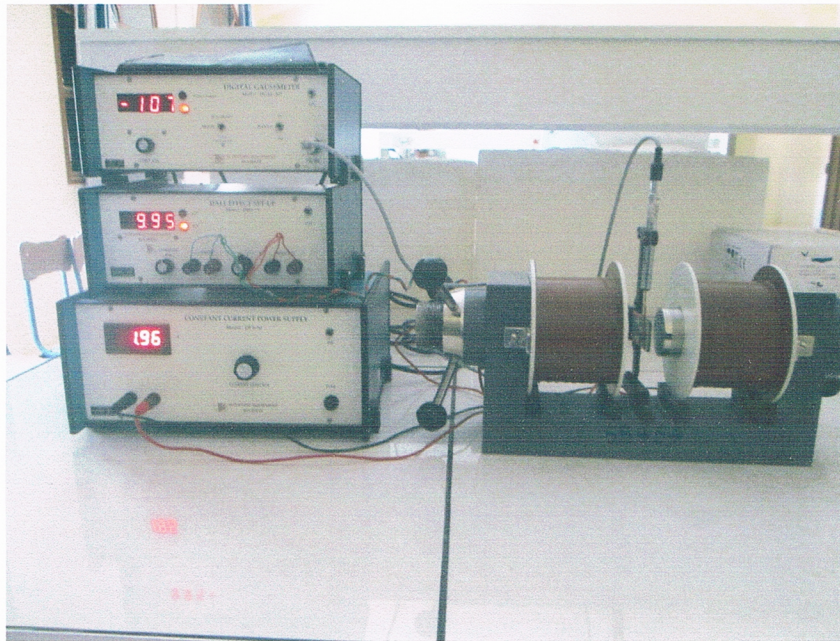
1.II المقدمة :

لفهم الظواهر الفيزيائية المعرّفة بمعادلات نظرية فهما جيّدًا ينبغي تدعيمها بتجارب مخبرية توضحها من وجه آخر، لذي سنتطرق في هذا الفصل إلى بعض التجارب المخبرية المنجزة على عيّنة شبه ناقلة من أجل دراسة خواصها الكهربائية وتأثير درجة الحرارة عليها ككمون هول والمقاومية الكهربائية، و مقارنتها مع المفاهيم والمعادلات النظرية المدرجة في الفصل السابق ما أمكن.

2.II التجربة الأولى : دراسة تغيّرات كمون هول V_H بدلالة الحقل المغناطيسي B:

*الوصف التجريبي :

يبين الشكل (1.II) التركيب التجريبي الذي يسمح بقياس كمون هول V_H الناتج على طرفي عيّنة شبه ناقلة من النوع n بواسطة جهاز متعدّد القياسات في وجود حقل مغناطيسي B مطبق بشكل عمودي على سطح العيّنة، ولتغيير قيمة هذا الحقل المطبق نستعمل مولد تيار كهربائي مستمر يغذي المغناطيس الكهربائي، ولقياس قيمة الحقل المغناطيسي نستعمل جهاز غوس- متر رقمي موصول بمسبار به حساس شبه ناقل. في هذه التجربة نقوم بتغيير قيمة الحقل المغناطيسي و نسجّل تغيّرات كمون هول V_H الموافقة.



الشكل (1.II) : التركيب التجريبي الذي يسمح بقياس كمون هول V_H .

$$\begin{cases} I_X = 10^{-2} A. \\ I_{bob} \in [0,3; 3] A. \\ 1 Gauss = 10^{-4} Tesla. \\ h = 0.3 A. \end{cases}$$

حيث ؛ I_X هي شدة التيار المار في العيّنة، I_{bob} هي شدة تيار الوشيعية ، h هي الخطوة التي نزيد بها تيار الوشيعية .

*نتائج التجربة :

بعد إجراء التجربة وإجراء الطرق الحسابية المبينة أدناه تحصلنا على النتائج التالية :

I_{sample} (Amp)	I_{bob} (Amp)	\bar{B} (Gauss)	\bar{B} 10^{-2} (Tesla)	V_H 10^{-3} (Volt)	R_H 10^{-3} ($m^{-3}/\text{Coulomb}$)	C 10^{20} (m^{-3})	ρ_{xy} 10^{-4}	R_{xy}
0.01	0.3	500	5	11.7	-11.7	5.34	-5.9	1.17
0.01	0.6	865	8.65	21.4	-12.36	5.05	-1.06	2.13
0.01	0.9	1253	12.53	31.6	-12.6	4.96	-1.57	3.15
0.01	1.2	1637	16.35	41.7	-12.73	4.94	-2.08	4.16
0.01	1.5	2020	20.20	51.7	-12.79	4.88	-2.58	5.16
0.01	1.8	2420	24.20	62	-12.8	4.88	-3.09	6.19
0.01	2.1	2840	28.40	72.7	-12.79	4.88	-3.63	7.26
0.01	2.4	3200	32	81.8	-12.78	4.89	-4.08	8.17
0.01	2.7	3560	35.6	90.8	-12.75	4.90	-4.53	9.07
0.01	3	3950	39.5	100	-12.65	4.94	-4.99	10

الجدول (1.II): جدول القيم.

- طريقة حساب R_H ($m^{-3}/\text{coulomb}$) "معامل هول":

$$(1.II) \quad V_H = -R_H \cdot \frac{I_x \cdot B_z}{d} \Rightarrow R_H = -\frac{V_H \cdot d}{I_x \cdot B_z}$$

ومنه :

$$R_H = -\frac{V_H \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{10^{-2} \cdot B_z}$$

$$R_H = -5 \cdot 10^{-2} \frac{V_H}{B_z}$$

- حساب التركيز (m^{-3}): C

$$(2.II) \quad |R_H| = \frac{1}{C \cdot e} \Rightarrow C = \frac{1}{|R_H| \cdot e}$$

- حساب مقاومة هول ρ_{xy} :

$$(3.II) \quad \rho_{xy} = R_H \cdot B_z$$

- حساب مقاومة هول R_{xy} :

$$(4.II) \quad R_{xy} = -\frac{R_H B_z}{d}$$

- حساب الحركة μ_H للعينة:

$$(5.II) \quad \mu_H = |R_H| \cdot \sigma \quad \text{لدينا العلاقة :}$$

$$\sigma = 0.1 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} = 10 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

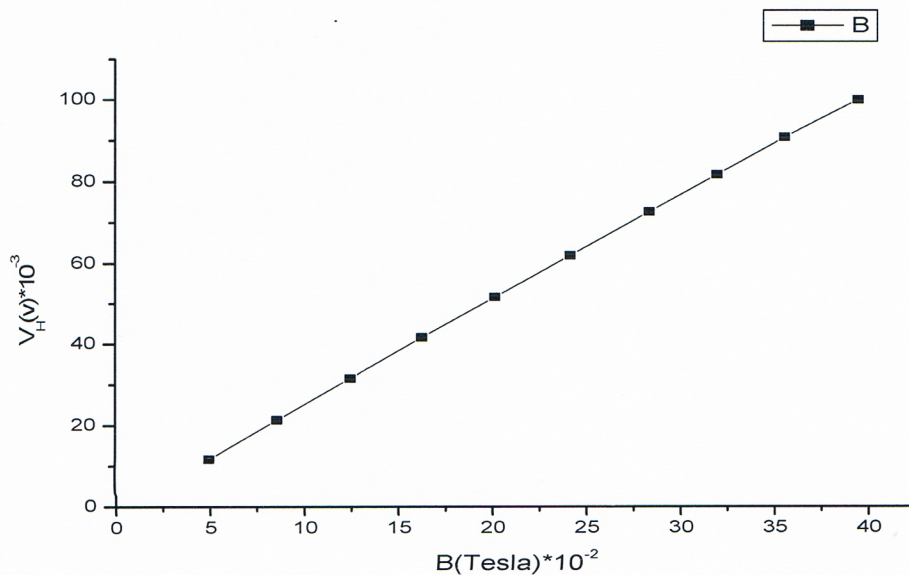
$R_H \left(m^{-3} / coulomb \right) . 10^{-3}$	11.7	12.3	12.6	12.7	12.7	12.8	12.7	12.78	12.7	12.6
$\mu_H \left(m^2 / v \cdot s \right) . 10^{-2}$	11.7	12.3	12.6	12.7	12.7	12.8	12.7	12.78	12.7	12.6

الجدول (2.II): تغير الحركية بدلالة معامل هول .

- من خلال النتائج التجريبية نلاحظ أن:

- بزيادة شدة الحقل المغناطيسي يزداد جهد هول .
- معامل هول ثابت مهما تغيرت شدة الحقل المغناطيسي.
- تركيز الحوامل الأغلبية C ثابت .
- الحركية ثابتة مهما تغيرت شدة الحقل المغناطيسي.
- مقاومة هول R_{xy} و مقاومة هول ρ_{xy} تزدادان بزيادة شدة الحقل المغناطيسي.

ولتوضيح تغيرات V_H بدلالة الحقل المغناطيسي B نقوم برسم المنحنى البياني التالي:



- تحليل البيان :

نلاحظ من خلال البيان، أنه كلما زدنا من شدة الحقل المغناطيسي المطبق على العينة زاد فرق كمون هول، و هذا راجع الى أن تأثير الحقل الكهربائي E يولد تيارا كهربائيا و بالتالي وجود حركة لحاملات الشحنة، عندئذ يقوم الحقل المغناطيسي B بتحريف للمسارات الإلكترونية لأن كل إلكترون يخضع لقوة لورانتز، وبزيادة الحقل المغناطيسي يزداد تركيز الإلكترونات المنحرفة، و بذلك ينتج تراكما للإلكترونات على حواف العينة الأمامية و الخلفية، حيث تنحرف الشحنات الموجبة إلى الحافة الأمامية و السالبة إلى الحافة الخلفية، وقد علمنا ذلك من خلال توقعنا النظري المبني على المعطيات التجريبية، حيث فرضنا أن شبه الناقل من النوع n ممّا

يتيح لنا معرفة توجه حاملات الشحنة المنحرفة نتيجة تأثير قوة لورانتز، و معرفة نوع شبه الناقل إن كان مجهولاً، وكما هو معلوم لدينا فقد تحققنا من ذلك، زيادة فرق في إستنتاج قيم R_H المتوسطة من المنحنى:

منحنى تغيرات فرق كمون هول بدلالة الحقل المغناطيسي هو عبارة عن خط مستقيم يمر بالمبدأ معادلته

$$y = a.x$$

من الشكل:

و لدينا العبارة النظرية:

$$V_H = -R_H \cdot \frac{I_X \cdot B}{d}$$

$$V_H = \left(-\frac{R_H \cdot I_X}{d} \right) \cdot B \quad \text{و منه :}$$

بالمطابقة بين العلاقة التجريبية و العلاقة النظرية نجد :

$$a = -\frac{R_H \cdot I_X}{d}$$

حيث a هو ميل المنحنى.

إذن :

$$a = \frac{(51.7 - 11.7) \cdot 10^{-3}}{(20.2 - 5) \cdot 10^{-2}} = 2.63 \cdot 10^{-1} \text{ volt/Tesla}$$

و لدينا :

$$a = -\frac{R_H \cdot I_X}{d} \Rightarrow R_H = -\frac{a \cdot d}{I_X}$$

$$R_H = -\frac{2631 \cdot 10^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{0.01}$$

$$R_H = -13.15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-3} / \text{coulomb}$$

• أخطاء التجربة :

- حساب الإرتياب في معامل هول δR_H :

لدينا العلاقة :

$$R_H = -\frac{V_H \cdot d}{I_X \cdot B}$$

ندخل على الطرفين \ln ثم نشتق فنحصل على:

$$\delta R_H = R_H \left(\frac{\delta V_H}{V_H} + \frac{\delta B}{B} \right)$$

- حساب الإرتياب في التركيز δC :

$$|R_H| = \frac{1}{c \cdot e} \Rightarrow C = \frac{1}{|R_H| \cdot e}$$

لدينا العلاقة :

بإدخال \ln على الطرفين ثم نشتق نجد :

$$\delta C = C \cdot \left(\frac{\delta R_H}{R_H} \right)$$

$$R_H = (R_{H_{moy}} \pm \delta R_H) \quad \text{و لدينا :}$$

$$\delta R_H = \sum_{i=1}^n \frac{\delta R_{Hi}}{n} = \frac{16,73 \cdot 10^{-3}}{10} = 1,67 \cdot 10^{-3} \left(m^{-3} / coulomb \right)$$

إذن:

$$R_H \left(m^{-3} / coulomb \right) = (12,59 \cdot 10^{-3} \pm 1,67 \cdot 10^{-3})$$

$$C = (C_{moy} \pm \delta C) \quad \text{نفس الشيء بالنسبة للتركيز C :}$$

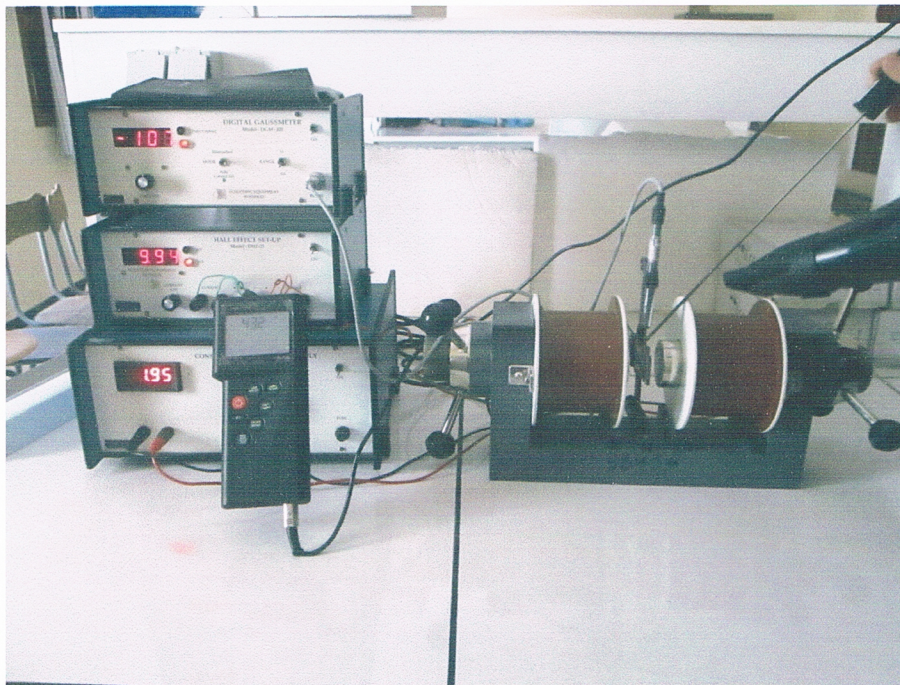
و منه نجد:

$$C \left(cm^{-3} \right) = (4,96 \cdot 10^{20} \pm 0,661 \cdot 10^{20})$$

II 3. التجربة الثانية : دراسة تغيرات كمون هول V_H بدلالة درجة الحرارة T:

*الوصف التجريبي:

يبين الشكل (2.II) التركيب التجريبي الذي يسمح بقياس كمون هول عند درجة حرارة معينة، حيث قمنا بتغيير في درجة الحرارة T للعينة الشبه ناقلة من النوع n بواسطة مجفف شعر إنطلاقاً من درجة حرارة الغرفة المقدرة بـ: $26.5C^\circ$ و لاحظنا تغيرات V_H من خلال جهاز متعدد القياسات .



الشكل (2.II) : التركيب التجريبي الذي يسمح بقياس كمون هول عند درجة حرارة معينة.

*نتائج التجربة :

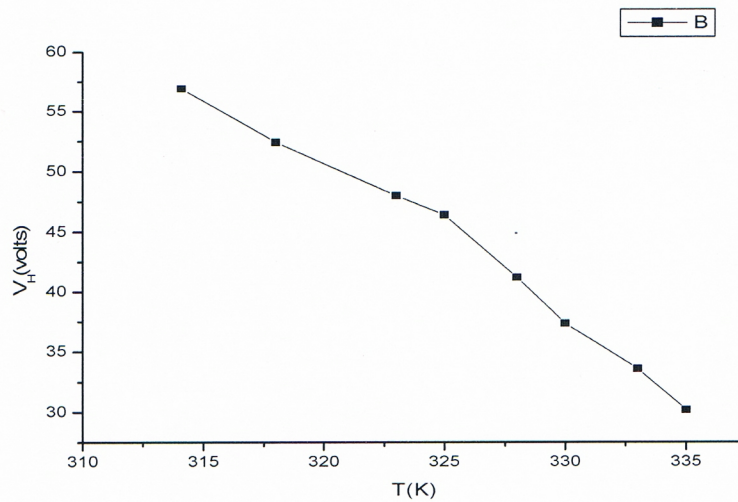
$$I=10 \text{ mA} , T_{\text{تنايبما}}=299.5\text{K} , B=200 \text{ Gousse}$$

بعد إجراء هذه التجربة تحصلنا على النتائج التالية :

T(K)	314.1	318	323	325	327	328	330	333	335
V_H (v)	56.9	54.4	48	46.4	45.5	41.2	37.3	33.6	30.2

الجدول (3.II) : جدول تغيرات V_H بدلالة T.

نقوم برسم المنحنى البياني الواسف لتغيرات V_H بدلالة T:



*تحليل البيان :

نلاحظ من خلال البيان أنه كلما زدنا درجة الحرارة نقص فرق كمون هول، و هذا راجع الى زيادة تركيز الإلكترونات التي إنتقلت من عصابة التكافؤ BV الى عصابة النقل BC ، و بالتالي نقصان V_H و هذا ما بيّنته المعادلة (1.II).

4.II التجربة الثالثة : تقنية المسابر الأربعة المتتالية لقياس المقاومة:

*الوصف التجريبي :

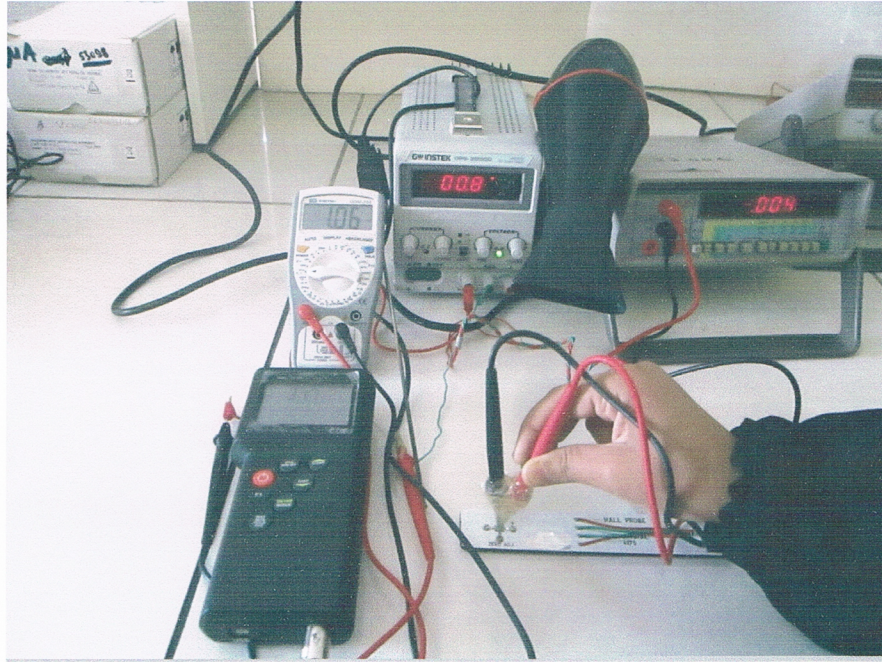
يبين الشكل (3.II) التركيب التجريبي الذي يسمح بقياس مقاومة عينة شبه ناقلة عند درجة حرارة معينة، إبتداء من درجة حرارة الغرفة التي تقدر بـ: 26.5 c° ، ففي هذه التجربة قمنا بوضع أربع مجسات في خط مستقيم، بحيث تكون المسافة بينها متساوية نسميها d ، بالإضافة إلى ذلك يجب مراعاة تلامس سطح العينة بالمجسات الأربعة، حيث قمنا بتطبيق تيار كهربائي I يمكن أن يتغير بتغير درجة الحرارة، حيث نوصل الدارة بمقياس أمبير- متر يُمكن من قياس التيار الكهربائي المار في العينة من خلال القطبين الخارجيين عند تغيير درجة الحرارة، وجهاز فولط-متر يُمكن من قياس فرق الجهد بين المسبارين الداخليين،

ثم سخنا العينة بواسطة مجفف شعر، و قسنا فرق الكمون و شدة التيار بواسطة جهازين متعددي القياسات، و بالتالي تمكنا من تحديد مقاومة شبه ناقل من العلاقة :

(6.II)

$$\rho = 2 \pi d \frac{v}{I}$$

حيث $d=1.5 \text{ mm}$:المسافة بين مجسين متاليين .



الشكل (3.II):التركيب التجريبي الذي يسمح بقياس مقاومة عينة شبه ناقل عند درجة حرارة معينة.

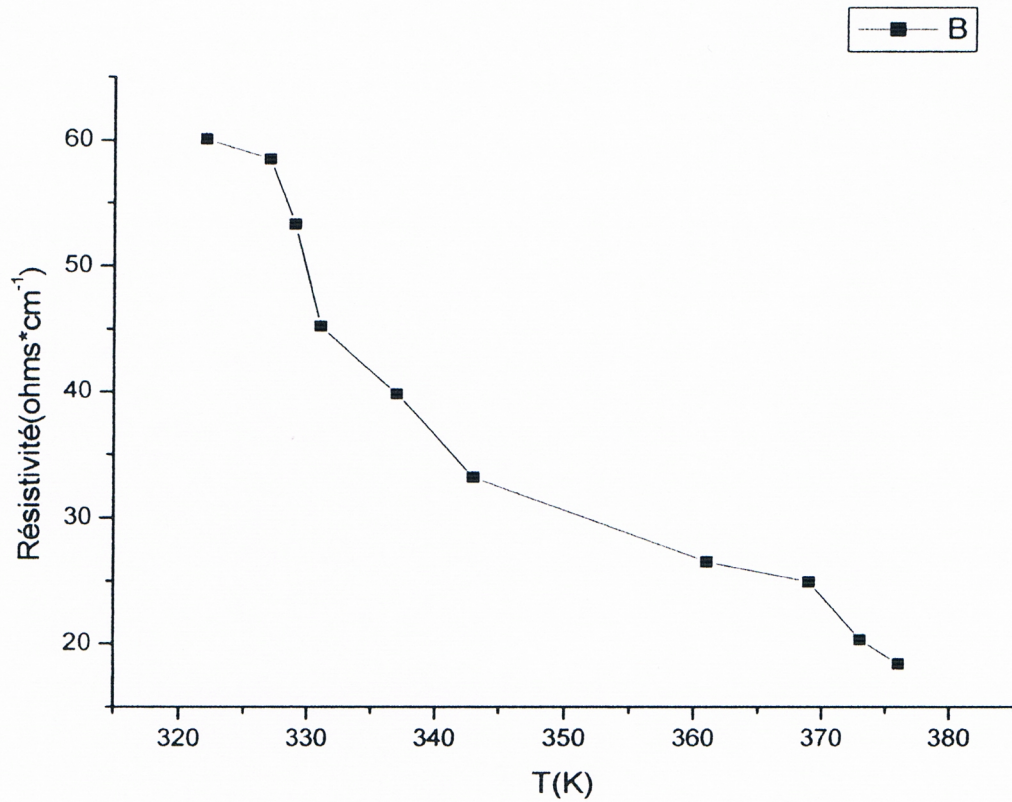
*نتائج التجربة:

بعد إجراء التجربة تحصلنا على النتائج التالية :

T(K)	322	327	329	331	337	343	361	369	373	376
V(v)	0.076	0.082	0.077	0.072	0.072	0.067	0.054	0.053	0.052	0.049
I(m A)	1.19	1.32	1.36	1.5	1.7	1.9	2.5	2.7	2.8	2.9
$\rho(\Omega.cm)$	60.1	58.5	53.3	45.2	39.8	33.2	26.5	24.9	20.3	18.4

الجدول (4.II):جدول تغيرات المقاومة ρ بتغير درجة الحرارة T.

نقوم الآن برسم المنحنى البياني الواصف لتغيرات المقاومة ρ بدلالة درجة الحرارة T :



*تحليل البيان :

نلاحظ من خلال البيان أنه كلما زادت درجة حرارة العينة نقصت المقاومة ρ ، وهذا راجع إلى أن زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة تركيز الإلكترونات المنتقلة من عصابة التكافؤ BV إلى عصابة النقل BC مما يعني زيادة الناقلية الكهربائية وبالتالي نقصان المقاومة الكهربائية لشبه الناقل و المعادلة (7.II) تبين العلاقة بين درجة الحرارة T و المقاومة ρ و الناقلية σ .

$$(7.II) \quad \begin{cases} \rho = \rho_0 e^{\frac{E_g}{2k_B T}} \\ \sigma = \sigma_0 e^{\frac{-E_g}{2k_B T}} \end{cases}$$

حيث E_g : هو الفاصل الطاقي بين عصابة النقل و التكافؤ .
 K_B : ثابت بولتزمان.

σ_0, ρ_0 : هما المقاومة و الناقلية الكهربائية الابتدائين على الترتيب.

5. II خاتمة:

تطرّقنا في هذا الفصل إلى ثلاث طرق تجريبية لتحديد بعض الخصائص الكهربية لشبه الناقل من النوع n و المتمثلة في دراسة تغيّرات فرق كمون هول بدلالة الحقل المغناطيسي، فوجدنا أنّه هناك تطابق بين العلاقات النظرية و التجريبية، فقد لاحظنا وجود علاقة طردية بين كمون هول و الحقل المغناطيسي، أمّا التجربة الثانية فكانت حول دراسة تغيّرات كمون هول بزيادة درجة الحرارة، ففي هذه التجربة رأينا وجود علاقة عكسية بين كمون هول و درجة الحرارة، و هو مطابق لما صُغناه في العلاقات النظرية، و بالنسبة للتجربة الثالثة فكانت عبارة عن قياس فرق الكمون و شدّة التيار المارّين في عيّنة شبه ناقلة من النوع n بتغيير في درجة الحرارة، و بالتالي قياس مقاومة شبه ناقل في درجات حرارة مختلفة، فقد وجدنا أنه بزيادة درجة الحرارة تنقص مقاومة شبه الناقل، و هو موافق لما نعرفه مسبقاً، و هو أنّ زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة الناقلية، و أنّ تغيّر الناقلية معاكس لتغيّر المقاومة بالزيادة أو بالنقصان، إذن فهذا الفصل كان بمثابة سند إثبات لما أدرجناه في الفصل السابق.

الخاتمة العامة

عرفت المواد الشبه ناقله تطورا كبيرا في هذا العصر، بحيث أصبحت الأكثر شيوعا في مجال التكنولوجيا الحديثة، فقد كان السيليسيوم و الجيرمانيوم المواد الأكثر إستخداما في التطبيقات الحالية، فالتحكّم في تطور أشباه النواقل يؤدي إلى تطوير و تنمية التكنولوجيا الحديثة، وقد تعرفنا في دراستنا هذه على طبيعة المواد الشبه ناقله من حيث البنية البلورية و عصابات الطاقة بالإضافة إلى ذلك عرفنا المادة الشبه ناقله و بينا أنواعها و كيفية الحصول عليها، و تطرقنا أيضا إلى مفعول هول الذي يعتبر من أهم التقنيات لدراسة أشباه النواقل، و كذلك إلى مفهوم الوصلة PN و عرفنا أنواعها و الجهد المكوّن فيها و مميّزاتها، وقد أرفقنا الدراسة النظرية بدراسة تجريبية تبيّن بعض تقنيات قياس خواص أشباه النواقل الكهربائية.

المراجع

- [1] - حريز عبد القادر مباركة و دودي زينب* تقنيات قياس خواص أشباه النواقل* مذكرة لنيل شهادة ليسانس أكاديمي – شعبة الفيزياء – جامعة الوادي سنة 2012 .
- [2] - غوقالي مبروك و بن حميدة سفيان"مدخل إلى فيزياء الحالة الصلبة" – مكتبة مزوار – سنة 2009.
- [3]- غوقالي مبروك "محاضرات أشباه نواقل" – جامعة الوادي - سنة 2014.
- [6]-أسامة عمر مسعود العشي – مقالة في أشباه الموصلات – الجميل- ليبيا.

[4] –Propriétés physique des semi-conducteurs (Si monocristallin et Ge) et simulation des cellules solaires à base de Si et SiGe- M^{me} BENAHMED BENABDALLAH Nadia , THESE DE MAGISTER –UNIVERSITE –ABOU BELKEAID –TLEMCEM- Juillet 2006.

[5] - Jérôme Faist « Introduction à la physique des semi-conducteurs » institut de physique ,université de Neuchâtel,mai 2004.

[7] -A chovet and P.Masson département micro électronique et télécommunication « physique semi-conducteur » août 2004.

[8]- GHOUGALI Mabrouk *EFFET HALL DANS UN SEMI-CONDUCTEUR*,Travaux pratique en physique des semi-conducteurs , Université d'El-Oued – Faculté des sciences et Technologie – 3^{ème} année LMD Pysique 2013 /2014.

[9]- Dimitri galayko*Introduction des composants à semi-conducteur* - united'enseignement Elec-info pour master ACSI-a l'UPMC Octobre-Décembre 2005.

الملخص:

تتمتع أشباه بعدد من الخواص التي تجعلها من أكثر الأجسام الصلبة أهمية في العديد من التطبيقات الصناعية، فقد كان استخدام خواص أشباه النواقل في إختراع و تصميم أجهزة و تطبيقات جديدة، حيث تطرقنا في هذا البحث إلى دراسة تقنيات خواص أشباه النواقل ابتداءً من دراسة عامة حول أشباه النواقل، و من ثمّ القيام بدراسة بعض خصائص أشباه النواقل، و هي عبارة عن خصائص كهربائية، و المتمثلة في كمون هول و المقاومة.

الكلمات المفتاحية:

أشباه النواقل – فعل هول – الوصلة PN – المقاومة الكهربائية.

Abstract :

The semiconductors enjoy with many number of properties, that make it one of the most solid objects importance in many industrial applications, it has been the use of the properties of semiconductors in the invention and design of devices and new applications, then we discussed in this research to study the measurement techniques properties of the semiconductors, from a general concepts of the semiconductors to do the study of some electricals properties such as Hall Effect and the Resistivity.

Keywords:

The semiconductors – Hall Effect – The Junction PN – The Electrical Resistivity.