



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة : ماستر أكاديمي

تخصص : فيزياء طاقوية والطاقات المتجددة

من إعداد الطالبتين :

بوعزة فاطمة الزهرة و رحمانى عميدة

مذكرة بعنوان :

دراسة ظاهرة النقل الإلكتروني في أشباه الموصلات

تطبيق : صمام ثنائي السيليكون

نوقشت يوم 2022/06/14

أمام لجنة المناقشة المتكونة من السادة :

مشرفا	المدرسة العليا للأساتذة _ ورقلة _	الأستاذ: جريوي محمد
رئيسا	جامعة قاصدي مرباح _ ورقلة _	الأستاذ : سوداني محمد البار
مناقشا	المدرسة العليا للأساتذة _ ورقلة _	الأستاذ : سويقات عبد القادر

الموسم الجامعي 2022/2021



إهداء

قال الله تعالى ﴿وَإِخْفِضْ لَهُمَا جَنَاحَ الذُّلِّ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقُل رَّبِّ ارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا﴾

[الإسراء: 24]

إلى التي أوصاني بها المولى خيرا وبراً ، إلى التي حملتني وهنا على ومن ، إلى التي سهرت الليالي لأنام ، إلى منبع الحب والحنان ورمز الصفاء والوفاء إلى أمي الغالية حفظها الله وأطال في عمرها .

إلى من أحمل اسمه بإفتخار ، إلى رمز العزة والوقار ، إلى من رحمني ابي الغالي حفظه الله وأطال في عمره إلى من كانوا يضيئون لي الطريق ويساندونني إخوتي وأخواتي .

وإلى كل من أحبهم قلبي

إلى من علمونا حروفاً من ذهب وكلمات من درر وعبارات من أسمي وأجلى عبارات في العلم إلى من ساعوا لنا علمهم حروفاً ومن فكرهم منارة تنير سيرة العلم والنجاح إلى من أساتذتنا الكرام .

إلى من سرنا سويًا ونحن نشق الطريق معاً نحو النجاح والإبداع إلى صديقاتي وزميلاتي .

بوعزة فاطمة الزهرة



إهداء

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما بعد:

الحمد لله الذي وفقنا لتثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه

ثمرة الجهد والنجاح بفضله تعالى ممداة إلى الوالدين الكريمين حفظهما الله

وأدامهما نورا لدربي

لكل العائلة الكريمة التي ساندتني ولا تزال ...

إلى كل من كان لهم أثر على حياتي ، وإلى كل

من أحبهم قلبي ونسيهم قلبي

رحماني عايذة

شكر وعرفان

نحمد الله عز وجل الذي ألهمنا الصبر والثبات وأمدنا بالقوة والعزم على مواصلة مشوارنا الدراسي وتوفيقه لنا في إنجاز هذا العمل ، فنحمدك اللهم ونشكرك على نعمتك وفضلك ونسألك البر والتقوى ، ومن العمل ما ترضى ، والسلام على حبيبك وخليفك الأمين عليه أزكى الصلاة والسلام ، نتقدم بجزيل الشكر للأساتذ الفاضل جريوي محمد لتفضله بالإشراف على هذا البحث وسعة صدره وعلى حرصه ان يكون هذا العمل في صورة كاملة لا يشوهه أي نقص نسأل الله أن يجزيه عنا كل خير لإشرافه على هذا العمل البسيط، وعلى المجهودات التي بذلها من أجلنا ، والنصائح والتوجيهات العظيمة التي كان يضعها نصيبنا ... جعل الله ذلك في ميزان حسناته يوم الدين ، نتقدم بجزيل الشكر وخالص الامتنان إلى الإدارة وأساتذة الكلية

فهرس المحتويات

I..... فهرس الأشكال

III قائمة الرموز والإختصارات

1 المقدمة العامة :

الفصل الأول : أشباه الموصلات

3 1.1 المقدمة :

3 2.1 التركيب الذري :

3 3.1 نطاقات الطاقة :

4 1.3.1 نطاق التكافؤ :

4 2.3.1 نطاق التوصيل :

4 3.3.1 النطاق المحظور :

4 4.1 المواد الموصلة والعازلة وشبه الموصلة:

4 1.4.1 المواد الموصلة Conductors :

5 2.4.1 المواد العازلة Insulators:

5 3.4.1 المواد شبه الموصلة Semiconductors:

6 5.1 أنواع أشباه الموصلات :

6 1.5.1 أشباه الموصلات النقية (الذاتية) Intrinsic Semiconductors :

7 2.5.1 أشباه الموصلات المطعمة Impur Semiconductor :

7 1.2.5.1 أشباه الموصلات من نوع N N_Type Semiconductor :

8 2.2.5.1 أشباه الموصلات من نوع P P_Type Semiconductor :

9 6.1 مستوى فيرمي :

9 7.1 حاملات الشحنة في أشباه الموصلات:

10 1.7.1 حاملات الشحنة الأغلبية و الأقلية:

10	1.1.7.1 حاملات الشحنة الأغلبية والأقلية في شبه الموصل من نوع N
10	2.1.7.1 حاملات الشحنة الأغلبية والأقلية في شبه الموصل من نوع P
11	8.1 تركيز الإلكترونات و الثقوب :
14	9.1 آلية النقل الكهربائي في أشباه الموصلات :
14	1.9.1 تيار الإنجراف Drift current:
15	2.9.1 تيار الإنتشار Diffusion Current :
16	10.1 المقاومة النوعية والتوصيلية النوعية لشبه الموصل :
16	1.10.1 التوصيلية النوعية :
17	2.10.1 المقاومة النوعية :
17	11.1 معادلات نقل الشحنة Charg Transfer Equation:
17	1.11.1 معادلات الانجراف والانتشار
18	2.11.1 معادلة بواسون Poisson's Equation:
19	3.11.1 معادلة الإستمرارية continuity Equations :
20	12.1 الخاتمة :

الصمام الثنائي

الفصل الثاني :

22	1.2 المقدمة :
22	2.2 الصمام الثنائي :
22	1.2.2 تركيب الصمام الثنائي :
22	2.2.2 شكل ورمز الصمام الثنائي
23	3.2 خواص الثنائي والمنحني المميز:
23	1.3.2 يمرر التيار الكهربائي :
23	2.3.2 لا يمرر التيار الكهربائي :
23	4.2 مبدأ اشتغال الصمام :

23	1.4.2 الإستقطاب الامامي :
24	2.4.2 الإستقطاب العكسي:
25	5.2 مقارنة بين ديودات السيلكون وديودات الجرمانيوم :
25	6.2 مقاومات الديود:
25	1.6.2 المقاومة الستاتيكية :
25	2.6.2 المقاومة الديناميكية :
25	3.6.2 المقاومة المتوسطة :
26	7.2 الدوائر المكافئة لدايود :
26	1.7.2 تقريب الثنائي Approximations Diode:
26	1.1.7.2 التقريب الأول :
26	2.1.7.2 التقريب الثاني:
27	3.1.7.2 التقريب الثالث:
28	8.2 انواع الديود:
28	1.8.2 ديود زينر:
28	2.8.2 ديود السعة المتغيرة:
28	3.8.2 ديود النفقي :
28	4.8.2 ديود الضوئي :
28	5.8.2 ديود الإنبعاث الضوئي :
29	9.2 تطبيقات الصمام الثنائي :
29	1.9.2 دائرة تقويم النصف موجي:
29	2.9.2 دائرة تقويم الموجة الكاملة باستخدام صمامين:
29	3.9.2 دائرة تقويم الموجة الكاملة باستخدام اربع صمامات:
29	4.9.2 دايودات الألواح الشمسية:
29	5.9.2 دائرة تشغيل محرك DC باتجاه واحد فقط:

10.2 الخاتمة : 30

الفصل الثالث : تطبيق : صمام ثنائي السيليكون

1.3 مقدمة : 32

3.3 محاكاة خواص الديود : 34

1.3.3 الإنحياز الأمامي : 34

2.3.3 الإنحياز العكسي : 35

4.3 تأثير تغيير درجة الحرارة : 36

1.4.3 الانحياز المباشر : 36

2.4.3 الانحياز العكسي 37

5.3 مناقشة النتائج 38

6.3 التفسير : 38

7.3 الخاتمة 39

الخلاصة العامة 41

قائمة المصادر والمراجع 43

فهرس الأشكال

الرقم	عنوان الشكل	الصفحة
الشكل (1_1)	نموذج بوهر لتكوين الذرة	03
الشكل (2_1)	تكوين الذرة	03
الشكل (3_1)	مخطاطات الطاقة أ-الموصلات ب-العوازل ج-اشباه الموصلات	05
الشكل (4_1)	رسم بياني لبلورة سيليكون نقي و الروابط الالكترونية فيه [1]	06
الشكل (5_1)	تطعيم سيليكون أ- بذرة مانحة (الأنتيمون) ب- بذرة كاسبة (البورون)	08
الشكل (6_1)	موضع مستوى فيرمي لنصف الناقل أ- نقي ب- سالب ج- موجب	9
الشكل (7_1)	حاملات الشحنة في نصف ناقل أ- سالب ب- موجب	10
الشكل (8_1)	شبه موصل نقي	11
الشكل (9_1)	شبه موصل من نوع n	13
الشكل (10_1)	شبه موصل من نوع p	14
الشكل (11_1)	تدرج حاملات الشحنة وتيارات الإنتشار الناتجة في بلورة أ_ من النوع P ب- من النوع N [5].	17
الشكل (12_1)	توصيل التيار الكهربائي في نصف ناقل مطعم بشكل متجانس [16]	16
الشكل (13_1)	المقاومة النوعية لنصف ناقل (السيليكون Si) من النوع N ومن النوع P كدالة في تركيز التطعيم [5]	17
الشكل (14_1)	حجم أولي مستخدم لإشتقاق معادلة الإستمرارية [5].	19
الشكل (1_2)	بنية الصمام من الداخل	22
الشكل (2_2)	رمز الصمام الثنائي	22
الشكل (3-2)	شكل الصمام الثنائي	22
الشكل (4-2)	المنحنى المميز لصمام الثنائي	23
الشكل (5-2)	دارة الإنحياز الامامي للديود	24
الشكل (6-2)	دارة الإنحياز العكسي للديود	24
الشكل (7-2)	التقريب الاول للثنائي	26
الشكل (8-2)	التقريب الثاني للثنائي	27
الشكل (9-2)	التقريب الثالث للثنائي	27
الشكل (1_3)	النافذة الرئيسية للبرنامج	33
الشكل (2_3)	نافذة تحديد خواص التيار المار في الدارة	33



34	الإنحياز الأمامي لثنائي السيليكون	الشكل (3_3)
34	تحديد خواص ديود	الشكل (4_3)
35	تغيرات التيار والجهد في الإنحياز الأمامي	الشكل (5_3)
35	الإنحياز العكسي لثنائي السيليكون	الشكل (6_3)
36	تغيرات التيار والجهد في الإنحياز العكسي	الشكل (7_3)
36	المنحنى المميز IV لتأثير درجة الحرارة على شدة التيار حالة الإنحياز المباشر	الشكل (8_3)
37	المنحنى المميز IV لتأثير درجة الحرارة على شدة التيار حالة الإنحياز العكسي	الشكل (9_3)
38	منحنى خاصية الجهد الكهربائي لديود	الشكل (10_3)

قائمة الرموز والإختصارات

الرمز	المقدار الفيزيائي	الوحدة
E_F	طاقة مستوى فيرمي	eV
E_g	النطاق المحظور	eV
E_C	مستوى طاقة الجزء السفلي من نطاق التوصيل	eV
E_V	مستوى طاقة الجزء العلوي من نطاق التكافؤ	eV
T	درجة الحرارة المطلقة	K
N	كثافة الإلكترونات	cm^{-3}
P	كثافة الثقوب	cm^{-3}
n_i	كثافة شبه الموصل النقي	cm^{-3}
$f(E)$	دالة توزيع فيرمي وديراك	
K_B	ثابت بولتزمان $K_B = 1.38 * 10^{-23}$	J/K
N_C	الكثافة الفعالة لحالات نطاق التوصيل	cm^{-3}
N_V	كثافة الحالات الفعالة لحالات نطاق التكافؤ	cm^{-3}
$f(E_C)$	دالة توزيع فيرمي الخاصة بالإلكترونات	
$f(E_V)$	دالة توزيع فيرمي الخاصة بالثقوب	
m_n	الكتلة الفعالة للإلكترون	Kg
m_p	الكتلة الفعالة للثقوب	Kg
h	ثابت بلانك $6.62 * 10^{-34}$	$m^2 kg/s$
n_0	تركيز الإلكترونات في نطاق التوصيل	cm^{-3}
p_0	تركيز الثقوب في نطاق التكافؤ	cm^{-3}
N_D	تركيز الذرات المانحة	cm^{-3}
N_A	تركيز الذرات المستقبلة	cm^{-3}

cm^{-3}	تركيز الإلكترونات في شبه الموصل من نوع n	n_n
cm^{-3}	تركيز الثقوب في شبه الموصل من نوع p	p_p
cm^{-3}	تركيز الثقوب في شبه الموصل من نوع n حامل أقلية	p_n
cm^{-3}	تركيز الإلكترونات في شبه الموصل من نوع p حامل أقلية	n_p
A/cm^2	كثافة تيار الانجراف	J
A/cm^2	كثافة تيار انجراف الالكترونات	J_n
A/cm^2	كثافة تيار انجراف الثقوب	J_p
$\left(\frac{cm^2}{V.s}\right)$	حركية الإلكترونات	μ_n
$\left(\frac{cm^2}{V.s}\right)$	حركية الثقوب	μ_p
$(s.m^{-1})$	الناقلية النوعية للإلكترونات	σ_n
$(s.m^{-1})$	الناقلية النوعية للثقوب	σ_p
(V/m)	الحقل الكهربائي المطبق	E
$cm^{-2}s^{-1}$	تدفق تيار الإلكترونات	F_n
$cm^{-2}s^{-1}$	تدفق تيار الثقوب	F_p
C	شحنة الالكترون	e
m	طول العينة	L
$S.cm^{-1}$	التوصيلية النوعية	σ
Ωcm	المقاومة النوعية	P
$(cm^{-3}S^{-1})$	معدل التوليد الخارجي للإلكترونات	G_n
$(cm^{-3}S^{-1})$	معدل التوليد الخارجي للثقوب	G_p
	كثافة التيار الالكتروني الداخل	$J_n(x)$
	كثافة التيار الالكتروني الخارج	$J_n(x + dx)$

المقدمة العامة

المقدمة العامة :

الإلكترونيات علم تطبيقي تتسع تطبيقاته لتشمل كل مرفق من مرافق حياتنا اليومية ، تشكل أنصاف النواقل الأساس الذي تقوم عليه الإلكترونيات الحديثة اليوم ، وهناك العديد من النباط والأجهزة الإلكترونية تدخل في تطبيقات صناعية واسعة مبنية على خواص أنصاف النواقل نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر الديودات بأنواعها المستخدمة كحساسات أو مقومات أو مصدر للضوء والترانزستورات بأنواعها والخلايا الشمسية و الألواح الفوتوفلطية الشمسية التي تحول الطاقة الضوئية مباشرة إلى طاقة كهربائية والدارات المتكاملة الرقمية والتمثيلية.

أنصاف النواقل صنف من المواد تقع مقاومتها الكهربائية في درجة حرارة الغرفة في $(10^8 \Omega cm, 10^{-3} \Omega cm)$

فهي متوسطة بين النواقل الجيدة $10^{-6} \Omega. cm$ والعوازل $(10^{14} \Omega. cm$ و $10^{22} \Omega. cm)$ وتنشأ صفات النقل فيها من الإثارة الحرارية أو العيوب في الشبكة البلورية [1]. وترجع أهميتها الكبيرة على أن خواصها الكهربائية شديدة الحساسية لتراكيز الضئيلة من الشوائب التي تضاف إليها بعملية تسمى التطعيم ، ينشأ التيار في أنصاف النواقل من جريان الشحنة الكهربائية السالبة التي تحملها الإلكترونات والموجبة التي تحملها الثقوب ، والمواد نصف الناقلة الشائعة هي الجوامد بلورية أهمها وأكثرها إستعمالا في الصناعة الإلكترونية على النطاق التجاري عنصران مشهوران هما السيليكون Si والجرمانيوم Ge [1].

لذا تتمحور دراسة موضوعنا على " دراسة ظاهرة النقل الإلكتروني في أشباه الموصلات تطبيق :صمام ثنائي السيليكون"

قسمنا هذا البحث في ثلاث فصول حيث تطرقنا في الفصل الأول إلى عموميات على أشباه الموصلات وشرح خصائصها على المستوى الذري وحزم الطاقة التي تحدد الخواص الإلكترونية للمادة والتي تنقسم إلى ثلاث تصنيفات ومنه خصائص أشباه الموصلات في إختلاف درجات الحرارة وأنواعها و تناولنا حاملات الشحنة وتيارى الانتشار والانجراف وطاقة مستوى فيرمي و تراكيز حاملات الشحنة و الى تيارى الانتشار و الانجراف.

و الفصل الثاني خصصناه للوصلة PN التي تشكل الصمام الثنائي و الى بنية الصمام و مبدا عمله و الدارات المكافئة و انواع الصمامات

اما الفصل الثالث انجزنا محاكاة للصمام الثنائي و ذلك باستعمال برنامج pspice9 حيث اخترنا مركبا موجودا في مكتبة البرنامج. و رسمنا البيان المميز للصمام و تأثير درجة الحرارة عليه

الفصل الأول

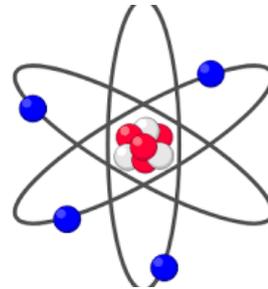
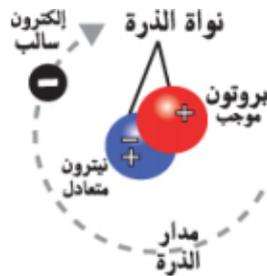
أشبه الموصلات

1.1 المقدمة :

تصنف المواد الصلبة البلورية إلى عناصر موصلة لتيار كهربائي وعناصر شبه موصلة وأخرى عازلة نسبة إلى قابليتها لنقل التيار الكهربائي سنتناول في هذا الفصل شرحا مبسطا لفيزياء أنصاف النواقل التي تشكل الأرضية اللازمة لفهم عمل العديد من العناصر و النباط الإلكترونية المكونة للدارات الكهربائية والإلكترونية وتشغيلها [1]. سنتطرق إلى دراسة ظاهرة النقل الإلكتروني في أشباه الموصلات وأنواعها ومستويات الطاقة الخاصة بها ودراسة تركيز حاملات الشحنة في نصف الناقل .

2.1 التركيب الذري :

الذرة هي أصغر جزء من المادة، مكونة من نواة كثيفة تدور حولها الإلكترونات على مسافة كبيرة من النواة ، تشبه المدارات التي تدور فيها الكواكب حول الشمس . مثلما إقترح نيلز بوهر حيث اعتبر أن الإلكترونات في الذرة تدور حول النواة في نطاقات مختلفة وغالبا مايشار إلى نموذج بوهر بالنموذج الكوكبي [13].
تحتوي النواة على نوعين من الأجسام، أحدها موجب الشحنة ويطلق عليها بروتونات والثاني متعادل الشحنة يطلق عليها نيوترونات ويدور حول النواة إلكترونات سالبة الشحنة في مدارات ثابتة [1].



الشكل (2_1) تكوين الذرة

الشكل (1_1) نموذج بوهر لتكوين الذرة

3.1 نطاقات الطاقة :

تدور الإلكترونات حول النواة في مدارات منفصلة حيث لكل مدار مستوى طاقة معين ، تم تصنيف المدارات إلى نطاقات طاقة تسمى shells ، ولكل ذرة عدد ثابت من نطاقات الطاقة، كل نطاق له عدد من الإلكترونات المسموح بها تتمثل هذه النطاقات في :

1.3.1 نطاق التكافؤ :

هو مجموعة من مستويات الطاقة القريبة من بعضها في الطاقة والمتداخلة معا [1]، يحتوي على إلكترونات المدار الأخير لذرة التي في غالب الأحيان تشكل الروابط التساهمية بين الذرات [2].

2.3.1 نطاق التوصيل :

هو أعلى نطاق طاقة تنتقل إليه الإلكترونات عندما تكتسب طاقة [5] . يكون هذا النطاق فارغ من الإلكترونات في المواد شبه الموصلة عند درجات الحرارة المنخفضة جدا أما عند زيادة درجة الحرارة تكون لبعض الإلكترونات طاقة حرارية كافية لإنهاء وظيفتها في تشكيل رابطة بين الذرات وتتحرك في كافة أنحاء البلورة، تقفز هذه الإلكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل حيث أنها تكون حرة الحركة ويسمى الفرق بين قاع نطاق التوصيل وقمة نطاق التكافؤ بثغرة الطاقة المحظورة (النطاق المحظور) ويشار إليها ب E_g [6].

3.3.1 النطاق المحظور:

لا يمكن للإلكترونات أن تنتقل من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل إلا إذا اكتسبت طاقة أكبر من طاقتها حيث لسيليكون يكون النطاق المحظورة $E_g \approx 1.1eV_{Si}$ ، والجرمانيوم $E_g \approx 0.67eV_{Ge}$ وهو الذي يحدد الخواص الكهربائية للبلورة [7].

4.1 المواد الموصلة والعازلة وشبه الموصلة:

يمكن تصنيف المواد من حيث مقدرتها على إيصال التيار الكهربائي إلى ثلاثة أنواع هي المواد الموصلة (conductors) والمواد العازلة (insulators) والمواد شبه الموصلة (semiconductors) [1].

1.4.1 المواد الموصلة Conductors :

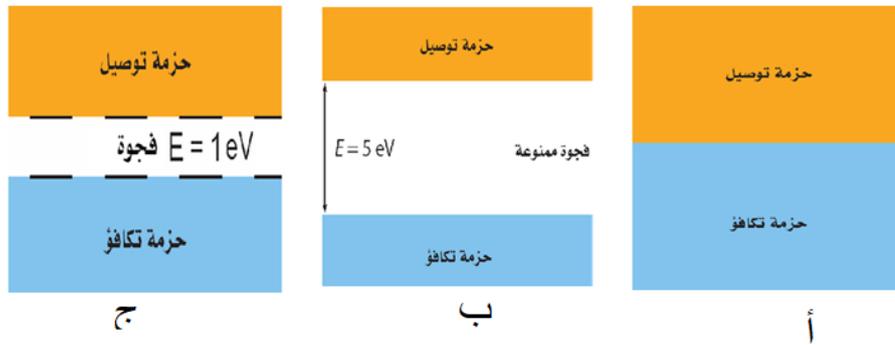
هي مواد مقاومتها النوعية للتيار صغيرة جدا وتسمح بمرور التيار الكهربائي من خلالها لإحتوائها وفرة من الإلكترونات الحرة وتتمثل هذه المواد في الفلزات والسبائك المعدنية [2]؛ وتتميز المواد الموصلة بعدم وجود نطاق محظور بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل، أي يتفاعل كل من نطاقي التكافؤ والتوصيل فيما بينهما ، وإلكترونات التكافؤ تكون هي نفسها إلكترونات التوصيل وعند تواجد مجال كهربائي ما تكتسب الإلكترونات طاقة إضافية مما يؤدي إلى سهولة الانتقال بين مستويات الطاقة المختلفة [8].

2.4.1 المواد العازلة Insulators:

هي مواد مقاومتها النوعية لمرور التيار الكهربائي عالية جدا و لا تسمح بمرور التيار الكهربائي لعدم وجود وفرة من الإلكترونات الحرة مثل الكوارتز و البورسيلين و المايكا و الزجاج [2] . ويكون اتساع النطاق المحظور كبيرا ، (3ev-8) بحيث إذا استخدمنا مجال كهربائي لمنح أي إلكترون طاقة لنخطي النطاق المحظور ستكون الطاقة كبيرة جدا وتبلغ شدة المجال الكهربائي حوالي ($6 * 10^8 V/cm$) تقريبا، لذلك من المستحيل منح أي إلكترون من هذه الطاقة وبالتالي لا يوجد أي إلكترون في نطاق التوصيل [8].

3.4.1 المواد شبه الموصلة Semiconductors:

تأتي هذه المواد بين المواد الموصلة والمواد العازلة لها قدرة على توصيل التيار الكهربائي ويكون عرض النطاق المحظور صغيرا جدا تقريبا (1ev) وعند درجة حرارة الصفر المطلق (0k) تكون جميع الإلكترونات في نطاق التكافؤ ولا يوجد أي منها في نطاق التوصيل وبالتالي هذه المواد تكون عازلا مثاليا عند ($k = 0$) وعند زيادة الحرارة فإن الإلكترونات تفتقر من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل وبذلك تسلك هذه المادة سلوك المواد الموصلة، إن من أشهر المواد شبه الموصلة السيليكون (Si) والجرمانيوم (Ge) ويبلغ عرض النطاق المحظور للسيليكون (1.21ev) ويبلغ (0.785 ev) للجرمانيوم عند درجة حرارة الصفر المطلق [8].



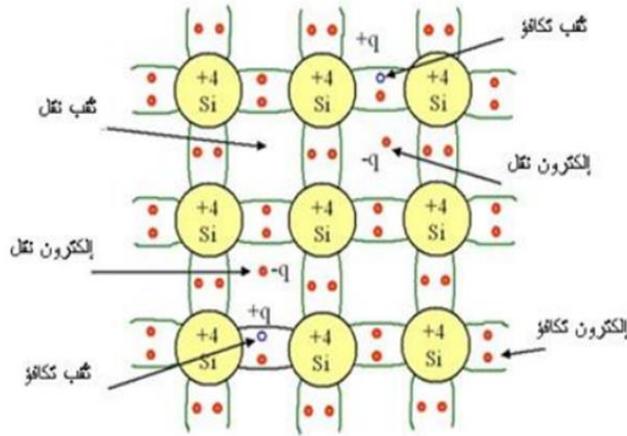
الشكل (1-3) مخططات الطاقة: أ-الموصلات ب-العوازل ج-أشباه الموصلات

5.1 أنواع أشباه الموصلات :

تنقسم أشباه الموصلات إلى نوعين

1.5.1 أشباه الموصلات النقية (الذاتية) Intrinsic Semiconductors :

يكون شبه الموصل نقيًا إذا كان غير مطعم بشوائب غريبة وخالٍ من العيوب. وفي درجة الصفر المطلق لا يوجد في شبه الموصل حاملات الشحنة ، ولكن عندما ترتفع درجة الحرارة تتولد أزواج من الإلكترونات والثقوب نتيجة إثارة إلكترونات نطاق التكافؤ حرارياً عبر شريط الطاقة المحظورة إلى نطاق التوصيل هذه الأزواج من الإلكترونات والثقوب هي حاملات الشحنة الوحيدة في شبه الموصل النقي حيث يمثل الشكل (1_4) بلورة سيليكون نقية ونتيجة إرتفاع درجة الحرارة استطاع إلكترون التكافؤ أن يخرج من مداره ليصبح إلكترون حر الحركة وترك مكانه السابق بتواجد ثقب و تكسير الرابطة التساهمية في موضع تكوين الثقب ، إن زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة تولد أزواج الإلكترونات والثقوب وبالتالي زيادة التيار [2].



الشكل (1-4) رسم بياني لبلورة سيليكون نقي و الروابط الالكترونية فيه [1]

يمكن تصور عملية توليد أزواج الإلكترونات والثقوب بطريقة وصفية اعتماداً على كسر الروابط الالكترونية في الشبكة البلورية لشبه الموصل. إذا كسرت إحدى الروابط الالكترونية في السيليكون وانخلع إلكترون التكافؤ من موضعه في الرابطة بحيث يصبح حراً وقادراً على التحول في الشبكة البلورية فإنه يتولد إلكترون نقل مخلفاً وراءه رابطة محطمة (ثقب) كما في الشكل (1-4) إن الطاقة اللازمة لكسر الرابطة هي طاقة ثقب الطاقة E_g [1].

يبين الشكل (1-4) أنه في أشباه الموصلات النقية يرتبط وجود كل الكترون في نطاق التوصيل بوجود ثقب في نطاق التكافؤ ومنه نستنتج أن كثافة الإلكترونات في نطاق التوصيل n تساوي كثافة الثقوب في نطاق التكافؤ p في شبه الموصل النقي وعليه يتحقق في شبه الموصل النقي العلاقة $n = p = n_i$

2.5.1 أشباه الموصلات المطعمة Impur Semiconductor :

يصنع هذا النوع من أشباه الموصلات بعملية تسمى التطعيم (dopping) وهي عبارة عن إضافة كمية محدودة من الشوائب بغرض زيادة حاملات الشحنة (الكترون- ثقب) بصورة كبيرة إضافة إلى حاملات الشحنة التي تنشأ حرارياً، وهي التقنية الأكثر انتشاراً لتغيير الناقلية النوعية لأشباه الموصلات. فشبه الموصل الغير نقي هو شبه موصل نقي مطعم بشائبة معينة قادر على تعديل عميق في خصائصه الكهربائية مما يجعله مناسباً للتطبيقات الإلكترونية (الدايودات و الترانزستورات و ما إلى ذلك).

بعملية التطعيم يمكن تغيير نوع حاملات الشحنة المسيطرة في عملية النقل الكهربائي بحيث تكون إلكترونات أو ثقوب. تؤدي عملية التطعيم إلى نوعين من أشباه الموصلات المطعمة : النوع n تكون فيه غالبية للإلكترونات والنوع p تكون فيه غالبية لثقوب ، فعند تطعيم بلورة بحيث تكون كثافة حاملات الشحنة في وضع التوازن n_0 و p_0 مختلفتين عن كثافة حامل الشحنة النقي n_i يقال عن شبه الموصل أنه غير نقي [1].

إن الشوائب المستخدمة عبارة عن ذرات خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ أي وجود خمس أو ثلاث إلكترونات تكافؤ في المدار الأخير ، تقع نسبة الشوائب المستخدمة في المدى 10^6 ذرة سيليكون ، إن الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لا تتغير ولكن الخصائص الكهربائية تتغير تغيراً كبيراً ومنه يمكن تصنيف أشباه الموصلات الغير نقية إلى نوعين وهما نوع سالب N ونوع موجب P [2].

1.2.5.1 أشباه الموصلات من نوع N N_Type Semiconductor :

يتم الحصول عليها بإضافة مادة شائبة من عناصر خماسية التكافؤ مثل الفوسفور (p) أو الزرنيخ (As) أو الأنتيمون (Sb) الشكل (1_5_أ) تحتوي على خمس إلكترونات تكافؤ في مستوى الطاقة الأخير) إلى مادة شبه الموصل النقي مثل السيليكون (Si) أو الجرمانيوم (Ge) حيث هذا النوع من البلورات تكون له ذرة شائبة خماسية التكافؤ مثل الأنتيمون مرتبطة بأربع ذرات سيليكون عن طريق أربع روابط تشارك فيهم ذرة الأنتيمون بأربع الكترونات ويتبقى الكترون الخامس لذرة الأنتيمون ضيف الإرتباط بها إلكترون حر . وكلما زاد عدد ذرات الشائبة يزداد عدد الإلكترونات الحرة وبالتالي تزداد قدرة البلورة على توصيل التيار الكهربائي ويسمى هذا النوع

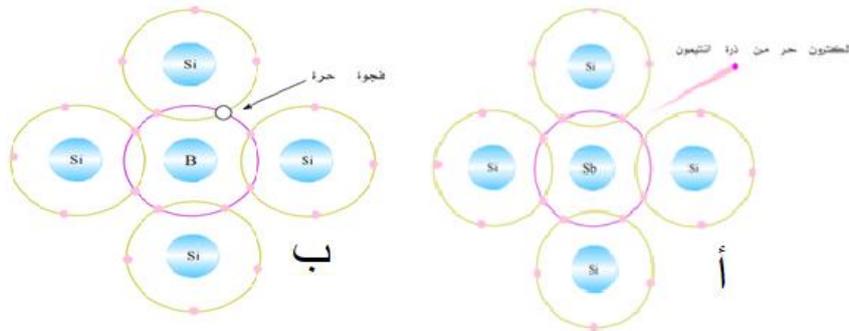
من البلورات (بلورة سالبة) لأن خاصية التوصيل الكهربائي بها ناتجة عن حركة الإلكترونات السالبة وتسمى هذه الذرة بذرة المانحة. [7]

إن هذا الإلكترون الخامس يكون شبه شائب ، وتكفيه طاقة صغيرة لا تتعدى 0.04eV للجرمانيوم و 0.01eV لسيليكون لنقله إلى نطاق التوصيل . وبهذا فإن وجود الذرات الشائبة يزيد من عدد الإلكترونات الطليقة في نطاق التوصيل مع قليل من الطاقة ليس غير ، وقد يتضاعف هذا العدد من الإلكترونات الطليقة إلى ألف مرة عما هو عليه في حالة السيليكون النقي .

من الجدير بالذكر أن الإلكترونات الفائضة في نطاق التوصيل نتيجة لوجود الشوائب لا يقابله ظهور الثقوب في نطاق التكافؤ . فهذه الإلكترونات لا تنتقل من نطاق التكافؤ كما يحدث ذلك في المادة النقية بل إنها تنتقل من مستويات طاقة واقعة تحت حافة نطاق التوصيل (ضمن ثقب الطاقة) وعلى عمق قليل جدا من الطاقة (0.01eV أو 0.04eV) [11].

2.2.5.1 أشباه الموصلات من نوع P_Type Semiconductor P:

يتم الحصول عليها بإضافة مادة شائبة ثلاثية التكافؤ مثل الجاليوم (Ga) أو الألمنيوم (Al) أو البورون (B) الشكل (1_5_ب) (تحتوي على ثلاث إلكترونات تكافؤ في مستوى الطاقة الأخير) إلى مادة شبه الموصل النقي مثل السيليكون (Si) أو الجرمانيوم (Ge) حيث هذا النوع من البلورات تكون له ذرة ثلاثية التكافؤ و ليكن البورون مرتبط بأربع ذرات سيليكون عن طريق أربع روابط تساهمية تشارك فيهم ذرة البورون بثلاث إلكترونات ويتبقى في الرابطة الرابعة مكان لإلكترون غير موجود تسمى ثقب ، تقوم الثقوب بجذب إلكترون من رابطة مجاورة وعندما ينتقل الإلكترون يملأ هذه الثقوب ويترك خلفه ثقب جديدة وهكذا ونتيجة لحركة الإلكترون بين الروابط لملأ الثقوب يتسبب ذلك في وجود إلكترونات حرة مما يجعل البلورة توصل التيار الكهربائي ويسمى هذا النوع بالذرة القابلة [7].



الشكل (1_5_أ) تطعيم سيليكون أ- بذرة مانحة (الأنتيمون) ب- بذرة كاسبة (البورون)

كذلك الشوائب القابلة تكون مستويات الطاقة جديدة ضمن ثقب الطاقة وعلى مسافة قريبة جدا من نطاق التكافؤ يطلق عليها بالمنسوب القابل تبلغ قيمته حوالي 0.01ev بالنسبة للجرمانيوم 0.16ev بالنسبة لسيليكون. إن وجود هذا المنسوب يسهل من عملية انتقال الإلكترونات من نطاق التكافؤ وهذه الثقوب تساعد على سريان التيار [11].

6.1 مستوى فيرمي :

هو المستوى الذي يكون احتمال انشغاله بالإلكترون 50% ويقع في منتصف مستوى الطاقة المحظورة (E_g) [7] ؛ يعد مستوى طاقة فيرمي أكثر قيم الطاقة أهمية لأنه يعد مرجعا تقارن بالنسبة له طاقة الإلكترونات والثقوب في مواد شبه موصلة ويرمز له ب (E_F) [1].

بمأن كثافة الإلكترونات في نطاق التوصيل تساوي كثافة الثقوب في نطاق التكافؤ في مادة نصف الناقل النقي فإن مستوى فيرمي يقع في المنتصف بين نطاق التوصيل ونطاق التكافؤ أي $n=p$ كما في الجزء (أ) من الشكل (6_1) .

من أجل شبه الموصل من نوع n المشوب بذرات مانحة فإن مستوى فيرمي يقع قريبا من نطاق التوصيل ، لأن كثافة الإلكترونات في نطاق التوصيل أكبر بكثير من كثافة الثقوب في نطاق التكافؤ $n \gg p$ ، ويعني هذا أنه توجد مستويات طاقة مشغولة بالإلكترونات فوق منتصف الطاقة المحظورة كما في الجزء (ب) من الشكل (6_1) ، ويقع مستوى فيرمي فوق نطاق التكافؤ وقريبا منه في شبه الموصل من نوع p كما في الجزء (ج) من الشكل (6_1) [1].



الشكل (6_1) موضع مستوى فيرمي لنصف الناقل أ- نقي ب- سالب ج- موجب

7.1 حاملات الشحنة في أشباه الموصلات:

الإلكترونات الموجودة في نطاق التوصيل والثقوب الموجودة في نطاق التكافؤ تسمى حاملات الشحنة.

يعتبر التوصيل في أشباه الموصلات إما حركة الإلكترونات الحرة في نطاق التوصيل أو حركة الثقب في نطاق التكافؤ، والتي هي في الواقع حركة إلكترونات التكافؤ إلى الذرات القريبة مما يؤدي إلى إحداث ثقب في الإتجاه المعاكس ، ينشأ التيار في نطاق التوصيل بواسطة الإلكترونات أما في شريط التكافؤ بواسطة الثقب [9].

1.7.1 حاملات الشحنة الأغلبية و الأقلية:

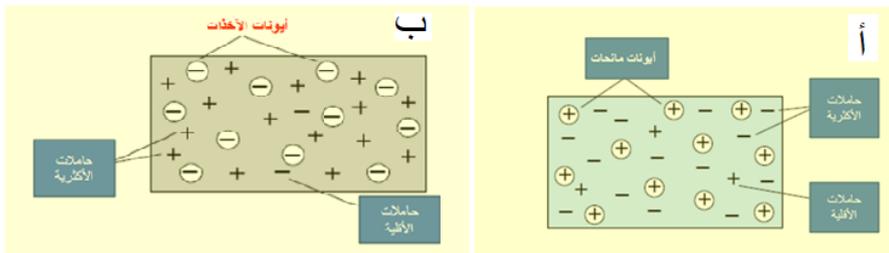
في أشباه الموصلات النقية ، تكتسب إلكترونات التكافؤ طاقة حركية كافية لتنتقل من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل ويكون مصدر هذه الطاقة ضوئياً أو حرارياً و نتيجة هذه الطاقة تغادر الإلكترونات ذراتها وتصبح إلكترونات حرة ضمن البنية البلورية و تترك وراءها ثقب إلكترونية موجبة .

1.1.7.1 حاملات الشحنة الأغلبية والأقلية في شبه الموصل من نوع N

في شبه الموصل من نوع (N_Type Semiconductor) تكون هناك زيادة في الإلكترونات المرشحة لتصبح إلكترونات حرة ناتجة من ذرات خماسية ، ويكون عدد هذه الإلكترونات كبير جداً مقارنة بعدد الثقب الموجودة في هذا النوع من أشباه الموصلات المطعمة. وبذلك نصف الإلكترونات الحرة بأنها حاملات الشحنة الأغلبية والثقب حاملات الشحنة الأقلية. [10] مثلما يبين الشكل (1-7-أ)

2.1.7.1 حاملات الشحنة الأغلبية والأقلية في شبه الموصل من نوع P

في شبه الموصل من نوع الموجب (p_Type Semiconductor) تكون هناك زيادة في عدد الثقب ناتجة من ذرات ثلاثية تكافؤ ، ويكون عدد هذه الثقب أكبر بكثير من عدد الإلكترونات فإن حاملات الشحنة الأغلبية هي الثقب والإلكترونية وحاملات الشحنة الأقلية هي الإلكترونات كما بشكل (1-7-ب).



الشكل (7_1) حاملات الشحنة في نصف ناقل أ- سالب ب- موجب

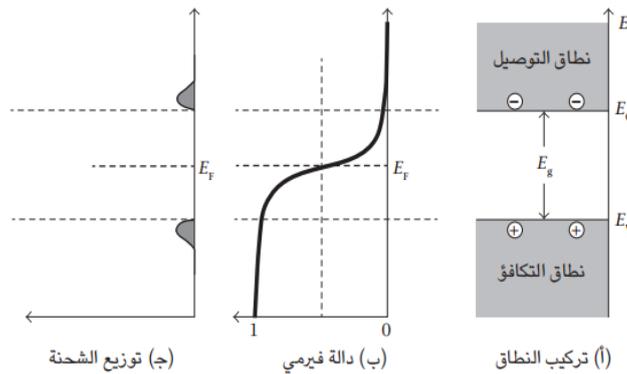
يبين الجدول (1-1) خلاصة مقارنة بين نوعين من أشباه الموصلات من حيث حاملات الشحنة الأغلبية والأقلية

الجدول (1_1) نوع حاملات الشحنة الأقلية والأغلبية لشبه الموصل المطعم

شبه الموصل المطعم	حاملات الشحنة الأغلبية	حاملات الشحنة الأقلية
النوع (N_ Type Semiconductor)	الإلكترونات	الثقوب الإلكترونية
النوع (P_ Type Semiconductor)	الثقوب الإلكترونية	الإلكترونات

8.1 تركيز الإلكترونات و الثقوب :

في أشباه الموصلات النقية وفي حالة درجات الحرارة المنخفضة تكون الموصلية قليلة جدا وذلك بسبب عدم وجود الإلكترونات ، ومع ارتفاع درجة الحرارة تثار الإلكترونات في نطاق التكافؤ لتنتقل إلى نطاق التوصيل كما بشكل (8_1) ، لذا فشبه الموصل له خاصية مهمة وهي أن الموصلية تعتمد بشكل أساسي على درجة الحرارة فكلما زادت درجة الحرارة زادت الموصلية [14].



الشكل (8_1) شبه موصل نقى

انطلاقاً من إحصاء فيرمي وديراك بالعلاقة (1_1) ، وعند درجة الحرارة T يكون تركيز الإلكترونات n_0 في الجزء السفلي من نطاق التوصيل بالعلاقة (2_1):

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/K_B T}} \dots \dots \dots (1_1)$$

$$n_0 = N_C f(E_C) \dots \dots \dots (2_1)$$

حيث N_C الكثافة الفعالة لحالات نطاق التوصيل B_C وتعطى بالعلاقة (3_1) :

$$N_C = 2 \left[\frac{2\pi m_n K T}{h^2} \right]^{3/2} \dots \dots \dots (3_1)$$

E_F : طاقة مستوى فيرمي

$K_B = 1.38 * 10^{-23} J/K$: ثابت بولتزمان

E_C : مستوى طاقة الجزء السفلي من نطاق التوصيل

$f(E_C)$: دالة توزع فيرمي الخاصة بالإلكترونات

m_n : الكتلة الفعالة للإلكترون ب kg .

$h = 6.62 * 10^{-34} m^2 Kg/s$: ثابت بلانك

T : درجة الحرارة المطلقة

$K_B T = 0.026 eV$: في درجة حرارة الغرفة

$E_C - E_F = 1 eV$ و

ويمكن أن نهمل العامل 1 في دالة فيرمي بدقة عالية لدينا :

$$f(E_C) = \frac{1}{1 + e^{(E_C - E_F)/K_B T}} \approx e^{-(E_C - E_F)/K_B T} \dots \dots \dots (4_1)$$

ومنه تركيز الإلكترونات في نطاق التوصيل هو :

$$n_0 = N_c e^{-(E_C - E_F)/K_B T} \dots \dots \dots (5_1)$$

يؤدي نقص الإلكترونات في نطاق التكافؤ إلى تكون حاملات الشحنة المتحركة (الثقوب) على نحو مماثل ،

ومنه تركيز الثقوب p_0 هو :

$$p_0 = N_V [1 - f(E_V)] \approx N_V e^{-(E_F - E_V)/K_B T} \dots \dots \dots (6_1)$$

حيث N_V الكثافة الفعالة لحالات نطاق التكافؤ E_V وتعطى بالعلاقة التالية :

$$N_V = 2 \left[\frac{2\pi m_p K T}{h^2} \right]^{3/2} \dots \dots \dots (7_1)$$

E_V هي مستوى طاقة الجزء العلوي من نطاق التكافؤ .

m_p : الكتلة الفعالة للثقوب ب kg .

في أشباه الموصلات النقية يجب أن يكون تركيز الإلكترونات يساوي تركيز الثقوب يمكن تعريف تركيز حامل

الشحنة النقي كمايلي :

$$n_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-E_g/2K_B T} \dots \dots \dots (8_1)$$

بالخاصية العامة :

$$n_0 p_0 = n_i^2 \dots \dots \dots (9_1)$$

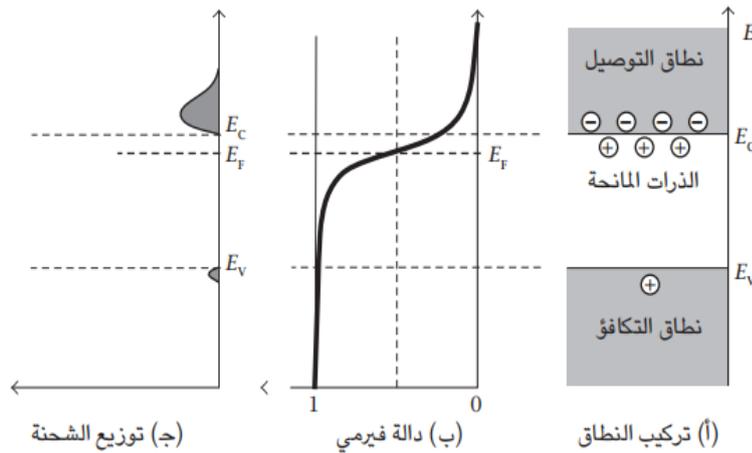
التي تكون صحيحة حتى بالنسبة لأشباه الموصلات التي توجد بها شوائب

ومنه نعرف أشباه الموصلات من النوع p و النوع n

في أشباه الموصلات غير النقية السالبة، يقع مستوى الطاقة الخاص بذرات المانحة مباشرة تحت الجزء السفلي من نطاق التوصيل وبسهولة تتأين الذرة الشائبة لإضافة إلكترون لنطاق التوصيل بالنسبة للسيليكون والجرمانيوم المطعمة بذرات (الأنتيمون ، الزرنيخ ، الفوسفور) ذرات مانحة فعالة . وتوزيع فيرمي لايزال صالحا ، لكن مستوى فيرمي قد تحرك باتجاه نطاق التوصيل ، كما هو موضح بالشكل (9_1).

نفترض أن تركيز الذرات المانحة هو N_D فإذا كانت درجة الحرارة عالية بنحو معقول، فيمكن أن يحدث تأين لكل الذرات المانحة يساوي تقريبا تركيز الإلكترونات الحرة n_n في شبه الموصل من نوع n . [14]

$$n_n = N_D \dots \dots \dots (10_1)$$

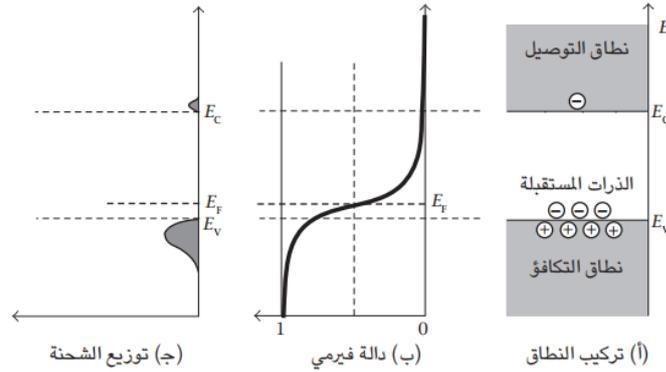


الشكل (9_1) شبه موصل من نوع n

في أشباه الموصلات غير النقية الموجبة، يقع مستوى الطاقة الخاص بذرات المستقبلية مباشرة فوق الجزء العلوي من نطاق التكافؤ، و يمكن بسهولة لذرات المستقبلية أن تحجز إلكترونات في نطاق التكافؤ تاركة ثقب في

هذا النطاق. لا يزال مستوى فيرمي صالحا لكن مستوى فيرمي قد تحرك باتجاه نطاق التكافؤ كما هو موضح في الشكل (10_1) ، نفترض أن تركيز الذرات المستقبلية هو N_A ودرجة الحرارة عالية ، فيمكن أن تصبح كل الذرات المستقبلية أيونا سالبا يساوي تركيز الثقوب p_p في شبه الموصل من نوع p [14].

$$p_p = N_A \dots \dots \dots (11_1)$$



الشكل (10_1) شبه موصل من نوع p

في كلتا الحالتين يساوي حاصل ضرب تركيزي الإلكترونات الحرة والثقوب مربع تركيز حامل الشحنة النقي:

$$n_n p_n = p_p n_p = n_i^2 \dots \dots \dots (12_1)$$

p_n : تركيز الثقوب في شبه الموصل من النوع n حامل أقلية

n_p : تركيز الإلكترونات في شبه الموصل من النوع p حامل أقلية

9.1 آلية النقل الكهربائي في أشباه الموصلات :

توجد آلياتان لنقل التيار الكهربائي

1.9.1 تيار الإنجراف Drift current:

تنجراف الثقوب مع جهة الحقل والإلكترونات في الجهة المعاكسة وبذلك يكون تيار النقل بالإنجراف الناتج عنهما في جهة واحدة ويساوي مجموع مساهمتهما [1].

تعطى كثافة تيار تساوي مجموع تيارتي الإنجراف للإلكترونات والثقوب بالعلاقة التالية :

$$J = J_n + J_p = e(n\mu_n + p\mu_p)E = \sigma_n E + \sigma_p E \dots \dots (13_1)$$

حيث:

$$n : \text{كثافة الإلكترونات} \quad \mu_n : \text{حركية الإلكترونات وحدتها } \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}\right)$$

$$p : \text{كثافة الثقوب} \quad \mu_p : \text{حركية الثقوب وحدتها } \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}\right)$$

$$\sigma_n : \text{الناقلية النوعية للإلكترونات وحدتها } (s.m^{-1})$$

$$\sigma_p : \text{الناقلية النوعية للثقوب وحدتها } (s.m^{-1})$$

$$E : \text{الحقل الكهربائي المطبق وحدته } (v/m)$$

بما أن $n \gg p$ في نصف الناقل من النوع N فإن كثافة تيار الإنجراف تأخذ الشكل التالي :

$$J = ne\mu_n E \dots \dots \dots (14_1)$$

وبما أن $p \gg n$ في نصف الناقل من نوع p فإن كثافة تيار الإنجراف تأخذ الشكل التالي

$$J = pe\mu_p E \dots \dots \dots (15_1)$$

2.9.1 تيار الانتشار Diffusion Current :

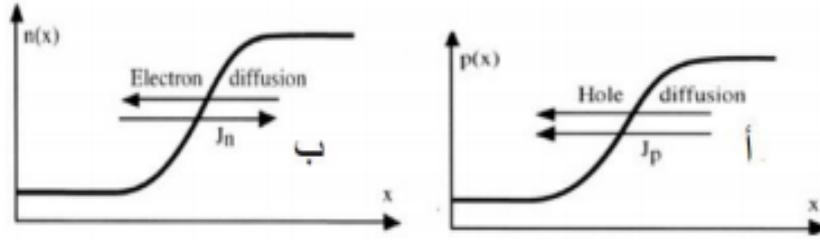
نعتبر قطعة من شبه موصل من النوع N والتي يوجد فيها لسبب ما تدرج في تركيز الإلكترونات ، وقياسا مع قوانين الانتشار في الغازات أو في السوائل يمكن القول أن الإلكترونات سوف تنتشر من المنطقة الأعلى تركيز إلى الأقل تركيز كما هو موضح في الشكل (11_1) يتناسب تدفق الإلكترونات F_n الناتج عن عملية الانتشار طرديا مع تدرج تركيز الإلكترونات $\frac{dn}{dx}$ عند ضرب التدفق هذا في شحنة الإلكترون $-q$ فإن كثافة تيار الانتشار للإلكترونات تساوي كمايلي [15]:

$$F_n = -D \frac{dn}{dx} \rightarrow J_n = -qF_n = qD_n \frac{dn}{dx} \dots \dots \dots (16 - 1)$$

وبطريقة مماثلة يؤدي تدرج تركيز الثقوب إلى تيار إنتشار الثقوب وبما أن كل ثقب تحمل شحنة موجبة +q فإنه يمكن كتابة:

$$F_p = -D \frac{dp}{dx} \rightarrow J_p = +qF_p = -qD_p \frac{dp}{dx} \dots \dots \dots (17 - 1)$$

حيث D_n و D_p ثوابت تسمى معاملات الانتشار للإلكترونات والثقوب على التوالي ويتعلق هذا الثابت بنوع المادة وبدرجة الحرارة وكذلك بنوع حامل الشحنة [1].



الشكل (11_1) تدرج حاملات الشحنة والتيارات الإنتشار الناتجة في بلورة

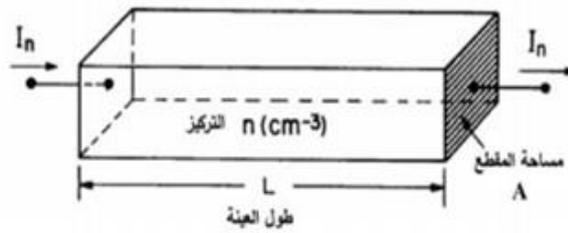
أ- من النوع P ب- من النوع N [5].

10.1 المقاومة النوعية والتوصيلية النوعية لشبه الموصل :

1.10.1 التوصيلية النوعية :

نعتبر عينة لنصف ناقل على الهيئة المبينة في الشكل (12_1) ، بفرض أن مساحة مقطع العينة هو A وطولها L وأن تركيز حاملات الشحنة في المادة هو n، وبفرض أنه تم تطبيق مجال كهربائي شدته E على العينة فإنه يمكن حساب كثافة التيار المتدفق في العينة J_n ، بواسطة مجموع حواصل ضرب الشحنة (e) في السرعة لكل الإلكترونات الموجودة في وحدة الحجم (n) [17].

$$J_n = \frac{I_n}{A} = \sum_{i=1}^n ev_i = -env_n = en\mu_n E \dots \dots \dots (18_1)$$



الشكل (12_1): توصيل التيار الكهربائي في نصف ناقل مطعم بشكل متجانس [16]

كما نعلم أنه يتم توصيل الكهربائي في شبه الموصل بواسطة كل من الإلكترونات والثقوب ، وبالتالي تكون عبارة التيار الكلي كالتالي :

$$J = J_n(\text{electrons}) + J_p(\text{hols}) = (en\mu_n + eqp\mu_p)E \dots \dots (19_1)$$

يتضح من المعادلة أن كثافة التيار تتناسب مع شدة المجال الكهربائي : ويعرف ثابت التناسب في هذا المعادلة بالتوصيلية النوعية σ ووحدتها ($s. cm^{-1}$)، وهكذا يمكن كتابة التوصيلية المادة على الصورة :

$$\sigma = (en\mu_n + ep\mu_p) \dots \dots \dots (20_1)$$

2.10.1 المقاومة النوعية :

جرى العرف على وصف الخصائص الكهربائية للمادة بمصطلح آخر أكثر شيوعاً وهو المقاومة النوعية ρ والذي يساوي مقلوب التوصيلية الكهربائية ، وبالتالي يمكن كتابة عبارة المقاومة ρ بالعبارة التالية [16]:

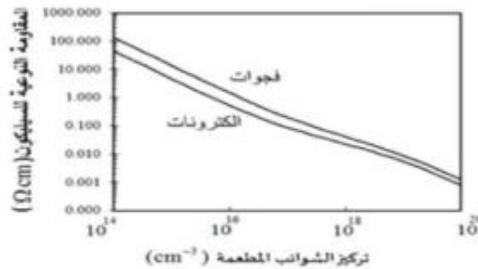
$$\rho = [e(n\mu_n + p\mu_p)]^{-1} \dots \dots \dots (21_1)$$

بحيث أنه في شبه الموصل الذاتي (النقي) يكون التوصيل بواسطة أحد أنواع حاملات الشحنة (الإلكترونات أو الثقوب) هو الغالب ، ففي حالة شبه الموصل من النوع السالب تعطى المقاومة النوعية بالمعادلة

$$(22_1) \text{ في حالة شبه الموصل من نوع الموجب بالمعادلة تعطى بالمعادلة (23_1)}$$

$$\rho = (en\mu_n)^{-1} \dots \dots \dots (22_1)$$

$$\rho = (ep\mu_p)^{-1} \dots \dots \dots (23_1)$$



الشكل (13_1) : المقاومة النوعية لنصف ناقل (السيليكون Si) من النوع N ومن النوع P

كدالة في تركيز التطعيم [5]

11.1 معادلات نقل الشحنة Charge Transfer Equation:

معادلات النقل هي مجموعة من المعادلات تحكم سلوك مواد شبه الموصلات وتتضمن معادلات تيار الإنجراف والانتشار ومعادلة بواسون ومعادلات الإستمرارية .

1.11.1 معادلات الانجراف والانتشار

كثافة التيار الكلي للثقوب في اشباه الموصلات هي عبارة عن مجموعة مركبات تيار الإنجراف وتيار الانتشار للثقوب ، وبالمثل فإن كثافة التيار الكلي للإلكترونات في اشباه الموصلات هي عبارة عن مجموع مركبات تيار الإنجراف وتيار الانتشار للإلكترونات [5].

$$J_n = q\mu_n nE + qD_n \frac{dn}{dx} \dots \dots \dots (24_1)$$

$$J_p = q\mu_p pE - qD_p \frac{dp}{dx} \dots \dots \dots 25_1$$

الخلاصة : يمكن الحصول على الكثافة الكلية للتيار المار عند أي نقطة في شبه الموصل بجمع كثافات تيار الثقوب وتيار الإلكترونات على الصورة : $J = J_N + J_P$ [15] .

q : شحنة الإلكترون

μ_p : ثابت التناسب يمثل حركية النواقل للثقوب

μ_n : ثابت التناسب يمثل حركية النواقل للإلكترونات

p : تركيز الثقوب

E : الحقل الكهربائي

D_p : ثابت كثافة الثقوب

D_N : ثابت كثافة الإلكترونات

$\frac{dp}{dx}$: تدرج كثافة الثقوب بالنسبة للمسافة (الميل)

$\frac{dN}{dx}$: تدرج كثافة الإلكترونات بالنسبة للمسافة (الميل)

2.11.1 معادلة بواسون Poisson's Equation:

بالاعتماد على معادلات ماكسويل [16].

$$\begin{aligned} \nabla^2 \phi(x, y, z) &= \text{div}(\text{grad}(\phi(x, y, z))) \\ &= -\text{div}E = -\frac{\rho(x, y, z)}{\epsilon_s} = -\frac{q}{\epsilon_s} (p - n + N_d^+ - N_a^-) \dots (26_1) \end{aligned}$$

حيث ϵ_s : هي سماحية نصف الناقل .

ρ : تمثل كثافة شحنة الفضاء المحلية .

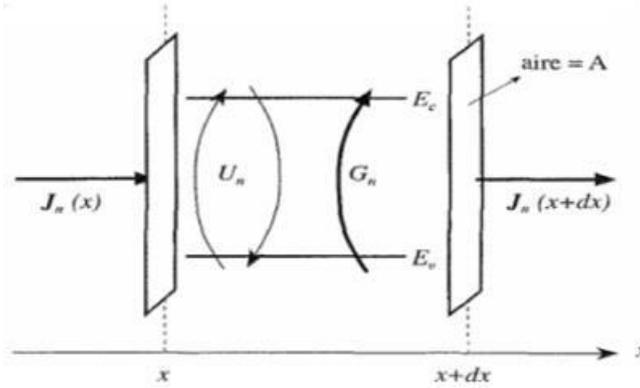
إذا كانت جميع الذرات المانحة والآخذة متأينة كما هو الحال عند درجة حرارة الغرفة يتم الحصول على

معادلة بواسون بالشكل [5]:

$$\nabla^2 \phi(x, y, z) = -\frac{q}{\epsilon_s} (p - n + N_d^+ - N_a^-) \dots \dots (27_1)$$

3.11.1 معادلة الإستمرارية continuity Equations :

لإشتقاق المعادلات التي تصف تغير عدد حاملات الشحنة نتيجة أحداث التوليد وإعادة التركيب ، سنعتبر حجم تفاضلي من مادة شبه موصلة الشكل (14_1) وبفرض أن مساحة المقطع للحجم قيد النظر هو A مع طول dx ، تكون كثافة التيار الإلكتروني الذي يدخل الحجم هي $J_n(x)$ وكثافة التيار المتدفق للخارج منه هي $J_n(x + dx)$ [5].



الشكل (14_1) : حجم أولي مستخدم لإشتقاق معادلة الإستمرارية [5].

في حالة تدفق التيار في بعد واحد اتجاه $-x$ فإن التغير في عدد الإلكترونات الحرة في الحجم $A dx$ يعطى كدالة في الزمن بواسطة عدد الإلكترونات الداخلة للحجم مطروحا منه عدد من الإلكترونات المتدفقة الخارجة من الحجم زائد عدد من الإلكترونات المتولدة مطروحا منه عدد من الإلكترونات المعاد اتحادها على الصورة التالية [5].

$$A \frac{\partial n}{\partial t} dx = A \left(\frac{J_n(x)}{-q} - \frac{J_n(x + dx)}{-q} \right) + A(G_n - U_n) dx \dots \dots (28_1)$$

يمكن كتابة $J_n(x + dx)$ على الصورة متسلسة :

$$J_n(x + dx) = J_n(x) + \frac{dJ_n(x)}{dx} dx + \dots \dots \dots (29_1)$$

و باستخدام النتيجة الأخيرة يمكن إعادة كتابة المعادلة (26_1) للحصول على معادلة الإستمرارية للإلكترونات على الصورة :

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q} \frac{\partial J_n(n)}{\partial x} + (G_n - U_n) \dots \dots \dots (30_1)$$

وبحسابات مماثلة بالنسبة للثقوب نحصل على معادلة الإستمرارية الخاصة بها كالتالي :

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{1}{q} \frac{\partial J_p(p)}{\partial x} + (G_p - U_p) \dots \dots \dots (31_1)$$

U_n : معدل التوليد /إعادة الإتحاد الذاتية للإلكترونات .

U_p : معدل التوليد /إعادة الإتحاد الذاتية للثقوب .

G_n : معدل التوليد الخارجي للإلكترونات ($cm^{-3}S^{-1}$) .

G_p : عدل التوليد الخارجي للثقوب $cm^{-3}S^{-1}$

$J_n(x)$: كثافة التيار الالكتروني .

12.1 الخاتمة :

من خلال هذا الفصل تمكنا من معرفة اشباه الموصلات النقية و المطعمة و علاقة ذلك بحزم الطاقة التي من خلالها يمكن التمييز بين النقي و المطعم ثم بين المطعم السالب و الموجب . تناولنا تركيزي حاملات الشحنة (الالكترونات و الثقوب) في انصاف النواقل المختلفة، و تطرقنا الى نوعي التيار الكهربائي الانجراف و الانتشار و المعادلات التي تحكم الية النقل الكهربائي.

الفصل الثاني
الصيام الثنائي

1.2 المقدمة :

الصمام الثنائي أو ثنائي المساري أو اختصاراً الثنائي أو الديود بالإنجليزية:(Diode) في الكهرباء والإلكترونيات هو نبيلة إلكترونية ينحصر دوره في السماح للتيار الكهربائي بالمرور في اتجاه واحد فقط. قبل اكتشاف أشباه الموصلات كانت أنابيب إلكترونية كبيرة تقوم بهذه المهمة وتسمى صمامات [17].

2.2 الصمام الثنائي :

هو مركب إلكتروني يحتوي على طرفين (المصعد والمهبط) يسمح للتيار بالمرور في اتجاه واحد.

1.2.2 تركيب الصمام الثنائي :

يتكون الثنائي من شريحتين من المواد نصف ناقلة إحداهما سالبة (N) والأخرى موجبة (p) تفصل بينهما منطقة فاصلة تدعى منطقة الاستنزاف. وتشير الأسهم الموضحة في الشكل (1-2) إلى اتجاه حركة كل من تيار الثقوب وتيار الإلكترونات [8].



الشكل (1-2): بنية الصمام من الداخل

2.2.2 شكل ورمز الصمام الثنائي

يبين الشكل (2-2) رمز الصمام الثنائي. و يبين الشكل (3-2) الشكل الخارجي للصمام الثنائي [22].



الشكل (3-2): شكل الصمام الثنائي



الشكل (2-2): رمز الصمام الثنائي

3.2 خواص الثنائي والمنحنى المميز:

يمرر الثنائي تياراً عندما يكون موصلاً في الإتجاه الأمامي. ولا يمرر تياراً عندما يكون موصلاً في الإتجاه العكسي

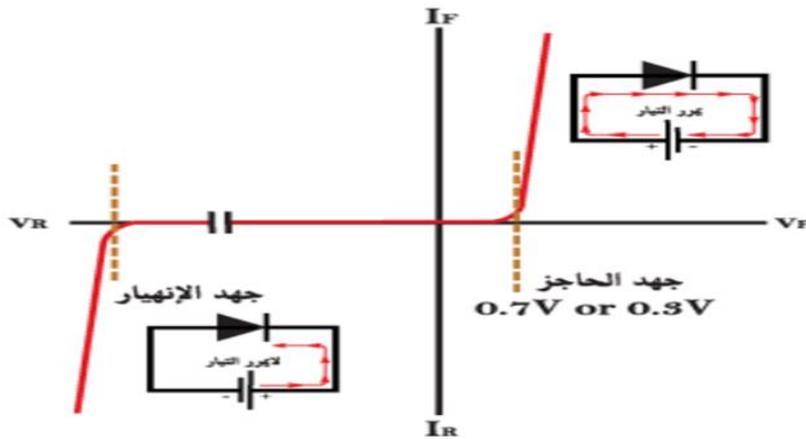
ويوضح الشكل (2-4) منحنى خواص الثنائي في الحالتين والذي يمكن إيجازه في النقاط التالية :

1.3.2 يمرر التيار الكهربائي :

يسمح الثنائي للتيار بالمرور في الإتجاه الأمامي عندما يتعدى الجهد الأمامي ما يسمى بالجهد الحاجز والذي يبدأ بعده الثنائي في التوصيل. وتكون قيمتا الجهد الحاجز 0.7 فولت في ثنائيات السليكون و0.3 فولت في ثنائيات الجرمانيوم .

2.3.2 لا يمرر التيار الكهربائي :

الجزء السفلي من المنحنى يمثل حالة التوصيل العكسي حيث يبقى التيار تقريبا مساويا للصفر إلى أن يصل الجهد إلى جهد الانهيار حيث يمر تيار عكسي شديد إذا لم يحد يمكنه أن يتلف الثنائي. [19].



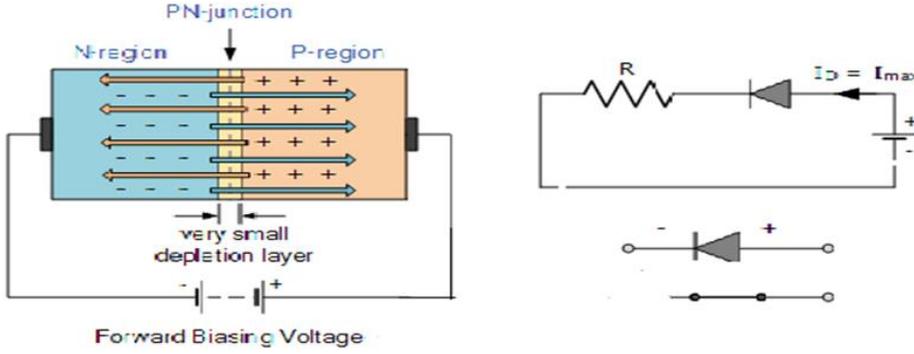
الشكل (2-4): المنحنى المميز للصمام الثنائي

4.2 مبدأ اشتغال الصمام :

1.4.2 الإستقطاب الأمامي :

عندما نقوم بتوصيل الديود بالبطارية كما في الشكل بحيث يكون الجانب (p) من الديود متصلاً بالقطب الموجب من البطارية والجانب (N) متصلاً بالقطب السالب، عندها الإلكترونات التي في الجزء السالب تتنافر

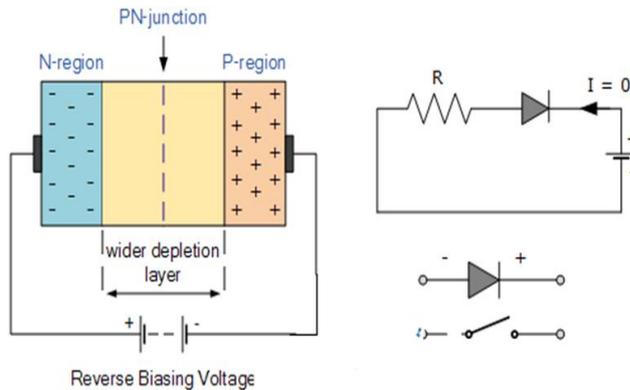
مع القطب السالب للبطارية وتندفع لعبور الوصلة إلى الجانب (P). بينما الثقوب تتنافر مع القطب الموجب للبطارية وتندفع لعبور الوصلة إلى الجانب (N). وتصبح منطقة الاستنزاف بمثابة حاجزاً بسيطاً (يضيق الحاجز) في طريق حركة الإلكترونات، ولذلك فإن الإلكترونات تحتاج إلى فرق جهد بسيط يمكنها من تجاوز جهد الحاجز، ففي حالة مادة السليكون، جهد الحاجز مقداره 0,7 بينما قيمته 0,3 في حالة الجرمانيوم .



الشكل (2-5): دائرة الانحياز الامامي للديود

2.4.2 الإستقطاب العكسي:

إذا تم توصيل الديود كما في الشكل ، بحيث يكون الجانب (N) من الديود متصلاً بالقطب الموجب من البطارية والجانب (P) من الديود متصلاً بالقطب السالب من البطارية، لذا فإن الإلكترونات التي في الجزء السالب تتجاذب مع القطب الموجب للبطارية وتبتعد عن الوصلة من الجانب (N). بينما الثقوب تتجاذب مع القطب السالب للبطارية وتبتعد عن الوصلة من الجانب (P). و نتيجة لذلك، فإن منطقة الاستنزاف سوف تتسع اتساعاً كبيراً وتشكل حاجزاً كبيراً أمام تحرك الإلكترونات فلا تستطيع اجتيازه. وبالطبع، فإنه لن يمر التيار الكهربائي في الدائرة، وتسمى هذه الحالة بالانحياز العكسي. في هذه الحالة يمر تيار بسيط نتيجة حركة شحنات الأقلية يسمى تيار التسريب [18].



الشكل (2-6): دائرة الإنحياز العكسي للديود

5.2 مقارنة بين ديودات السيلكون وديودات الجرمانيوم :

ديودات الجرمانيوم هي الديودات المصنوعة من عنصر الجرمانيوم، وديودات السيلكون فهي مصنوعة من عنصر السيلكون والجدير بالذكر أنّ كلا العنصرين يؤدّيان نفس الوظيفة أيّ يسمحان للتيار الكهربائي بالمرور عبرهما في اتجاه واحد، ولكن الفرق الرئيسي بين ديودات الجرمانيوم والسيلكون هو الجهد الذي يبدأ عنده التيار الكهربائي بالتدفق بحرية عبر الديود، حيث يبدأ ديود الجرمانيوم عادةً بتوصيل التيار الكهربائي عندما يصل الجهد المطبق عبر الديود إلى 0.3 فولت، أمّا بما يتعلق بديودات السيلكون فإنّها تتطلب جهدًا إضافيًا عن ديودات الجرمانيوم لتقوم بتوصيل التيار الكهربائي، أيّ أنّها تحتاج 0.7 فولت لإنشاء حالة الاستقطاب الأمامي في ديود السيلكون. [21].

6.2 مقاومات الديود:

1.6.2 المقاومة الستاتيكية :

هي المقاومة التي يقدمها الصمام عندما يكون الجهد المطبق هو جهد التيار المستمر. و تحسب باستخدام قانون اوم والتي تساوي النسبة بين فرق الجهد بين طرفي الديود (V_D) والتيار المار فيه (I_D) أي أن :

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} \dots \dots \dots (1 - 2)$$

2.6.2 المقاومة الديناميكية :

هي المقاومة التي يقدمها الصمام عندما يكون الجهد المطبق هو جهد التيار المتناوب. وتعرف بأنها النسبة بين تغير فرق الجهد بين طرفي الديود (ΔV_D) وتغير التيار المار فيه (ΔI_D) أي ان :

$$r_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \dots \dots \dots (2 - 2)$$

3.6.2 المقاومة المتوسطة :

عندما تكون قيمة التيار المتناوب قيمة كبيرة نسبيًا نحصل على جهد متأرجح. تسمى المقاومة التي يقدمها التيار في هذه الحالة بالمقاومة المتوسطة وتعرف بأنها النسبة بين تغير فرق الجهد بين طرفي الديود (ΔV_D) وتغير التيار المار فيه (ΔI_D) بين نقطتين معينتين من نقاط عمل الديود [20] أي ان :

$$r_{av} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \dots \dots \dots (3 - 2)$$

7.2 الدوائر المكافئة لدايود :

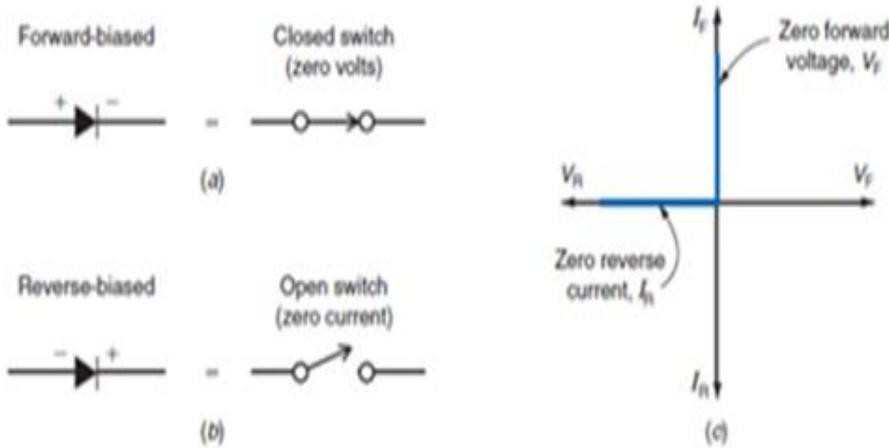
1.7.2 تقريب الثنائي Approximations Diode:

هنالك ثلاثة تقريبات يمكن استخدامها لتمثيل الثنائي في الدوائر الكهربائية لتحليل الثنائي. واختيار أحد هذه التقريبات يعتمد على درجة دقة التحليل المطلوبة.

1.1.7.2 التقريب الأول :

التقريب الأول يعتبر الثنائي في حالة الانحياز الأمامي مثل مفتاح مغلق له هبوط جهد صفر فولت، كما موضح في الشكل (7-2). وبالمثل يعتبر الثنائي في حالة الانحياز العكسي مثل مفتاح مفتوح يمر عبره تيار قيمته صفر أمبير كما موضح في الشكل (a-7-2) الشكل. (c-7-2) يوضح خصائص التمثيل للثنائي بهذا التقريب.

يسمي هذا التقريب الثنائي بالتقريب المثالي و يستخدم عادة في حالة الحاجة فقط لتوضيح فكرة عامة عن تيار وجهد الدائرة.

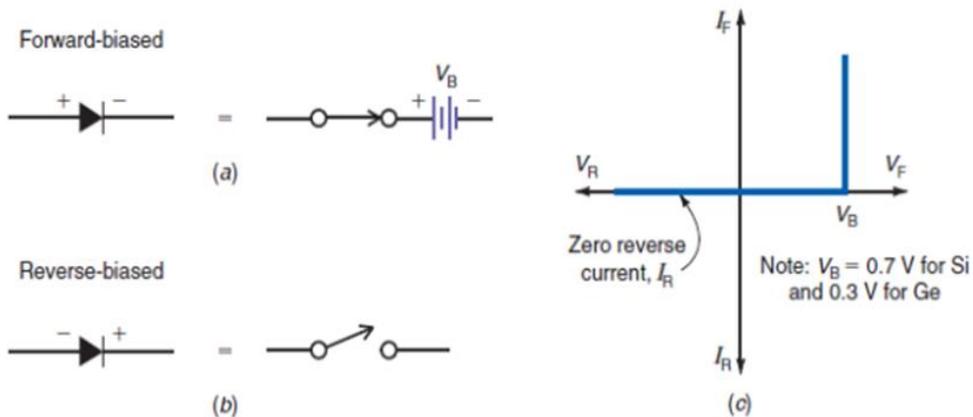


الشكل (7-2): التقريب الأول للثنائي

2.1.7.2 التقريب الثاني:

التقريب الثاني يعتبر الثنائي في حالة الانحياز كثنائي مثالي على التوالي مع بطارية. كما هو موضح في الشكل (8-2). لثنائي السيلكون يكون جهد البطارية هو 0.7 فولت و لثنائي الجيرمانيوم 0.3 فولت وهي نفس قيمة جهد الحاجز للوصلة الثنائية. أما في حالة الانحياز العكسي كمفتاح مفتوح .

الشكل (c-8-2) يعرض أيضا خصائص الثنائي بهذا التقريب. يستخدم التقريب الثاني عند الإحتياج لقيم أكثر دقة .



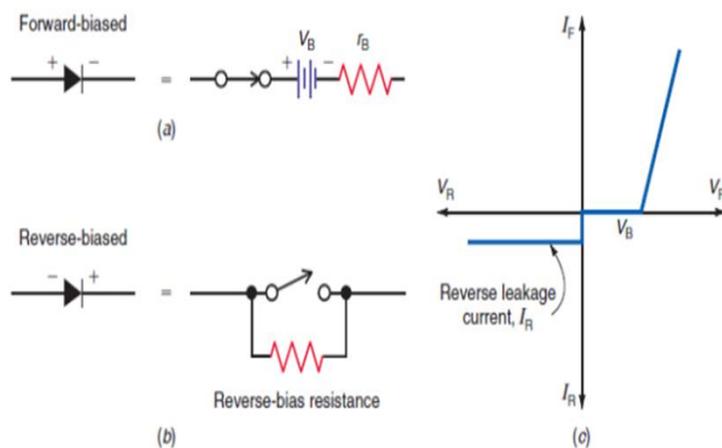
الشكل (2-8): التقريب الثاني للثنائي

3.1.7.2 التقريب الثالث:

التقريب الثالث يستخدم المقاومة الكلية للثنائي r_B ، قيمة هذه المقاومة تعتمد علي مستوى التطعيم وحجم الجانب الموجب والجانب السالب. التقريب الثالث موضح في الشكل (2-9) هبوط الجهد عبر الثنائي يحسب من العلاقة التالية :

$$V = V_B + I r_B \dots \dots \dots (4_2)$$

القيمة الكلية للمقاومة r_B تزيد من جهد الانحياز الامامي علي طرفي الثنائي مع ازدياد قيمة التيار [16].



الشكل (2-9): التقريب الثالث للثنائي

8.2 انواع الديود:**1.8.2 ديود زينر:**

إنه النوع الأكثر فائدة من الصمام الثنائي لأنه يمكن أن يوفر جهدًا مرجعيًا ثابتًا. يتم تشغيله في انحياز عكسي وينهار عند وصول جهد معين. إذا كان التيار الذي يمر عبر المقاومة محدودًا ، يتم إنشاء جهد ثابت. تستخدم ثنائيات زينر على نطاق واسع في إمدادات الطاقة لتوفير جهد مرجعي..

2.8.2 ديود السعة المتغيرة:

هو الصمام الثنائي "الدايود" الذي تختلف سعته الداخلية له تبعاً لاختلاف الجهد العكسي، يُعرف هذا النوع من الصمام الثنائي باسم الصمام الثنائي (Varactor). يتم استخدامه لتخزين الشحنة.

3.8.2 ديود النفق :

ان الصمام الثنائي للنفق أو الصمام الثنائي Esaki هو نوع من أشباه الموصلات قادر على التشغيل السريع للغاية ، في منطقة تردد الموجات الصغيرة (حتى 300 جيجاهيرتز) ، والذي أصبح ممكنًا باستخدام التأثير الميكانيكي الكمومي الذي يسمى النفق.

4.8.2 ديود الضوئي :

يمكن للصمام الثنائي الضوئي ان ينشئ تيارا من خلال تدفق كمية صغيرة من الضوء. هذه مفيدة جدًا في الكشف عن الضوء. حيث يستخدم الصمام الثنائي التحيز العكسي ويستخدم في الخلايا الشمسية التي تستخدم لتوليد الكهرباء.

5.8.2 ديود الإنبعاث الضوئي :

عندما يمر التيار الكهربائي بين الأقطاب الكهربائية عبر هذا الصمام الثنائي ، يتم إنتاج الضوء. بمعنى آخر ، يتم إنشاء الضوء عندما تمر كمية كافية من تيار إعادة التوجيه خلاله. في العديد من الثنائيات ، لا يكون هذا الضوء المتولد مرئيًا لأنها مستويات تردد لا تسمح بالرؤية. المصابيح متوفرة بألوان مختلفة. توجد مصابيح LED ثلاثية الألوان يمكنها إصدار ثلاثة ألوان في وقت واحد. يعتمد اللون الفاتح على ثقب الطاقة لأشباه الموصلات المستخدمة. [19].

9.2 تطبيقات الصمام الثنائي :**1.9.2 دائرة تقويم النصف موجي:**

هي من أحد تطبيقات الديود المستخدمة في بعض الدوائر الإلكترونية، حيث تعمل على تقويم نصف الموجة للتيار المتردد (متغير القيمة والاتجاه)، وتحويله إلى تيار مستمر (متغير القيمة فقط).

2.9.2 دائرة تقويم الموجة الكاملة باستخدام صمامين:

هو نوع آخر من تطبيقات الديود، حيث تحتاج لمحول ذو نقطة وسطى، ويعمل الديود الأول على تمرير نصف الموجة الموجبة، بينما يقوم الديود الثاني بتمرير نصف الموجة السالبة، بحيث يصبح الخرج موجب دائماً. ومن عيوبها الكفاءة المنخفضة.

3.9.2 دائرة تقويم الموجة الكاملة باستخدام اربع صمامات:

هي من أشهر وأهم التطبيقات التي تستخدم بكثرة في أغلب الدوائر الإلكترونية، حيث يقوم الصمامان الأول والثاني بتمرير نصف الموجة الموجبة، بينما يمرر الصمامان الثالث والرابع نصف الموجة السالبة، بحيث يصبح خرج الموجة موجب دائماً.

4.9.2 دايودات الألواح الشمسية:

يتكون من مجموعة من الخلايا الشمسية، وكل مجموعة من الخلايا توصل معاً على التوالي لإخراج جهد معين، ثم يتم توصيل الديود الواحد على التوالي مع هذه المجموعة المكونة من الخلايا وتتكرر مع باقي المجموعات الأخرى للوح الشمسي وتعمل دايودات الألواح الشمسية على وظيفتين وهما:

- خفض نسبه فقد إنتاجية الألواح الشمسية عند تعرضه للتضليل.
- العمل على منع البقع الساخنة الناتج عن التضليل.

5.9.2 دائرة تشغيل محرك DC باتجاه واحد فقط:

حيث يتم توصيل طرف الأنود للديود بموجب مصدر الجهد المستمر، بينما يوصل طرف الكاثود بطرف محرك التيار المستمر، وهنا يقوم الديود بوظيفة العمل على منع تشغيل المحرك عند قلب طرف الموجب مكان السالب. وذلك لأن الديود يسمح بمرور التيار باتجاه واحد فقط.

10.2 الخاتمة :

تمكننا من خلال هذا الفصل من معرفة الصمام الثنائي ذي الوصلة من حيث التركيب و مبدأ الاشتغال ،
ثم نوعي التوصيل من خلال الانحياز المباشر و العكسي و البيانات المميزة في الاتجاهين ثم المقاومات المرافقة
و انواع الصمامات و اهم التطبيقات [21] .

الفصل الثالث

تطبيق : صمام ثنائي السيليكون

1.3 مقدمة :

يعتبر الديود من أبسط العناصر الالكترونية والذي يستخدم لسماح للتيار الكهربائي بالمرور في اتجاه واحد ومنعه في الاتجاه المعاكس في هذا الفصل نقوم بمحاكاة الصمام للحصول على البيانات المميزة الخاصة ($V-I$) لمعرفة كيف يتطور التيار I بدلالة V وذلك بتركيب دائرة مناسبة و دراسة كيفية تأثير تغيير درجة الحرارة على الخصائص المميزة. اعتمدنا في دراستنا على المحاكاة لا نها تعطي تجارب حية في بيئات آمنة و ذات دقة عالية. لا تتمكن من الحصول عليها عن طريق المخابر التقليدية. عند تغيير المدخلات في المحاكاة نلاحظ تغيير فوري للخروج. و كان الاختيار على برنامج Pspice .

2.3 لمحة على برنامج PSpice:

برنامج **PSpice** من أهم البرامج في محاكاة الدوائر الإلكترونية ، و يعني الحرف P Personal SPICE و كلمة SPICE هي اختصار للكلمات التالية Simulated Program with Integrated Circuit Emphasis. من خلال برنامج **PSpice** يمكن إجراء التحليل لأنواع مختلفة من الدوائر الكهربائية والإلكترونية بما في ذلك الاستجابة في نطاق الزمن time domain، الاستجابة لتردد الإشارة الصغيرة small signal frequency response، وتبديد الطاقة الكلي total power dissipation، وتحديد الجهد العقدي وتفرع التيار في الدائرة ، détermination of nodal voltages and branch current in a circuit ، والتحليل العابر transient analysis ، وتحديد نقطة التشغيل في الترانزستورات ، détermination of operating point of transistors ، وتحديد انتقال الوظائف déterminations of transfer functions ، ... الخ. صمم هذا البرنامج بهذه الطريقة بحيث يمكنه محاكاة تشغيل العديد من الدوائر المختلفة والتي تشمل الترانزستورات، والمكبرات العملية (op - operational amplifiers) ، وغيرها. كذلك يحتوي البرنامج على نماذج لعناصر الدائرة الخاملة (passive elements) وكذلك النشطة (active elements) [17]. PSpice هو برنامج محاكاة بمساعدة الكمبيوتر يمكنك من تصميم دائرة ثم محاكاة التصميم على الكمبيوتر. قام مختبر أبحاث الإلكترونيات بجامعة كاليفورنيا بتطويره وجعله متاحًا للجمهور في عام 1975.

PSpice هو برنامج للأغراض العامة مصمم لمجموعة واسعة من محاكاة الدوائر بما في ذلك محاكاة الدوائر غير الخطية و خطوط النقل و الضوضاء و التشويه و الدوائر الرقمية و الدوائر الرقمية و التناظرية المختلطة.

يمكنه إجراء تحليل التيار المستمر، وتحليل الحالة الجيبية المشتق (AC) ، والتحليل العابر، وتحليل سلسلة فورييه.

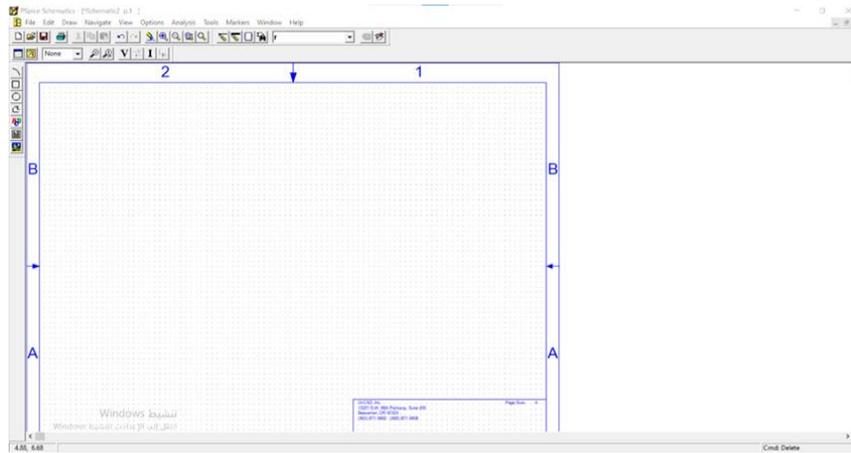
يعتمد العمل باستخدام PSPICE على 3 خطوات أساسية متتالية:

الخطوة 1 : يرسم المستخدم الدائرة في شكل تخطيطي أو برنامج يريد محاكاته.

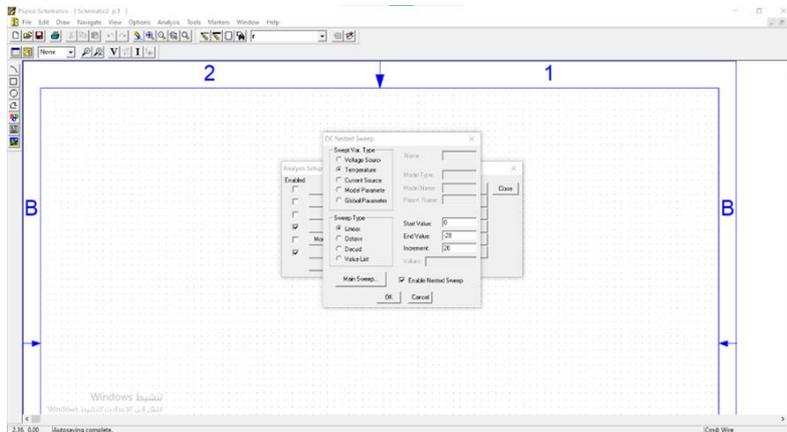
الخطوة 2 : يحدد المستخدم نوع التحليل المطلوب، ويوجه PSPICE لإجراء هذا التحليل. يمكن أن يكون هذا على سبيل المثال تحليل التيار المستمر وتحليل التيار المتردد والتحليل العابر.

الخطوة 3: يوجه المستخدم الكمبيوتر لطباعة أو رسم نتائج التحليل في هذه الخطوة يرى المستخدم أن النتائج الرسومية للتحليل قد تم إجراؤها. على سبيل المثال يمكنه رؤية الرسم البياني لجهد الخرج مقابل تيار الخرج (V مقابل I) ، أو أي بيانات يريد تحليلها [18].

يبين الشكل (1_3) الواجهة الرئيسية لبرنامج PSPICE



الشكل (1_3) النافذة الرئيسية للبرنامج



(2_3) نافذة تحديد خواص التيار المار في الدارة

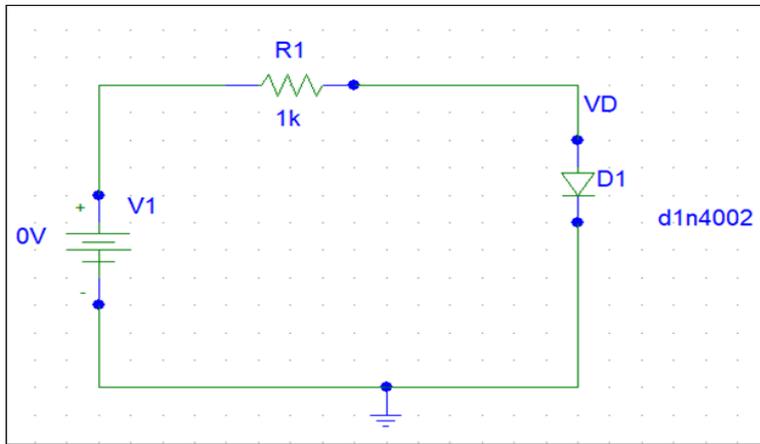
3.3 محاكاة خواص الديود :

من أجل الحصول على البيانات المميزة للديود D1n4002 ودراسته ثم تأثير تغيير درجة الحرارة على ذلك نستعمل برنامج Pspice 9.1 Student Version و نأخذ كمثال صمام ثنائي السيليكون

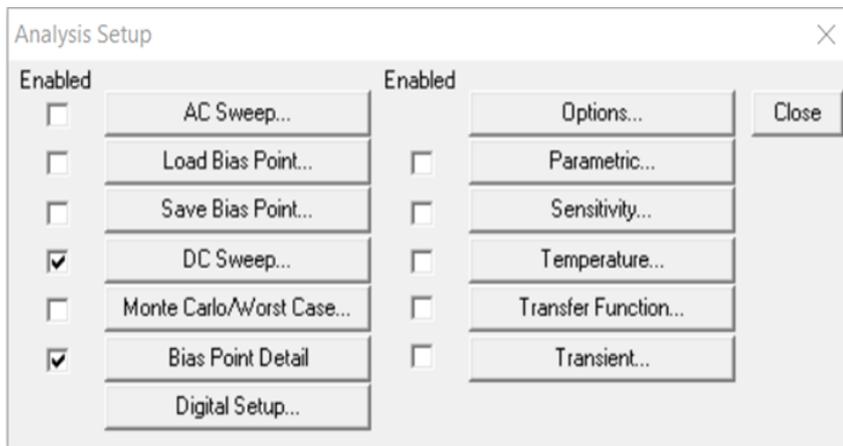
1.3.3 الإنحياز الأمامي:

في حالة الإنحياز الأمامي لثنائي السيليكون نقوم بربط منبع جهد البطارية بحيث يكون القطب الموجب للبطارية متصلا بالأنود (A) والقطب السالب بالكاثود (k) لثنائي ، كما هو مبين بالشكل (3_3) حيث تتكون الدارة من العناصر التالية (d1n4002 ، r ، VDC ، EGND) .

نختار Analysis من نافذة الرئيسية للبرنامج ثم الأمر setup نحدد DC sweep كما هو موضح في الشكل (4_3)

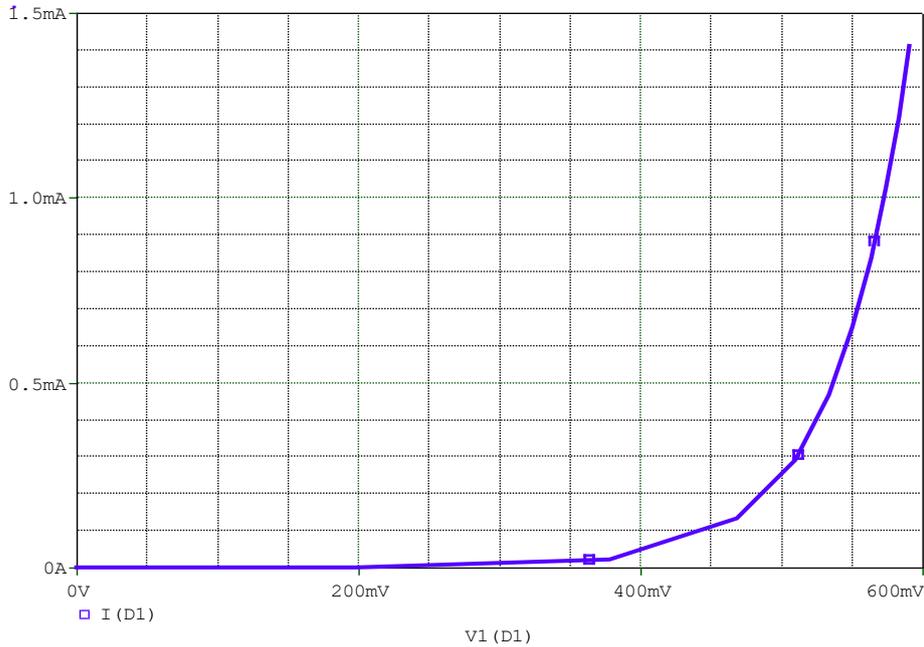


الشكل(3_3) الإنحياز الأمامي لثنائي السيليكون



الشكل (4_3) تحديد خواص ديود

تظهر نافذة تتمكن من خلالها من تغيير التوتر V1 من [V=0 إلى V=2] بخطوة 0.2 ونجري المحاكاة فنحصل على المنحنى البياني (5_3) التالي :

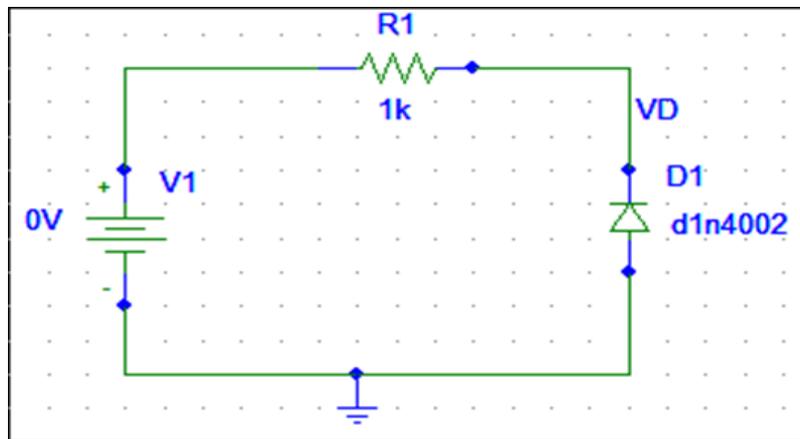


الشكل (5_3) منحنى بياني لتغيرات التيار والجهد في الانحياز الأمامي

يوضح المنحنى العلاقة بين الجهد V (D1) المطبق على الديود والتيار لمار فيه I(D1) نلاحظ عند بداية التوصيل لا يمر تيار كهربائي يكون صفر إلى أن يصبح الجهد المطبق أكبر من جهد الحاجز وعند هذه اللحظة سوف يمر التيار الكهربائي في إتجاه واحد كما نلاحظ أنه كلما زادت شدة التيار زاد الجهد المار في الديود.

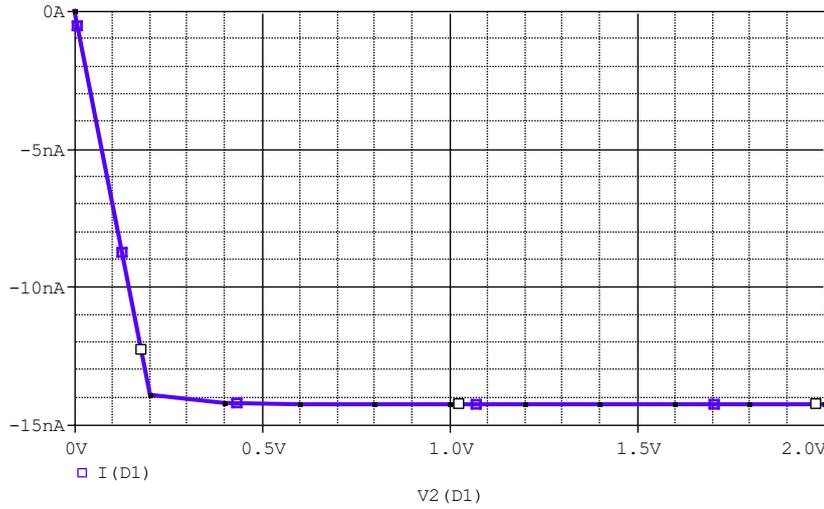
2.3.3 الإنحياز العكسي :

عندما نوصل ثنائي الوصلة بمنبع جهد يكون القطب الموجب للبطارية متصلا بالكاثود (k) والقطب السالب للبطارية متصلا بالأنود (A) كما هو مبين بالشكل (6_3) .



الشكل (6_3) الإنحياز العكسي لثنائي السيليكون

و بإجراء المحاكاة نحصل على المنحنى التالي :



الشكل (7_3) منحنى بياني لتغيرات التيار والجهد في الإنحياز العكسي

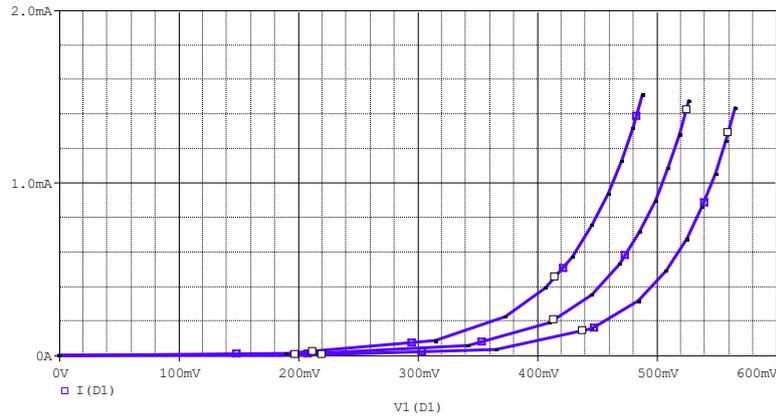
يمثل المنحنى تغيرات شدة التيار المار في دايود I (D1) بدلالة لجهد V2 (D1) في حالة الإنحياز العكسي عند بداية التوصيل لا يمر تيار كهربائي حيث تكون مقاومة الديود كبيرة جدا لاتسمح بمرور التيار الكهربائي ويظل لفترة معينة لايسمح بمرور التيار ولكن عند زيادة الجهد المطبق على الديود بقيمة أكبر من القيم التي يتحملها الديود عند حدوث ذلك ينهار الديود ، ونلاحظ أنه كلما نقصت شدة التيار زاد الجهد المار في الديود

4.3 تأثير تغيير درجة الحرارة:

1.4.3 الانحياز المباشر:

_ يمكننا أيضا دراسة تأثير درجة الحرارة على مميزات الصمام V-I إنطلاقا من التعليمات السابقة في

تغيير التوتر نقوم بتغيير درجة الحرارة وذلك بالضغط على Nested Sweep نغير درجة الحرارة من [40°C إلى 80°C] بخطوة 20°C فيظهر لنا المنحنى التالي:



الشكل (8_3) المنحنى المميز IV لتأثير درجة الحرارة على شدة التيار حالة الإنحياز المباشر

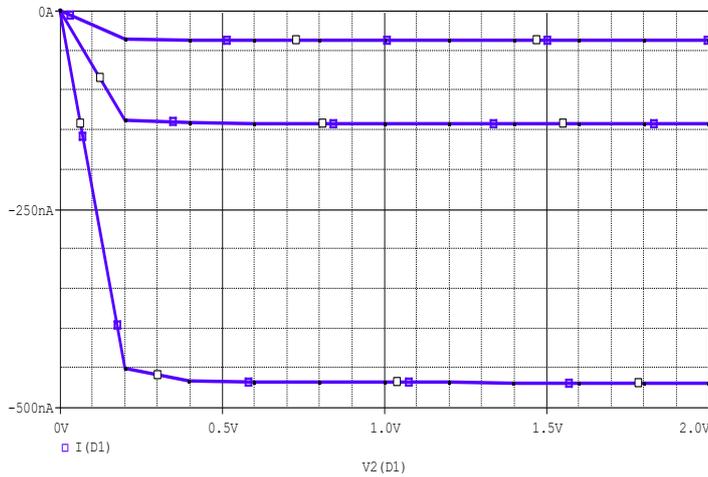
يمثل المنحنى تغيرات شدة التيار المار في الديود بدلالة الجهد في حالة الإنحياز الأمامي فنلاحظ أنه كلما زادت درجة الحرارة نقص جهد المار في الديود .

2.4.3 الانحياز العكسي

تأثير درجة الحرارة في حالة الانحياز العكسي بنفس درجات الحرارة المأخوذة في الانحياز الأمامي

بياني التالي :

نحصل على منحنى



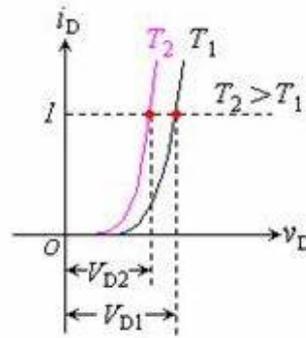
الشكل (9_3) المنحنى المميز IV لتأثير درجة الحرارة على شدة التيار حالة الإنحياز العكسي

يمثل المنحنى تغيرات شدة التيار المار في الديود بدلالة الجهد في حالة الإنحياز العكسي فنلاحظ أنه كلما زادت درجة الحرارة زادت شدة التيار المارة في الديود.

5.3 مناقشة النتائج

درجة الحرارة لها تأثير كبير على أداء الصمام الثنائي. عندما ترتفع درجة الحرارة ، سيزداد التيار العكسي أضعافاً مضاعفة. على سبيل المثال:

عندما تزيد درجة حرارة الصمام الثنائي للسيليكون بمقدار 8°C ، سيزداد التيار العكسي بمقدار الضعف تقريباً عندما تزيد درجة حرارة الصمام الثنائي الجرمانيوم بمقدار 12°C ، فإن التيار العكسي سيزداد بنحو مرتين ؛ عندما ترتفع درجة الحرارة ، سينخفض انخفاض الجهد الأمامي في الصمام الثنائي ، وعندما تزيد درجة الحرارة بمقدار 1 درجة مئوية ، سينخفض الجهد الأمامي بحوالي 2 مللي فولت ، أي معامل درجة الحرارة السلبية. يمكن رؤية هذه من منحنى خاصية الجهد الكهربائي للديود المبين في الشكل (10_3).
نلاحظ من الشكل كيف يتطور التيار بدلالة التوتر و ذلك بتغيير درجة الحرارة .



الشكل (10_3) منحنى خاصية الجهد الكهربائي لديود

6.3 التفسير :

كلما ازدادت درجة الحرارة قل الجهد الحاجز وبالعكس من الناحية العملية ان التغيير في قيمة الجهد الحاجز يساوي $-25^{\circ}\text{C}/\text{Vm}$ لكل من ثنائيات Si Ge حسب المعادلة التالية

$$\Delta V = -0.0025(\Delta T) \dots (1_3)$$

كلما ارتفعت درجة الحرارة ازداد توليد الالكترونات والثقوب ويزداد IS حيث يتغير مع تغير درجة الحرارة حسب العلاقة:

$$IS2 = IS(2)^{\frac{T2-T1}{10}} \dots \dots \dots (2_3)$$

نتيجة : يمكن استخدام الصمام الثنائي كجهاز لقياس درجة الحرارة ، نظرًا لأن انخفاض الجهد الأمامي عبر الصمام الثنائي يعتمد على درجة الحرارة

7.3 الخاتمة

في هذا الفصل قمنا بمحاكاة الديود في حالة الإنحياز الأمامي والعكسي ، للحصول على البيانات المميزة الخاصة ($I-V$) لمعرفة كيف يتطور التيار I بدلالة V و دراسة كيفية تأثير تغيير درجة الحرارة على الخصائص المميزة لديود حيث تمت مناقشة النتائج المتحصل عليها وتفسرها وتوصلنا إلى نتيجة مهمة وهي أننا نستطيع استخدام الصمام كجهاز لقياس درجة الحرارة .

الخلاصة العامة

الخلاصة العامة

إن البحث في الإلكترونيات شيء ممتع لأنه يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمتطلبات العصر و لا يكاد يخلو مجال من وجود المركبات الإلكترونية ، يعد الصمام الذي هو موضوع دراستنا العنصر الاساسي الاول في سلسلة المركبات الالكترونية الاساسية.

من خلال هذا البحث تمكنا من معرفة اشباه النواقل النقية و غير النقية اي المطعمة بالشوائب السالبة و الموجبة و علاقة حزم الطاقة بذلك . و تعرفنا على نوعي حاملات الشحنة في انصاف النواقل و نوعي التيار (الانتشار و الانجراف) و المعادلات التي تحكم وجود التيار .

تناولنا التطبيق الاول للقطع المشوبة و هو تماس نوعين من انصاف النواقل السالبة و الموجبة و العلاقات الاساسية التي تصف المميّزة الاساسية توتر - تيار . و تعرفنا على الدارات المكافئة التي تسمح لنا بتحليل الدارات التي تحتوي الصمام الثنائي

بواسطة برنامج Pspice 9.1 Student Version تمكنا من مشاهدة البيانات المميّزة في التجهين المباشر و غير المباشر ثم تمكنا من معرفة تأثير درجة الحرارة على اشتغال الصمام الثنائي .

الكلمات المفتاحية : السيلكون ، الصمام الثنائي ، أشباه الموصلات .

ABSTRACT

electronics is an interesting thing because it is closely related to the requirements of the times, and there is hardly a field without electronic vehicles. The valve, which is the subject of our study, is the first essential element in the series of basic electronic vehicles.

Through this research, we were able to know the pure and impure semiconductors, that is, grafted with negative and positive impurities, and the relationship of energy packets to that. And we got acquainted with the two types of charge carriers in semiconductors and the two types of current (diffusion and drift) and the equations that govern the presence of current.

We dealt with the first application of defective segments, which is the contact of two types of semiconductors, negative and positive, and the basic relations that describe the basic characteristic, tension - current. And we learned about equivalent circuits that allow us to analyze circuits that contain a diode

Through Student Version Pspice 9.1 program, we were able to see the characteristic data in both direct and indirect directions, then we were able to know the effect of temperature on the operation of the diode.

Key word : silicon,diod,semiconductour

Rèsumèe

La recherche en électronique est une chose intéressante car elle est étroitement liée aux exigences de l'époque, et il n'y a guère de domaine sans véhicules électroniques. La vanne, qui fait l'objet de notre étude, est le premier élément essentiel de la série des composants de base. véhicules électroniques. Grâce à cette recherche, nous avons pu connaître les semi-conducteurs purs et impurs, c'est-à-dire greffés avec des impuretés négatives et positives, et la relation des paquets d'énergie à cela. Et nous nous sommes familiarisés avec les deux types de porteurs de charge dans les semi-conducteurs et les deux types de courant (diffusion et dérive) et les équations qui régissent la présence de courant. Nous avons la première application Pour les pièces défectueuses, c'est le contact de deux types de semi-conducteurs, négatif et positif, et les relations de base qui décrivent la caractéristique principale, tension - courant. Et nous avons découvert les

قائمة المصادر والمراجع

- [1]: د. محمد قعقع ، الإلكترونيات الأساسية ، جامعة دمشق كلية العلوم ، طبعة 2014-2015، سوريا.
- [2]: م. مؤيد فايز القواسمة، أشباه الموصلات ، مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع ، الطبعة الأولى، عمان 2006
- [3]: ياسين أحمد الشبول ، الإلكترونيات المعاصرة (الجزء الأول)، 2005م، مكتبة المجتمع العربي الطبعة الأولى، عمان، 2005
- [4]: أشباه الموصلات قناة المستقبل
<https://www.youtube.com/watch?v=kRAiz65cs2>
- [5]: أ.د/يسري مصطفى . د/الحسيني الطاهر ، مقدمة في فيزياء أشباه الموصلات ، الجزء الأول ، النوارس للدعاية والنشر، الطبعة 2017 .
- [6]: د. فاروق الطويل البطاينة ، مدخل في علم الإلكترونيات الحديثة ، جامعة البلقاء التطبيقية _ كلية عمان للهندسة التكنولوجية مكتبة المجتمع العربي، عمان، 1999م
- [7]: المهندس محمد اسعد بعبع ، الفيرا الكسندوفنا الدويري ، صفاء توفيق المقبل ، الإلكترونيات ، مكتبة المجتمع العربي ، دار الإعصار العلمي ، الطبعة الأولى ، عمان _ الأردن ، 2004
- [8]: أ.م. إحسان ضياء البيرماني ، محاضرة 1 الفصل الأول أشباه الموصلات ، جامعة بابل كلية التربية للعلوم الصرفة قسم الفيزياء الالكترونيات التماثلية المرحلة الثالثة، 2013/2012
- [9]: الدكتور حازم فلاح سكيك ، سلسلة محاضرات أساسيات علم الإلكترونيك ، جامعة الأزهر _ كلية العلوم _ قسم الفيزياء
- [10] : مؤلف ميشيل نقولابكني ،ثنائي القطب (القواعد والفوائد)الإصدار الأول ، (2019م) مراجعة وتدقيق ساندا رهابنة تصميم الغلاف زينة خوري
- [11] : د. صبحي سعيد الراوي ، فيزياء الالكترونيات ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي جامعة الموصل
- [12] : د _ الخضر تاي الله يوسف الخضر ، كتاب الدوائر الإلكترونية ، طبعة 2018
- [13] : Thomas L.Floyd, Ninth Editionj conventioal Current version ,
 ,Electronic Devices
- [14]: تأليف سي جوليان تشن ، ترجمة مصطفى محمد فؤاد ، فيزياء الطاقة الشمسية ، الإصدار بالإنجليزية 2011 إصدار الترجمة 2020
- [15]: J. P. COLINGE ". Physique des Dispositifs Semi -conducteurs.",
 , département de Boeck Université, Paris, 1996, DE WIELE F. V

- [16] : ي.مصطفى، أ . الغامدي ن فيزياء الحالة الصلبة ونظرياتها ، مركز النشر العلمي ، جامعة الملك عبد العزيز، 2010
- [17]: <https://ar.wikipedia.org/wiki/>
- [18] : د. الخضر تاي الله يوسف الخضر، كتاب الدوائر الإلكترونية ، (طبعة 2018).
- [19] JORDAN –ZARQATEL –.AHMAD AL-HADID–0777409465: [19]
HADIDY_66@YAHOO.COM
- [20] : أشباه الموصلات. ترجمة للفصل الاول من كتاب تقريبات دوائر الترانزستور
للمؤلف مالفينو..أسامة عمر مسعود العشي . Transistor circuit approximation
- [21] What is germanium diode ?.www.quora.com ,Retrieved: [21]
21/08/2019 .Edited
- [22] Characteristics of Silicon & germanium diodes .sciencing.com.: [22]
Retrieved 19/08/2019 .Edited
- [23] : مدونة أبو إياد [Smart Electron](http://www.SmartElectron.com) سمات إلكترون: برنامج محاكاة الدوائر الإلكترونية
<http://www.s-PSpice.com/2014/03/pspice.html#ixzz7VGic8NdX>
- [24] <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Introduction-to-PSpice.php>