

## الفصل الخامس

### المنحنيات المميزة للوصلات الثنائية المتغايرة

### للنظام $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3/p\text{-Si}$ و $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3/n\text{-Si}$

### Characteristics of $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3/n\text{-Si}$ and

### $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3/p\text{-Si}$ heterojunctions.

### ( 1 - 5 ) منحنيات (التيار – جهد ) المميزة للوصلة $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{Si}$ في حالتى الإظلام

### والإضاءة قبل التشعيع:

تم دراسة منحنيات (التيار – جهد ) للوصلات الثنائية من مركب سلينيد البزموت  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  ذات السمك 85nm و 102nm و 112n و 227nm. والمرسبة على حوامل من السيليكون النقي من النوعين السالب  $n\text{-Si}$  و الموجب  $p\text{-Si}$  في حالتى الإضاءة والإظلام. ذات المساحات المدونة في الجدول [ 1 - 5 ].

من الشكل ( 1 - 1 - 5 ) للوصلة ذات السمك 85nm نجد أنها في النوعين ( $n\text{-n}$ ) و ( $n\text{-p}$ ) يزداد فيها التيار بزيادة الجهد و تسلك سلوكاً أومياً في الانحياز الأمامي والعكسي في حالتى الإضاءة والإظلام.

من الشكل ( 5 - 1 - 2 ) للوصلة ذات السمك  $102\text{nm}$  نجد أنها في النوع (n-n) في الإظلام تسلك سلوكاً أومياً ثم يزداد التيار فجأة في الانحياز الأمامي والعكسي عندما يزيد الجهد عن  $1.5\text{V}$ ، أما في حالة الإضاءة فالوصلة تسلك سلوكاً أومياً "خطياً".  
أما في الوصلة (n-p) فهي تسلك السلوك الطبيعي لأشباه الموصلات ( سلوكاً أومياً في الجهود المنخفضة وسلوكاً أومياً في الجهود الأعلى).

من الشكل ( 5 - 1 - 3 ) للوصلة ذات السمك  $112\text{nm}$  نجد أنها في النوع (n-n) في الإظلام تسلك السلوك الطبيعي لأشباه الموصلات ، وفي الإضاءة سلوكاً أومياً "خطياً". أما في الوصلة (n-p) في حالة الإظلام فالوصلة تسلك سلوكاً أومياً في الانحياز الأمامي . أما بالنسبة للانحياز العكسي فإن قيم التيار تزيد فجأة بعد جهد يساوي  $1.61\text{V}$  لترتفع قيمة التيار من  $2.81\text{E-}5\text{ A}$  إلى  $1.02\text{E-}3\text{ A}$  بما يشبه انهيار زينر. أما في حالة الإضاءة فالوصلة تسلك سلوكاً أومياً في الانحياز الأمامي والعكسي ولكن الارتفاع المفاجئ لقيم التيار يحدث في الانحياز الأمامي والعكسي عند جهد يساوي  $1.42\text{ V}$  لترتفع قيمة التيار بشكل مفاجئ يشبه انهيار زينر إلا أنه يزداد بد ذلك بزيادة الجهد ويستمر في الزيادة، وحال دون معرفتنا إلى مدى يزداد، هو عدم وجود جهود أعلى من  $2\text{V}$  في جهاز القياس.

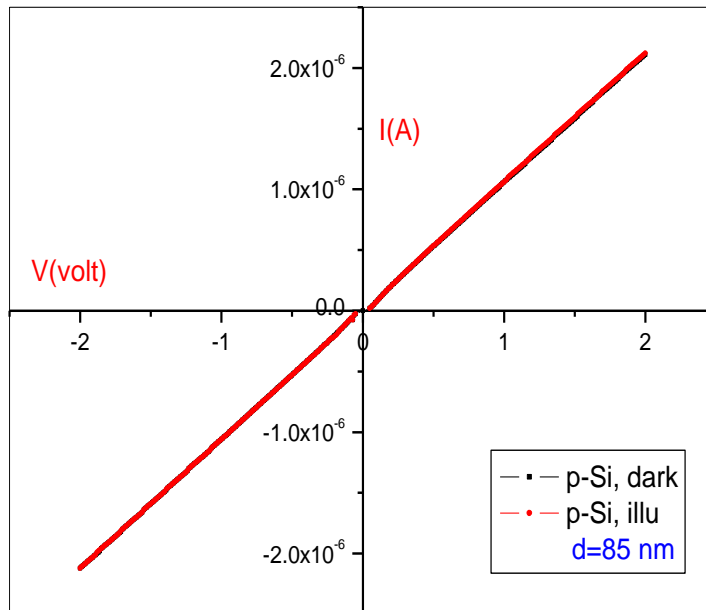
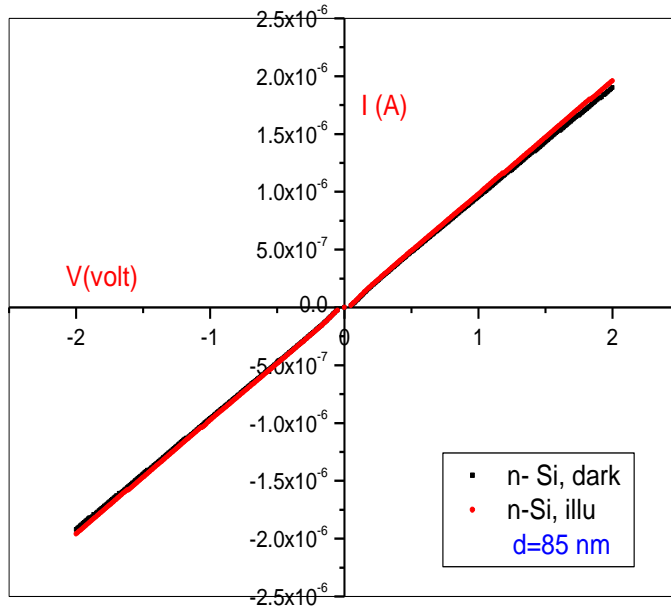
من الشكل ( 5 - 1 - 4 ) للوصلة ذات السمك  $227\text{nm}$  نجد أنها في النوع (n-n) يزداد فيها التيار بزيادة الجهد و تسلك سلوكاً أومياً في الانحياز الأمامي والعكسي في حالتي الإضاءة والإظلام.

أما الوصلة (n-p) فهي تسلك سلوكاً أومياً في حالة الإظلام وسلوكاً أومياً خطياً في حالة الإضاءة وذلك للانحياز الأمامي والعكسي.

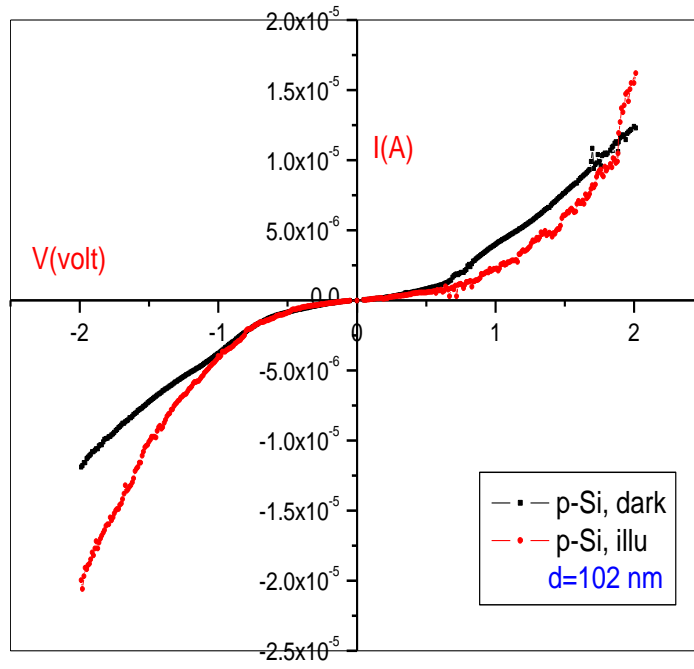
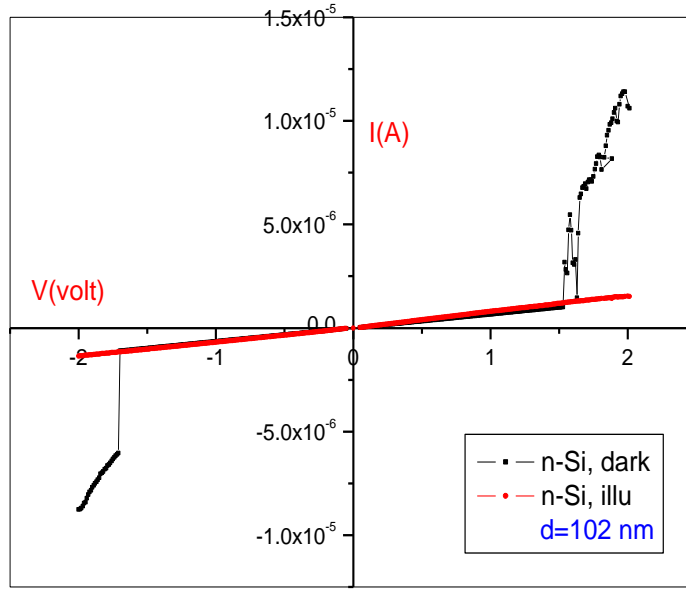
جدول [ 1 - 5 ] : مساحات الوصلات الثنائية للنظام n سيلينيد البزموت مع السيليكون من

النوعين n و p.

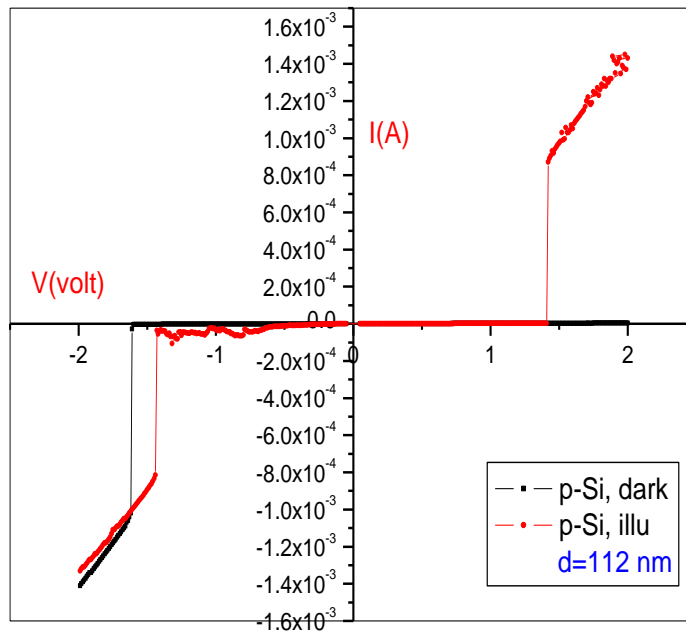
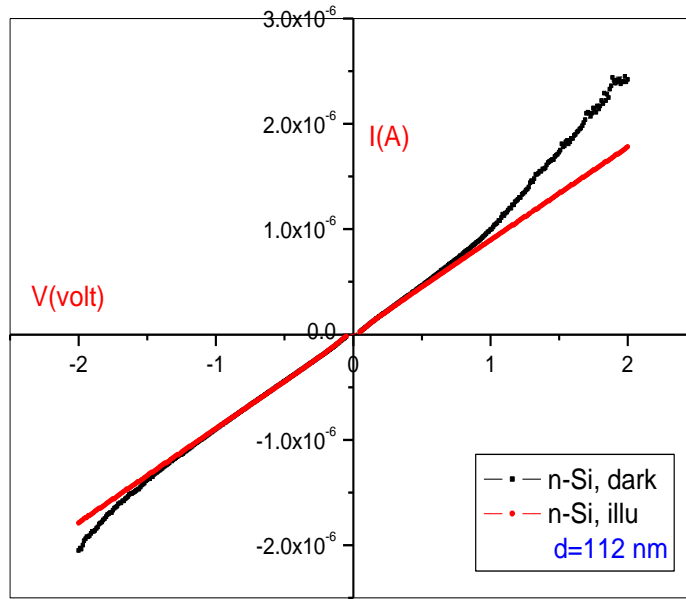
نوع الوصلة	السمك	مساحة الوصلة
n-Bi <sub>1</sub> Se <sub>3</sub> / n-Si	85 nm	3.18 cm <sup>2</sup>
	102 nm	1.70 cm <sup>2</sup>
	112 nm	2.88 cm <sup>2</sup>
	227 nm	2.86 cm <sup>2</sup>
n-Bi <sub>1</sub> Se <sub>3</sub> / p-Si	85 nm	3.37 cm <sup>2</sup>
	102 nm	2.12 cm <sup>2</sup>
	112 nm	3.38 cm <sup>2</sup>
	227 nm	2.22 cm <sup>2</sup>



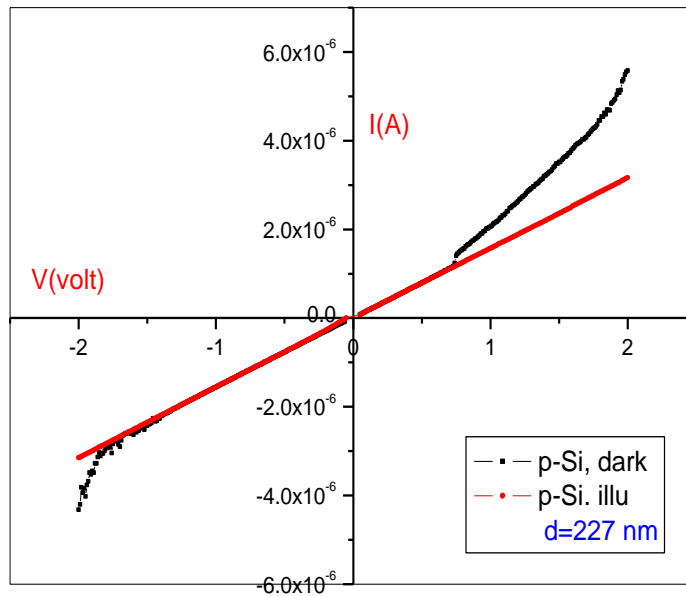
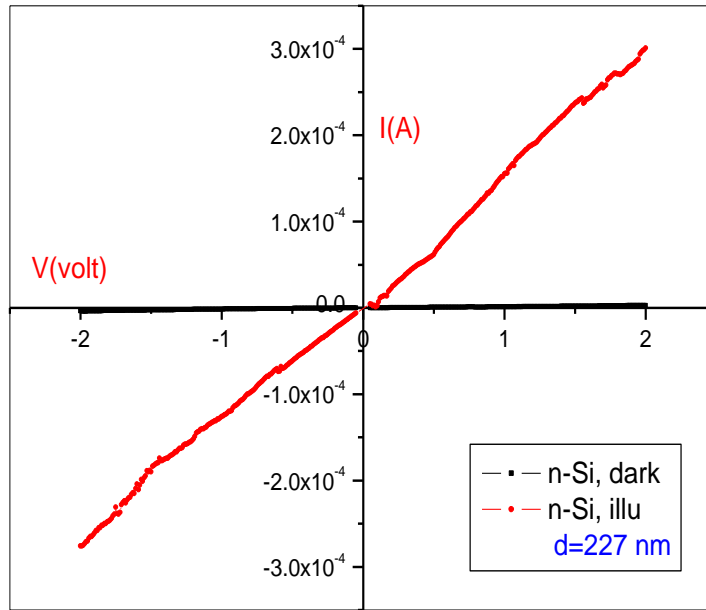
شكل (1 - 1 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة  $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  ذات السمك 85nm في حالتها الإظلام والإضاءة قبل التشعيع.



شكل (2 - 1 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة  $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  ذات السمك 102nm في حالتَي الإظلام والإضاءة قبل التشعيع.



شكل (3- 1 - 5): منحنيات (التيار - جهد ) المميزة للوصلة n-  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  ذات السمك 112nm في حالتها الإظلام والإضاءة قبل التشعيع.



شكل (4 - 1 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة  $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  ذات السمك 227nm في حالتَي الإضاءة والإظلام قبل التشعيع.

## ( 2 - 5 ) منحنيات (التيار - جهد ) المميزة للوصلة $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{Si}$ عند درجات حرارة

### مختلفة قبل التشعيع

تم دراسة منحنيات (التيار - جهد ) للوصلات من سلينييد البزموت  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  ذات السمك 85nm و 102nm و 112nm و 227nm. والمترسبة على حوامل من السيليكون من النوعين n-Si و p-Si عند درجات حرارة مختلفة. بدأت من درجة حرارة الغرفة وهي 298K و بزيادة تدريجية بمعدل 20K لكل مرة أخذت قيم التيار .

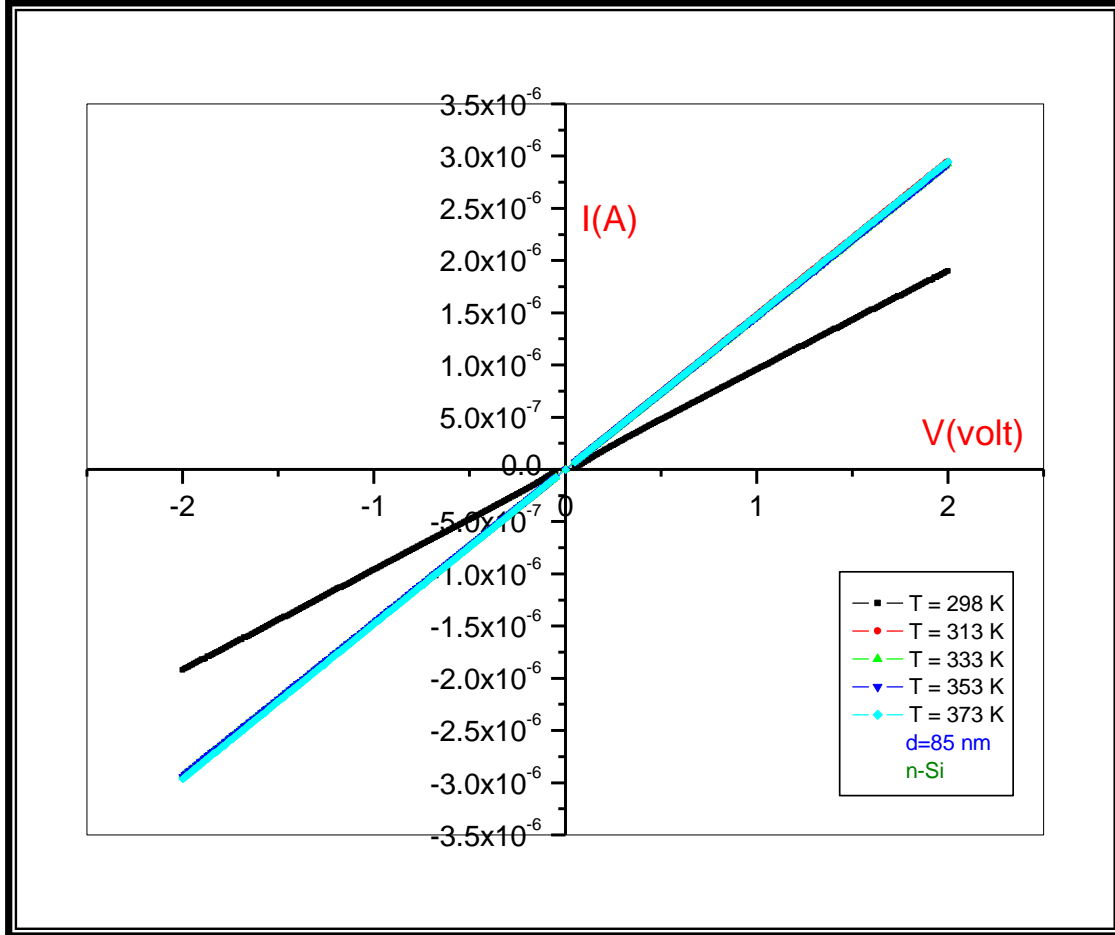
في الشكل ( a - 1- 2 - 5 ) للوصلة ذات السمك 85nm من النوع (n-n): نلاحظ أن جميع منحنيات التيار- جهد تسلك سلوكاً أومياً "خطياً" وظل هذا السلوك بالرغم من ارتفاع درجة الحرارة، أما بالنسبة لقيم التيار فكان ارتفاعها ملحوظاً عند ارتفاع درجة حرارة الغرفة إلى 313K، ومن ثم ثبتت قيم التيار عند نفس القيم بالرغم من ارتفاع درجة الحرارة عند التحييزين. تتضح هذه القيم في جدول [ 2- 5 ] .

أما الشكل ( b - 1- 2 - 5 ) للوصلة ذات السمك 85nm من النوع (n-p): نلاحظ كذلك أن جميع منحنيات التيار- جهد تسلك سلوكاً أومياً "خطياً". ويظل هذا السلوك بالرغم من ارتفاع درجة الحرارة، أما بالنسبة لقيم التيار فكان ارتفاعها ملحوظاً عند ارتفاع درجة حرارة الغرفة حتى 313K ومن ثم ثبتت قيم التيار عند نفس القيم في التحييز الأمامي بالرغم من ارتفاع درجة الحرارة إلى 373K. أما في التحييز العكسي فقيم التيار كانت متقاربة جداً عند درجتى 313K و 333K. وارتفعت قيم التيار للدرجتين 353K و 373K بشكل متقارب جداً.

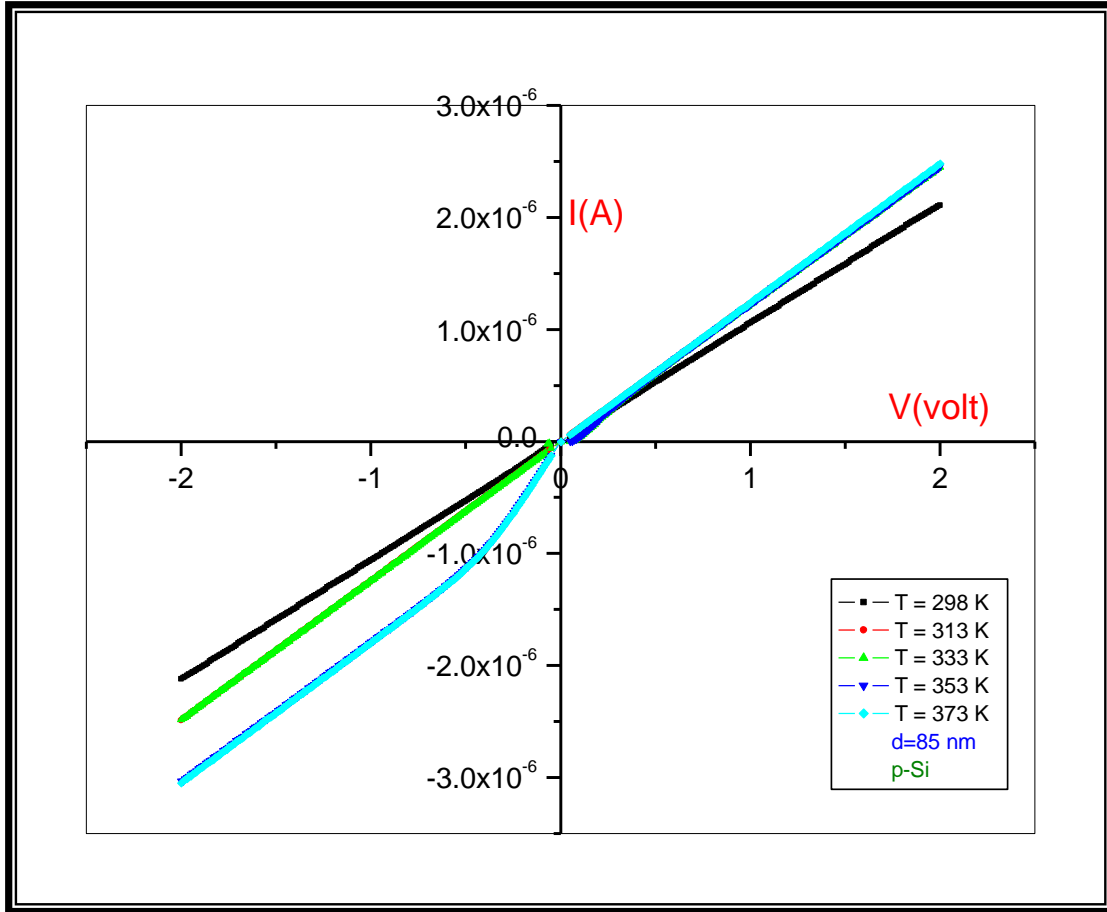
وبذلك كانت أعلى قيمة للتيار في الوصلة ذات السمك 85nm للنوع (n-p) في التحييز

العكسي عند أعلى درجة حرارة 373K. تتضح هذه القيم في جدول [ 2 - 5 ] .





شكل (a-1-2-5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة n-Bi<sub>1</sub>Se<sub>3</sub> / n-Si ذات السمك 85nm عند درجات حرارة مختلفة.

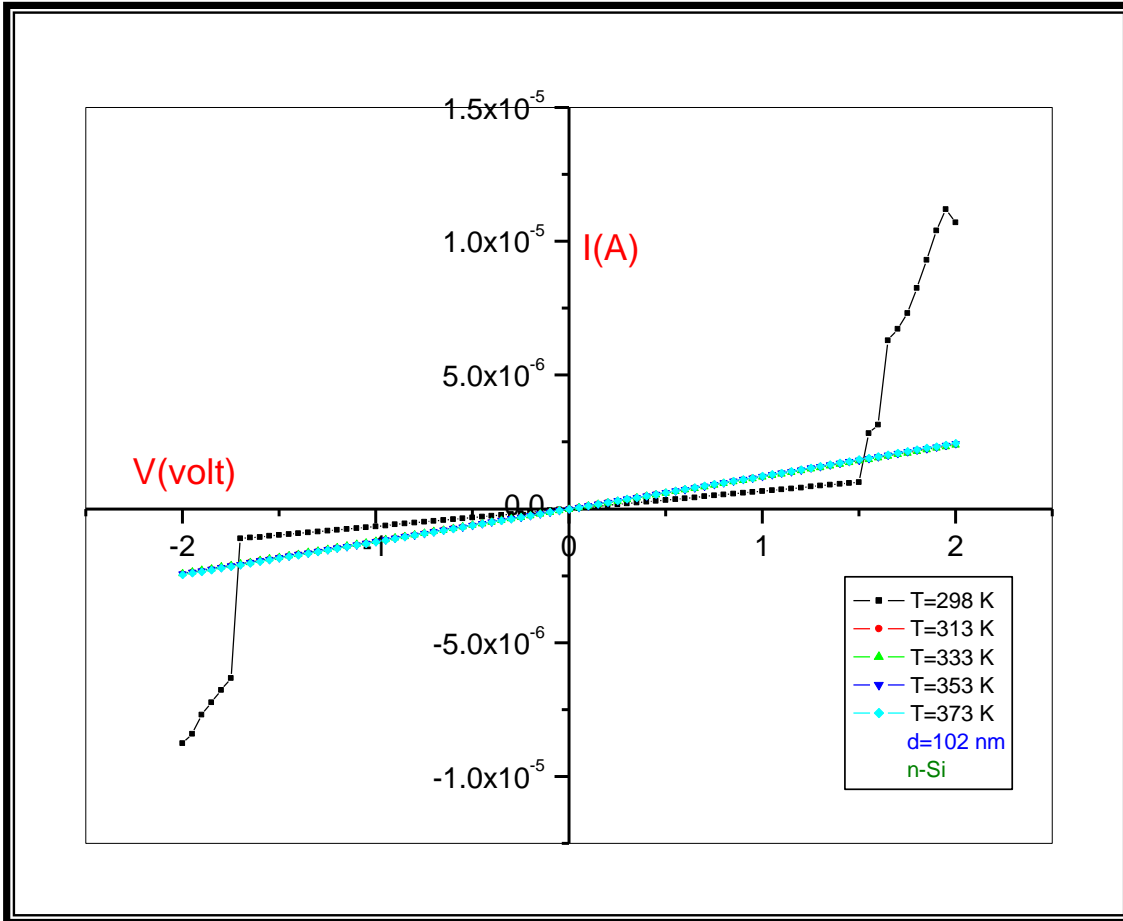


شكل (b-1-2-5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة لـ لوصلة n-Bi<sub>1</sub>Se<sub>3</sub> / p-Si ذات السمك 85nm عند درجات حرارة مختلفة.

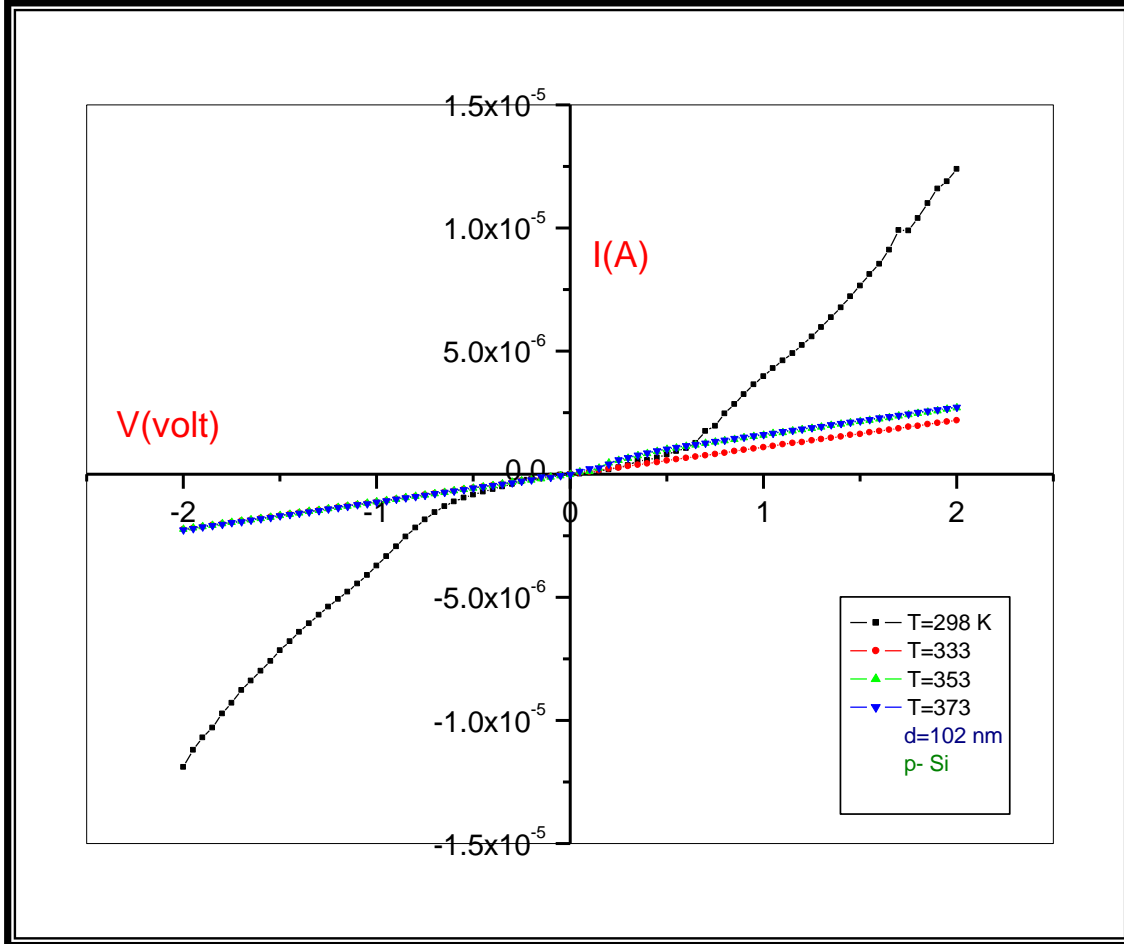
في الشكل ( a - 2 - 5 ) للوصلة ذات السمك 102nm من النوع (n-n): في درجة حرارة الغرفة 298K نجد أن منحنى التيار- الجهد يسلك سلوكاً أومياً حتى جهد مقداره 1.5V . ثم حدث تزايد مفاجئ لقيمة التيار في التحييزين الأمامي والعكسي ، أما باقي منحنيات التيار- جهد عند درجات حرارة 313K و 333K و 353K و 373K فإنها تسلك سلوكاً أومياً "خطياً" بقيم تيار متقاربة جداً ، ويظل هذا السلوك مستمراً مع ارتفاع درجة الحرارة، أما بالنسبة لقيم التيار فقد كانت قيمتها العظمى عند درجة حرارة الغرفة للتحييزين الأمامي والعكسي. مما يجعلنا نوصي باستخدامها كمبردات كهروحرارية، وتتضح هذه القيم في جدول [ 2 - 5 ] .

أما الشكل ( b - 2 - 5 ) للوصلة ذات السمك 102nm من النوع (n-p): في درجة حرارة الغرفة 298K نجد أن منحنى التيار- الجهد يسلك السلوك الطبيعي لأشباه الموصلات ( سلوكاً أسياً في الجهود المنخفضة وسلوكاً أومياً في الجهود الأعلى) وبذلك تكون قيمة التيار أعلى منها في درجات الحرارة الأعلى منها حيث تسلك الوصلة عندها سلوكاً أومياً "خطياً" ، ونجد أن قيم التيار فيها تكون متقاربة جداً عند درجات الحرارة 313K و 333K و 353K و 373K للتحييزين الأمامي والعكسي. مما يجعلنا نوصي باستخدامها كمبردات كهروحرارية .

وبذلك كانت أعلى قيمة للتيار في الوصلة ذات السمك 102nm للنوع (n-p) في التحييز الأمامي عند درجة حرارة الغرفة 298K. و تتضح هذه القيم في جدول [ 2 - 5 ] .



شكل (a-2-2-5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة لـ لوصلة  $n$ - $\text{Bi}_1\text{Se}_3$  /  $n$ -Si ذات السمك 102 nm عند درجات حرارة مختلفة.

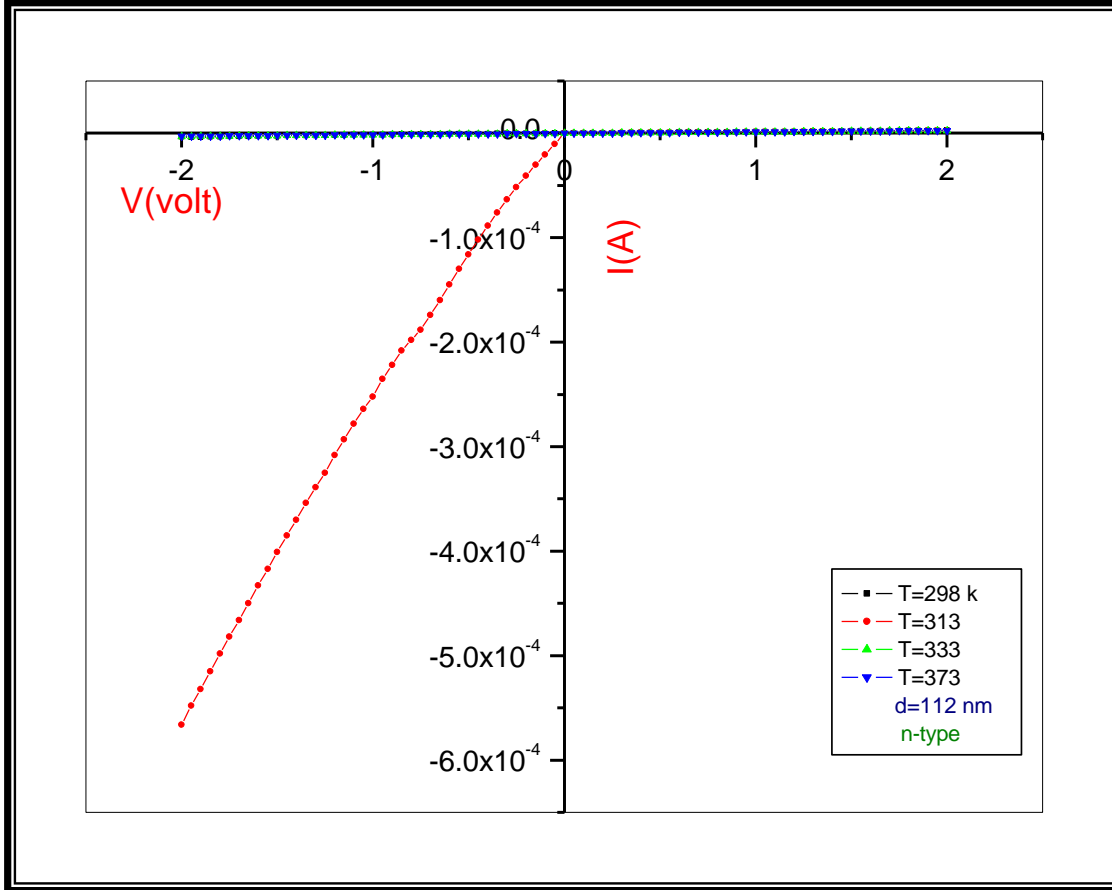


شكل (b-2-5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة لـلوصلة n-Bi<sub>1</sub>Se<sub>3</sub> / p-Si ذات السمك 102nm عند درجات حرارة مختلفة.

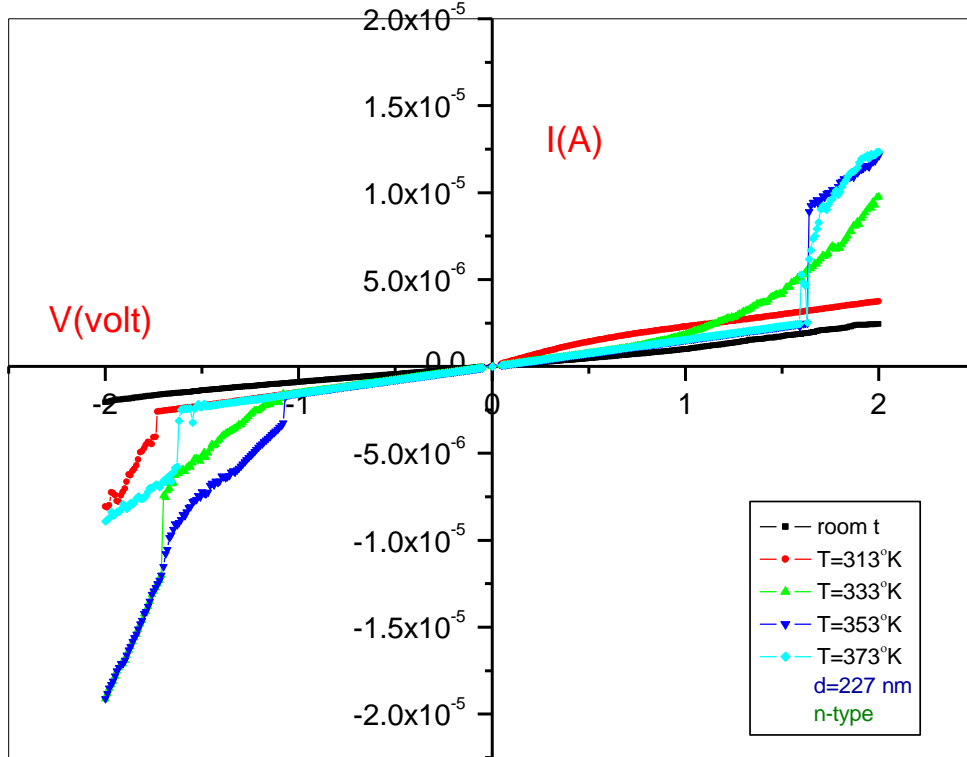
في الشكل ( 3 - 2 - 5 ) للوصلة ذات السمك 112nm من النوع (n-n): في درجة حرارة الغرفة 298K نجد أن منحني التيار- الجهد يسلك السلوك الطبيعي لأشباه الموصلات، أما باقي منحنيات التيار- جهد عند درجات حرارة 313K و 333K و 353K و 373K تسلك سلوكاً أومياً خطياً بقيم تيار متقاربة جداً ما عدا الانحياز العكسي عند درجة 313K الذي تتزايد فيه قيم التيار بشكل كبير وملحوظ مما يلأعني أن التوصيل بحاملات الأقلية هي الآلية السائدة هنا.

في الشكل ( a - 4 - 2 - 5 ) للوصلة ذات السمك 227nm من النوع (n-n):

نلاحظ أن قيم التيار تتزايد بارتفاع درجة الحرارة في الانحياز الأمامي والعكسي فتكون قيم التيار أعلى ما يمكن في الانحياز الأمامي عند درجة 373K وذلك عندما تزيد قيمة الجهد عن 1.5V، بينما تكون قيم التيار في الانحياز العكسي عند درجة 353K بفرق واضح عن الدرجات الحرارة الأخرى. أما الشكل ( b - 4 - 2 - 5 ) للوصلة ذات السمك 227nm من النوع (n-p): نلاحظ كذلك أن قيم التيار تتزايد بارتفاع درجة الحرارة في الانحياز الأمامي والعكسي، حيث تكون قيم التيار أعلى ما يمكن في الانحياز الأمامي عند درجة 373K وذلك عندما تزيد قيمة الجهد عن 1.5V، بينما تكون قيم التيار في الانحياز العكسي عند درجة 353K بفرق واضح عن درجات الحرارة الأخرى، وذلك يتشابه مع السلوك للوصلة (n-n)، ولكن قيم التيار للوصلة (n-p) أعلى منها في حالة الوصلة (n-n). مما يشير إلى أن حاملات الشحنة الغالبة هنا ذات تركيز أعلى منها في حالة الوصلة (n-n). مما يؤهلها لأن تستخدم كمفتاح Switching لوجود ظاهرة القطع والتوصيل في حالة الانحياز الخلفي عند درجات حرارة 298K و 333K و 353K، وفي حالة الانحياز الأمامي لدرجاتي الحرارة 373K و 353K.

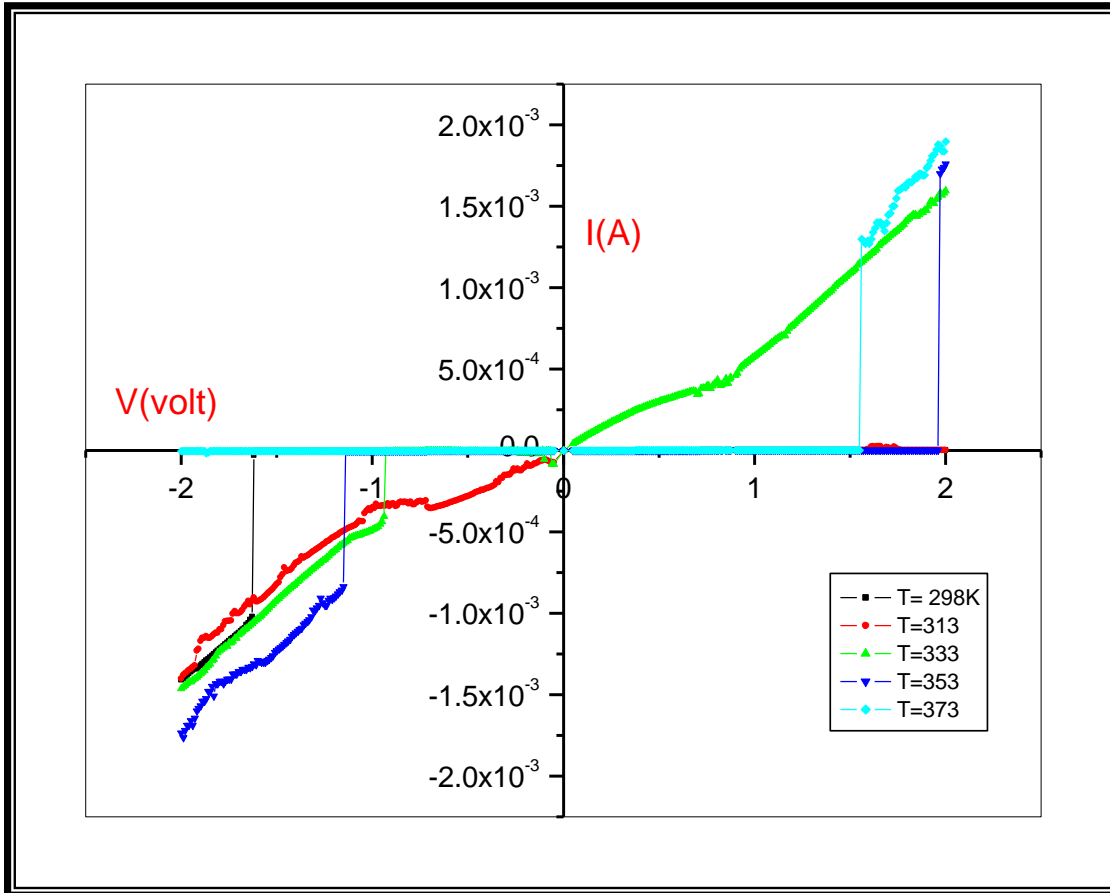


شكل (3- 2 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة لـلوصلة n-Bi<sub>1</sub>Se<sub>3</sub> / n-Si ذات السمك 112nm عند درجات حرارة مختلفة.



شكل (a-4-2-5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة لـ لوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك  $227$  nm عند درجات حرارة مختلفة.





شكل (b-4-2-5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة لـ الوصلة n-Bi<sub>1</sub>Se<sub>3</sub> / p-Si ذات السمك 227nm عند درجات حرارة مختلفة.

جدول [5-2]: قيم التيار العظمى بالأمبير عندما يكون الجهد = 2V لمنحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة n-Bi<sub>1</sub>Se<sub>3</sub> / Si ذات السمك 85nm و 102nm عند درجات حرارة مختلفة.

درجة الحرارة بالكالفن	قيم التيار العظمى بالأمبير عندما تكون قيمة الجهد = 2V d= 85 nm				قيم التيار العظمى بالأمبير عندما تكون قيمة الجهد = 2V d= 102 nm			
	n- Si		p- Si		n- Si		p- Si	
	تحيز أمامي	تحيز عكسي	تحيز أمامي	تحيز عكسي	تحيز أمامي	تحيز عكسي	تحيز أمامي	تحيز عكسي
298K	1.90E-6	1.92E-6	2.11E-6	2.12E-6	1.07E-5	8.76E-6	1.24E-5	1.19E-5
313K	2.95E-6	2.93E-6	2.47E-6	2.49E-6	2.41E-6	2.43E-6	2.17E-6	2.18E-6
333K	2.93E-6	2.93E-6	2.45E-6	2.48E-6	2.40E-6	2.41E-6	2.19E-6	2.24E-6
353K	2.93E-6	2.94E-6	2.46E-6	3.03E-6	2.44E-6	2.43E-6	2.70E-6	2.23E-6
337K	2.95E-6	2.95E-6	2.48E-6	3.05E-6	2.46E-6	2.45E-6	2.73E-6	2.25E-6

### (5-3) بارمترات الوصلات الثنائية المتغيرة n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si & n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/p-Si:

#### Parameters of Heterojunction n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si & n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/p-Si:

من هذه المنحنيات السابقة يمكن استنتاج مايلي:

1. سلوك المنحنيات متشابه
  2. منحنيات التحيز الأمامي لها نفس السلوك تقريباً عند درجات الحرارة المختلفة حيث أنه بزيادة الجهد يتزايد التيار أسياً أما عند الجهود المرتفعة فإنه يتزايد مع الجهد تزايداً أومياً وهذا هو السلوك الطبيعي لأشباه الموصلات.
  3. التماثل في المنحنيات مع تدرج الحرارة يعني بأن آليات التوصيل في مدى الجهود المختلفة هي آليات متشابهة مما يعني سلامة العينات من أي عيوب يمكن أن تصاحب عمليات التبخير أو التأثير الحراري عليها، مما يشير إلى عدم تفكك المركب نتيجة ارتفاع درجات الحرارة.
- وقد أمكن تحليل تلك المنحنيات واستنتاج البارمترات الهامة للوصلة الثنائية فيما يلي:

1. عامل التقويم (RR) Rectification Ratio.
2. معامل الجودة للوصلة (n) Diode Quality Factor.
3. تيار التشبع العكسي (I<sub>s</sub>) Reverse Saturation Current.
4. مقاومة التسلسل (R<sub>s</sub>) Series Resistance.
5. ارتفاع حاجز الجهد (Φ<sub>b</sub>) Schottky Barrier Height.

### (5-3-1) حساب نسبة التقويم للوصلات الثنائية المتغايرة n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si &

: n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/p-Si

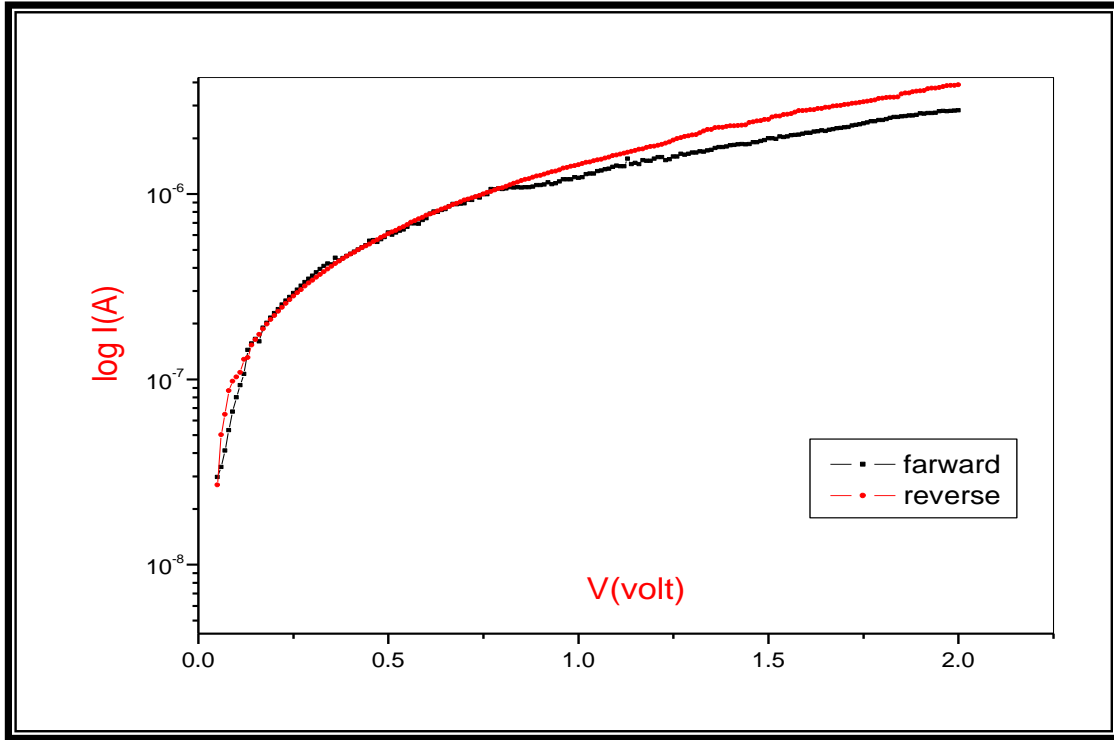
### Determination of the Rectification Ratio (R.R) of Heterojunction

#### n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si & n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/p-S:

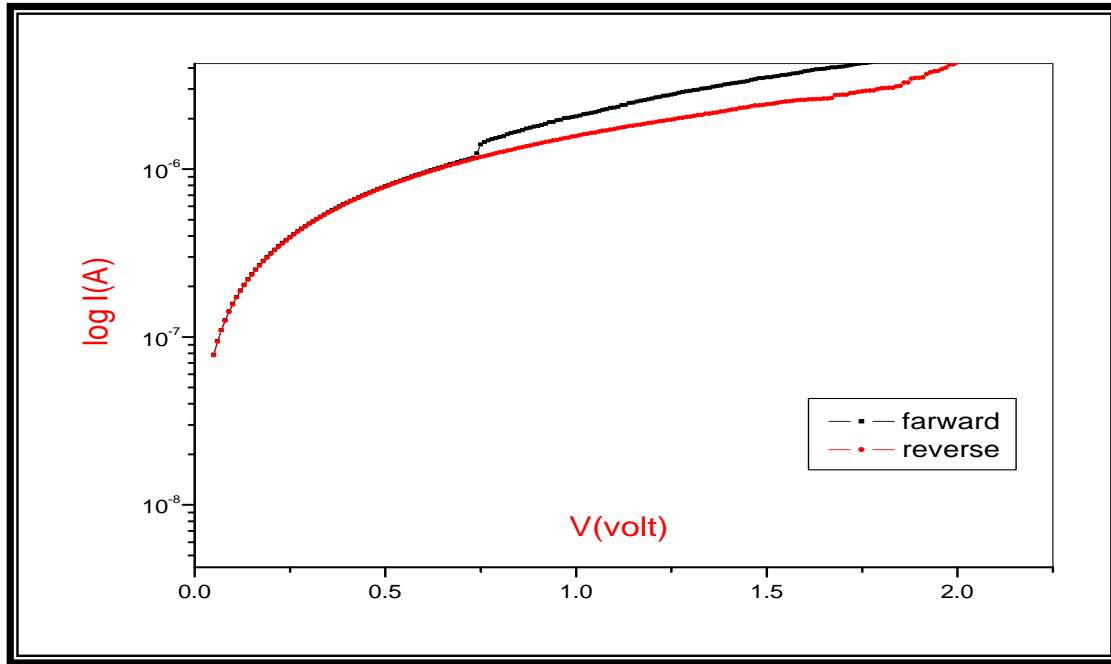
تعرف نسبة التقويم ( R ) بأنها النسبة بين تيار التحيز الأمامي إلى تيار التحيز الخلفي عند ثبوت قيمة الجهد المسلط .

$$RR = (I_f / I_r)_{V=const} \quad (5-1)$$

وقد أمكن استنتاج هذه النسبة من رسم المنحنيات المميزة ( I – V ) للتحيز الأمامي والتحيز الخلفي معاً عند (درجة حرارة الغرفة) ، والشكلان (5-3-1-a) يوضح هذه العلاقة للوصلة n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si . حيث يلاحظ تغير هذه النسبة مع تغير الجهد وأنها تكون قيمتها الأقل 0.72 عند جهد 2V وأعلى قيمة لنسبة التقويم لهذه الوصلة تساوي 1.10 عند جهد يساوي 0.05V . أما بالنسبة للوصلة n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/p-Si فإن نسبة التقويم تتفاوت كذلك من 1.00 عند جهد 0.05V وتصل قيمة نسبة التقويم لهذه الوصلة لأعلى قيمة وتساوي 1.31 عند قيمة جهد تساوي 1V . جدول [ 5-3-1 ] يوضح التفاوت لقيم نسبة التقويم مع الجهد وقيم التيار للتحيز الأمامي والعكسي المناظرة لها.



شكل (a-3-5): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الأمامي والخلفي عند درجة حرارة الغرفة للموصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك  $227\text{nm}$ .



شكل (5-3-1-b): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الأمامي والخلفي عند درجة حرارة الغرفة للموصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / p\text{-Si}$  ذات السمك  $227\text{nm}$ .

جدول [5-3-1]: قيم نسبة التقويم عند درجة حرارة الغرفة للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  و  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / p\text{-Si}$  وقيم تيار التحيز الأمامي والخلفي المناظرة لها.

نوع الوصلة	الجهد (Volt)	تيار التحيز الأمامي $I_f$ (A)	تيار التحيز العكسي $I_r$ (A)	نسبة التقويم RR
$n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$	2.0	2.83E-6	3.88E-6	0.729
227nm	1.0	1.22E-6	1.44E-6	0.847
$n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / p\text{-Si}$	2.0	5.58E-6	4.32E-6	1.29
227nm	1.0	2.06E-6	1.57E-6	1.31

## (5-3-2) تعيين معامل الجودة ( $n^{\prime}$ ) للوصلات الثنائية المتغايرة $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3/n\text{-Si}$ :

### Determination of the Diod Quality Factor of Heterojunction

#### $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3/n\text{-Si}$ :

يمكننا تعيين معامل الجودة ( $n^{\prime}$ ) Quality Factor للوصلات الثنائية  $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3/p\text{-Si}$  وذلك برسم العلاقة بين لوغاريتم التيار  $\log I$  للاتجاه الأمامي Forward Bias والاتجاه الخلفي Reverse Bias وفرق الجهد ( $V$ )، عند درجة حرارة الغرفة ودرجات الحرارة المختلفة، كما هو موضح في الأشكال التالية (5-3-2) ، ( 5-3-2a,b,c,d,e ) والتي تبدأ من درجة حرارة الغرفة 298 كلفن وحتى درجات حرارة أعلى مختلفة. حيث نحصل من الاتجاه الأمامي Forward Bias على علاقة خطية عند الجهود المنخفضة، وبتطبيق نموذج الوصلة الواحدة كما يلي (85) :

$$I = I_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{n^{\prime}KT}\right) - 1 \right] \quad (5-2)$$

حيث  $K$  ثابت بولتزمان ،  $q$  شحنة الإلكترون،  $I_s$  تيار التشبع العكسي Reverse

Saturation Current ، وبإهمال الواحد الصحيح من العلاقة السابقة وأخذ لوغاريتم

الطرفين نحصل على العلاقة التالية :

$$\log(I) = \frac{q}{2.303n^{\prime}KT} V + \log I_s \quad (5-3)$$

وبرسم لوغاريتم التيار  $\log(I)$  كمحور صادي وفرق الجهد  $V$  كمحور سيني نحصل

على خط مستقيم من ميله يمكن تعيين معامل الجودة  $n^{\prime}$  . حيث يلاحظ من الشكل (5-3-2) ،

والأشكال ( 5-3-2a,b,c,d,e ) أن معامل الجودة يقل بزيادة درجة الحرارة ، وتدلنا القيم



التي الحصول عليها والموضحة في جدول [5-3-2] أن ميكانيكيتي انتقال التيار الآليتي التوصيل" هي ميكانيكية توليد - إعادة الاتحاد Generation Recombination Mechanism ، وميكانيكية الانبعاث الأيوني الحراري Thermoionic Emission Mechanism ، نظراً لأن قيم معامل الجهد أكبر من الواحد  $n > 1$  عند درجة حرارة 293K و 313K بينما عند درجات الحرارة من 353K إلى 373K فإن معامل الجودة أقل من الواحد  $n < 1$  ، وهذا يعني أن آلية التوصيل هي المصائد حيث أدت إلى تناقص قيم معامل الجودة وهذا بالنسبة للوصلة n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/p-Si .

### (5-3-3) تعيين تيار التشبع العكسي للوصلات الثنائية المتغايرة n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si:

#### Determination of Reverse Saturation Current of Heterojunction

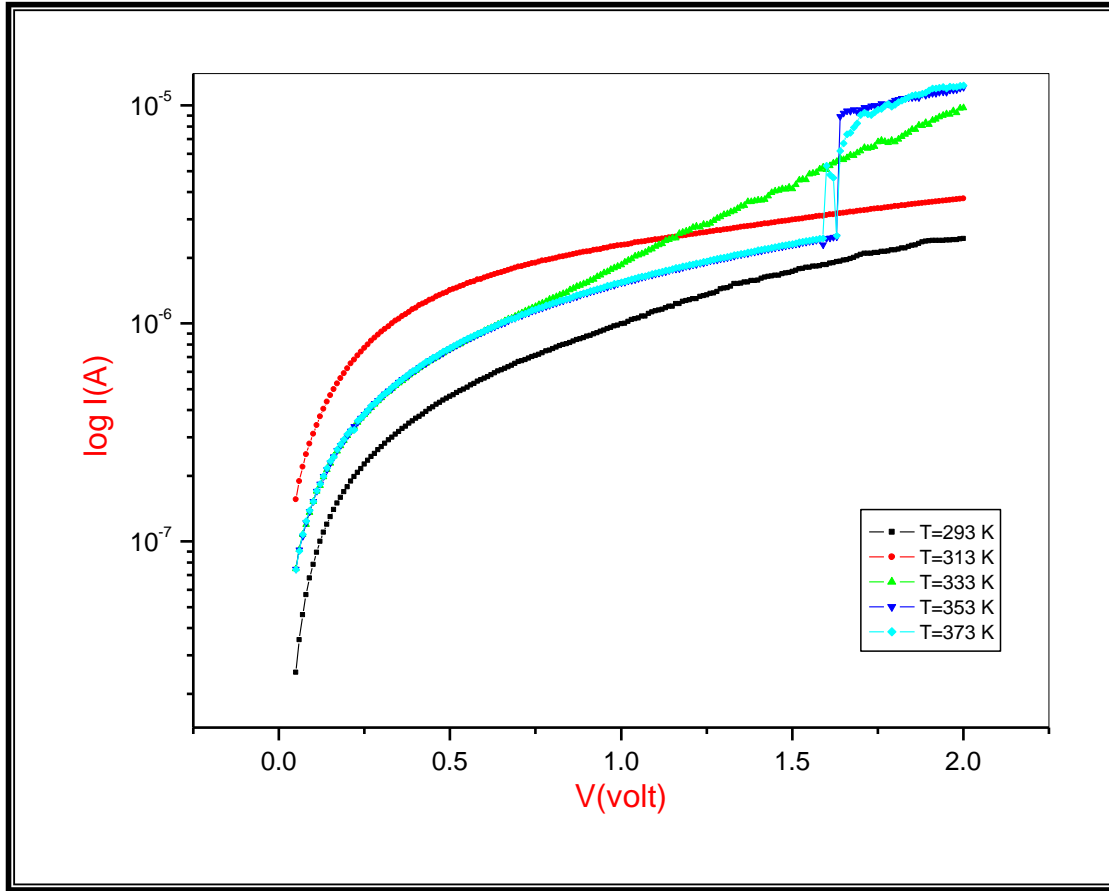
##### n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si:

وقد أمكن تعيين قيم تيار التشبع العكسي  $I_{s1}$  عند الجهد المنخفض low Voltage و  $I_{s2}$  عند الجهد المرتفع High Voltage للوصلات الثنائية n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si ، تم وضع هذه القيم للتحيز الأمامي في Voltage الجدول [5-3-2] من خلال الأشكال (5-3-2) و (2,a,b,c,d,e) ، و قيم تيار التشبع العكسي في الانحياز الخلفي في جدول [5-3-2] من خلال الأشكال (5-3-3,ba,b,c,d,e) ، ويلاحظ من الخط وجود جزئين لعلاقة الخط المستقيم أحدهما عند الجهد المنخفض والآخر عند الجهد المرتفع.

وهذا يدل على أن الخلايا موضع الدراسة ليست نموذج الوصلة الواحدة والتي تتبع

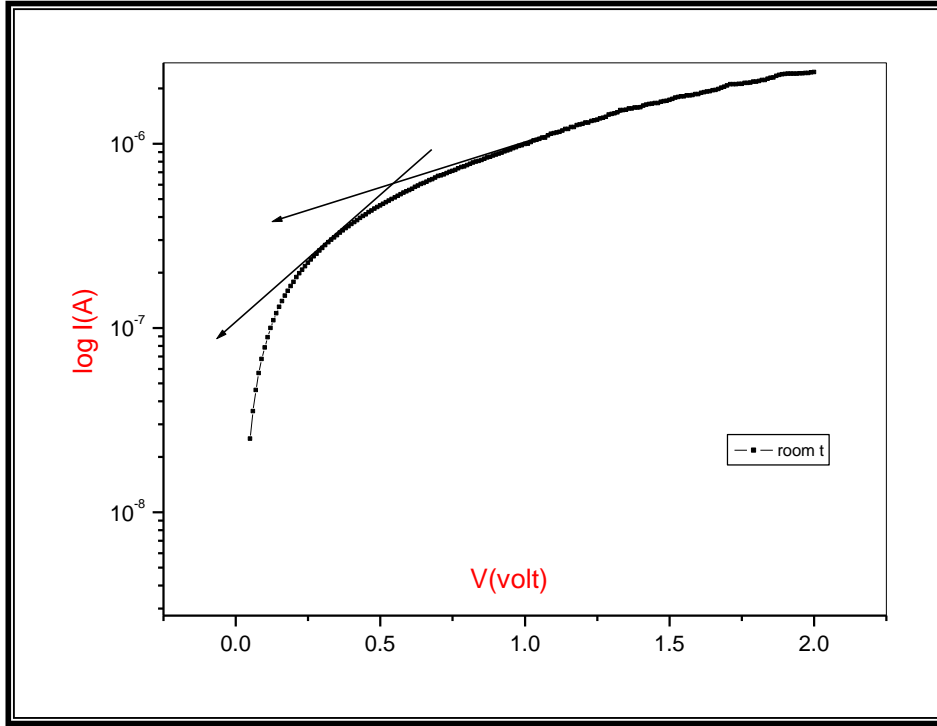
العلاقة (5-3) وإنما تتبع نموذج الوصلتين والتي تعرف بالعلاقة التالية<sup>(86)</sup>:

$$I = I_{s1}[\exp(qv/n_1 KT) - 1] + I_{s2}[\exp(qv/n_1 KT) - 1] \quad (5-4)$$

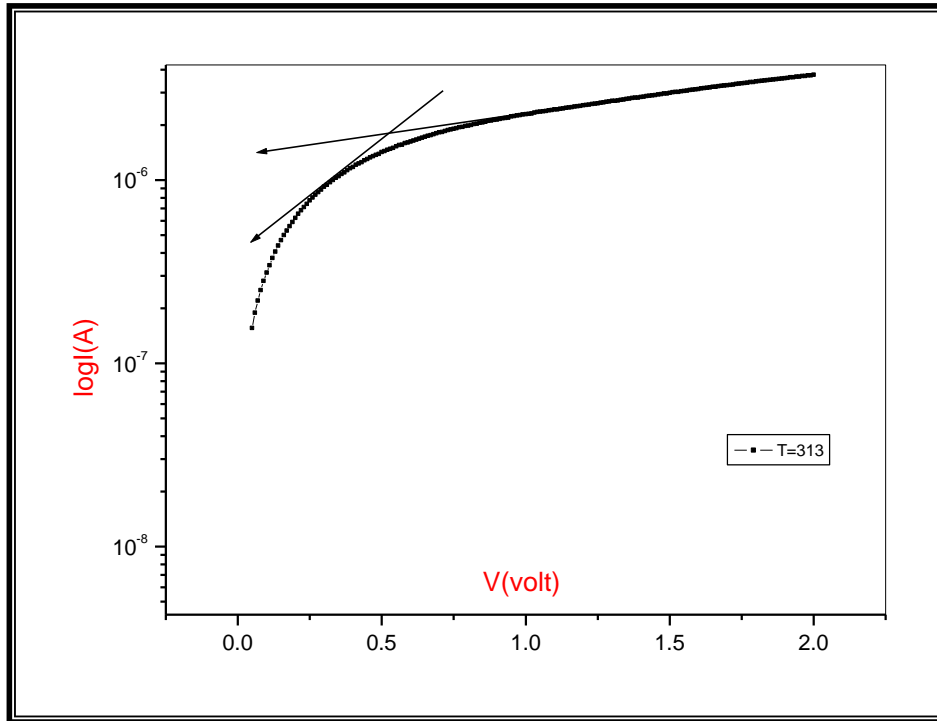


شكل (2-3-5): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الأمامي عند درجات الحرارة المختلفة للموصلة

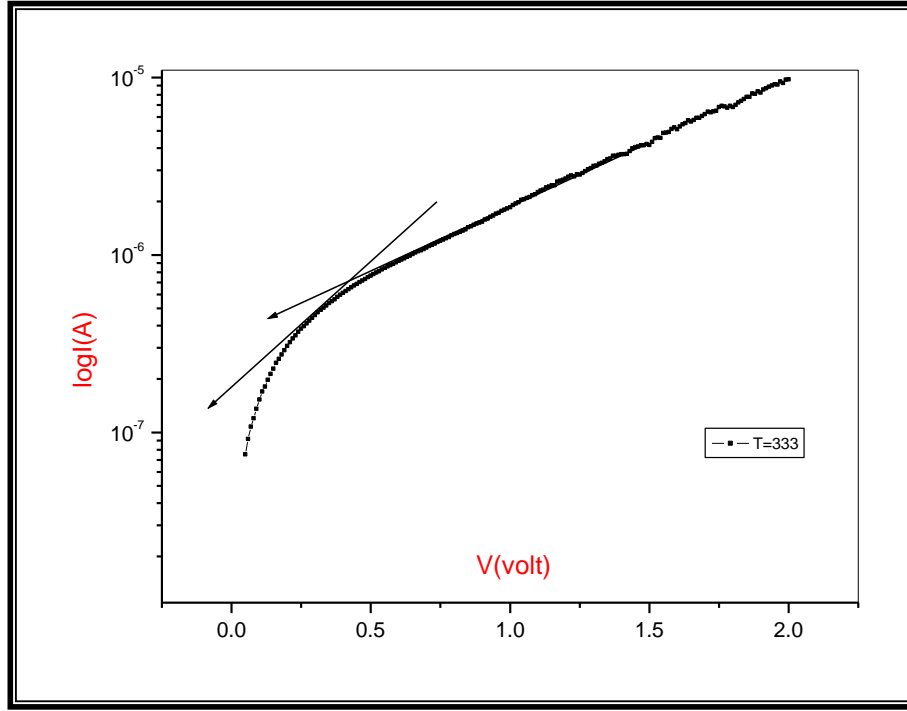
$n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك  $227 \text{ nm}$ .



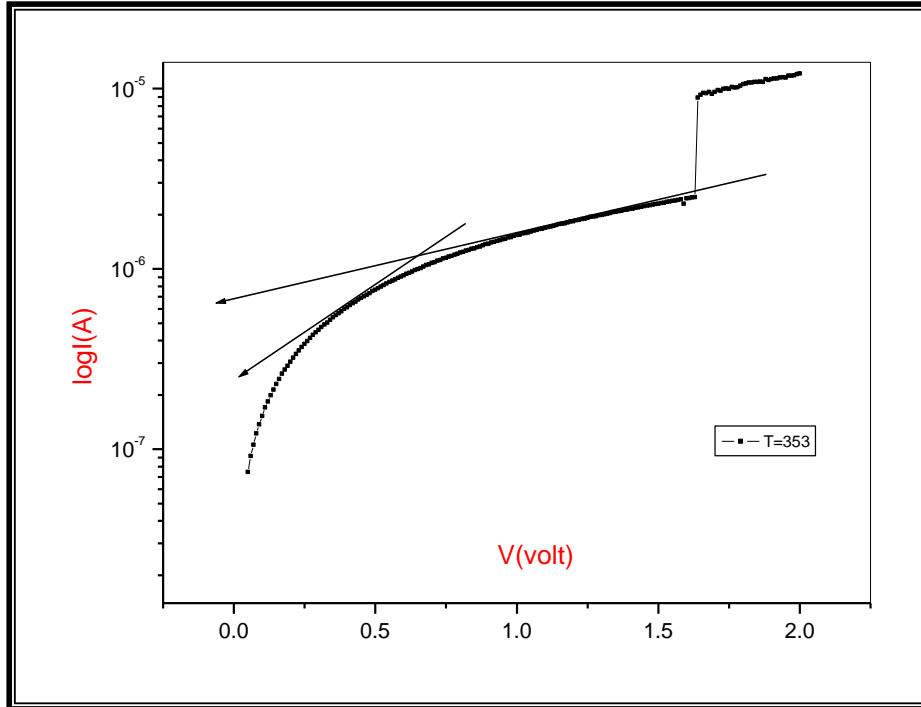
شكل (5-3-2-a): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الأمامي عند درجة حرارة 298 K للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm .



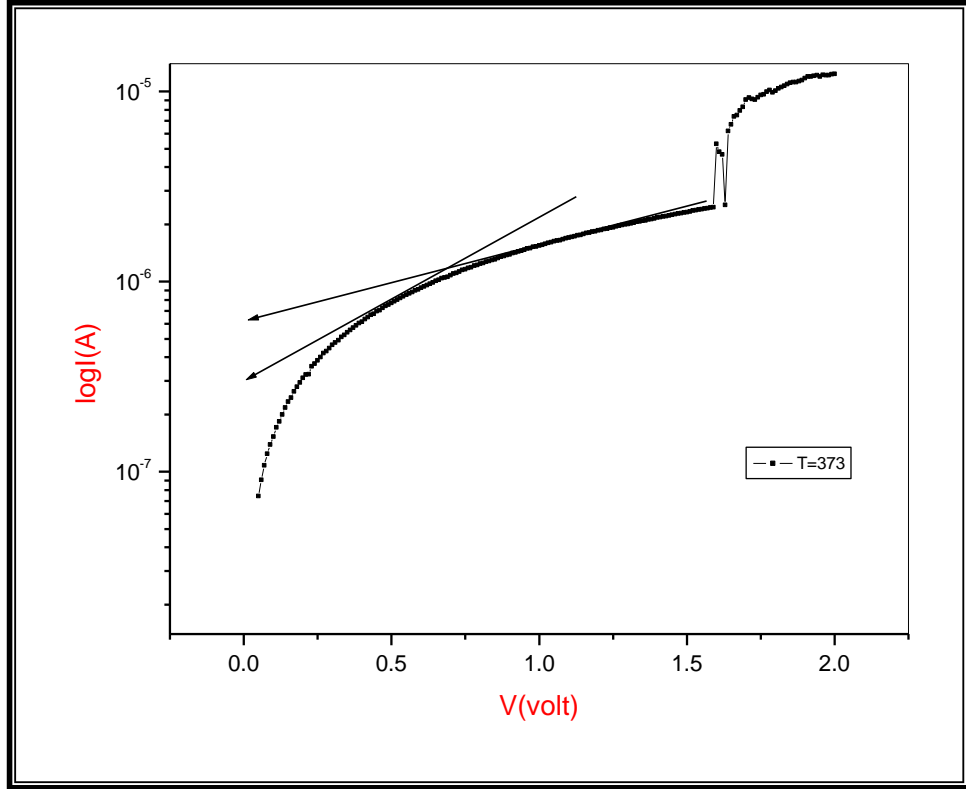
شكل (5-3-2-b): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الأمامي عند درجة حرارة 303 K للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm .



شكل (5-3-2-c): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الأمامي عند درجة حرارة 333 K للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm .



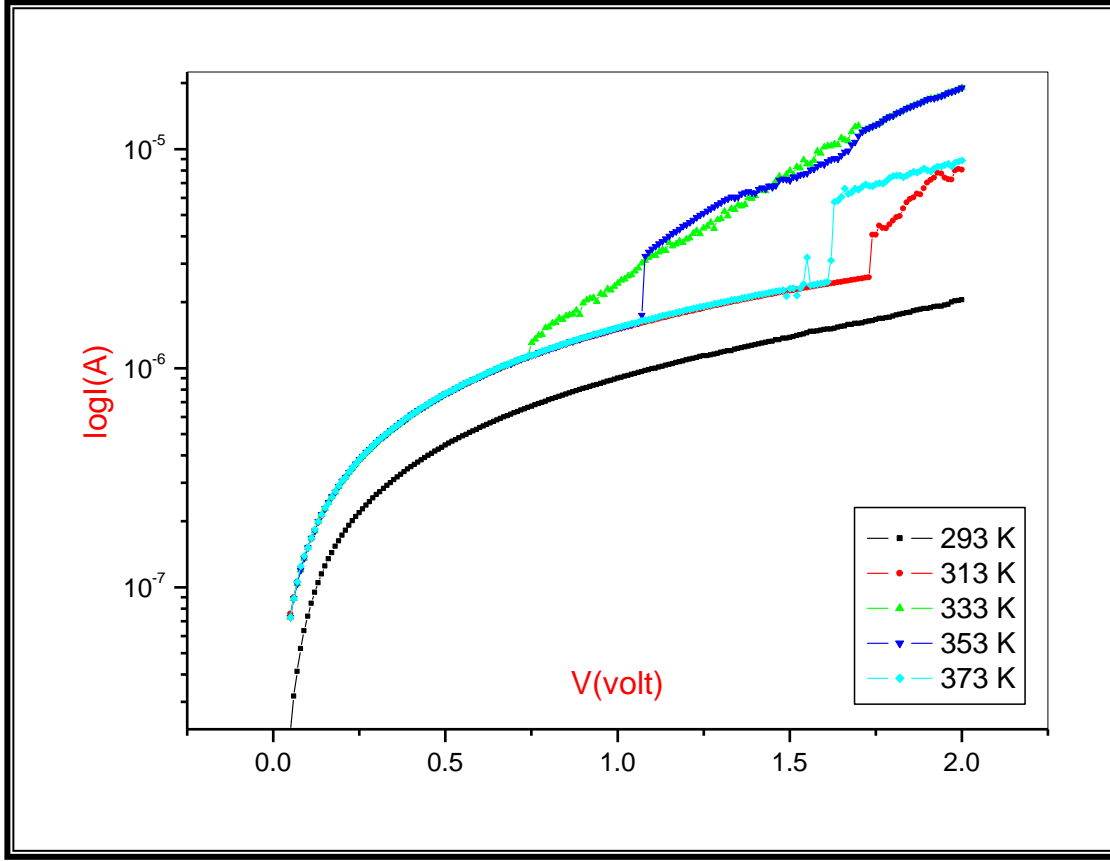
شكل (5-3-2-d): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الأمامي عند درجة حرارة 353 K للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm .



شكل (5-3-2-e): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الأمامي عند درجة حرارة 373 K للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm.

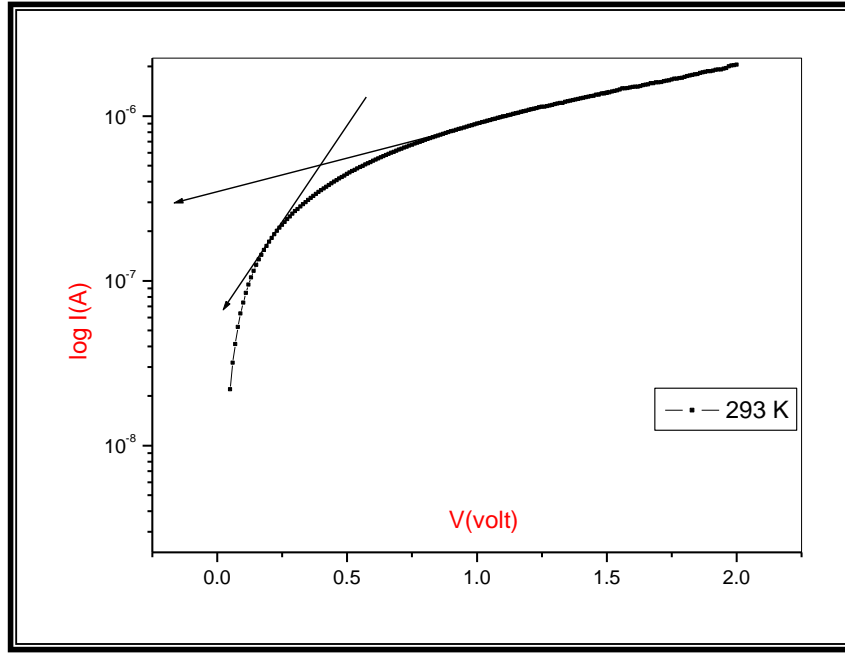
جدول [5-3-2]: قيم معامل الجودة  $n^{\prime}$  وتيار التشبع العكسي  $I_s$  عند درجات حرارة مختلفة للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك  $227\text{nm}$

نوع الوصلة $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$	معامل الجودة $n^{\prime}$ ( $\text{cm}^{-1} \text{eV}^{-1}$ )	$I_{s1}(\text{A})$ عند الجهد المنخفض $V=1 \text{ volt}$	$I_{s2}(\text{A})$ عند الجهد المرتفع $V= 2 \text{ volt}$
293 K	1.013	$8.99 \times 10^{-7}$	$2.05 \times 10^{-6}$
313 K	1.340	$1.50 \times 10^{-6}$	$8.05 \times 10^{-6}$
333 K	0.927	$1.00 \times 10^{-7}$	$2.06 \times 10^{-7}$
353 K	0.593	$1.53 \times 10^{-6}$	$1.19 \times 10^{-5}$
373 K	0.281	$1.59 \times 10^{-6}$	$8.88 \times 10^{-6}$

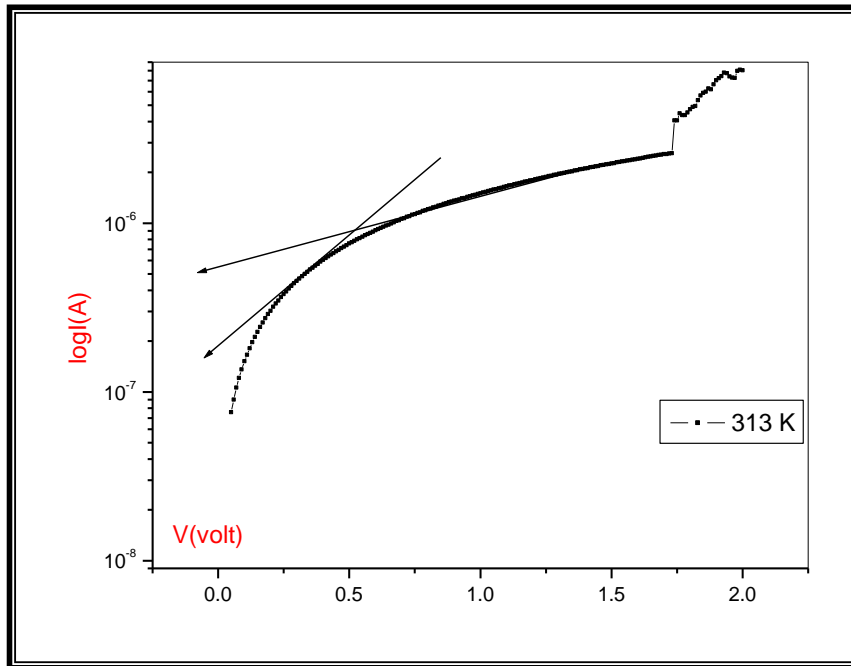


شكل (3-3-5): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الأمامي عند درجات الحرارة المختلفة للموصلة

$n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm .

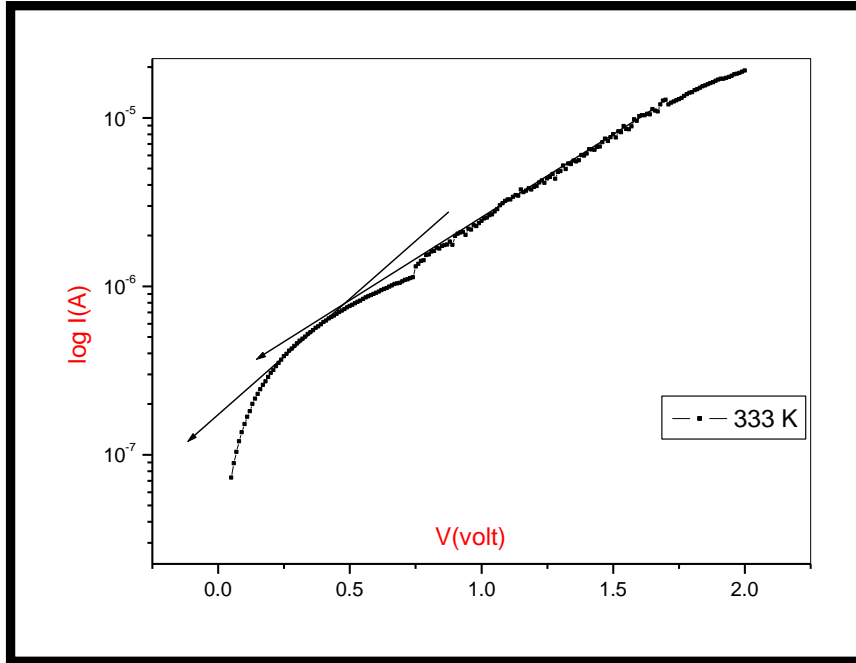


شكل (5-3-3-a): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الخلفي عند درجة حرارة 298 K للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm .

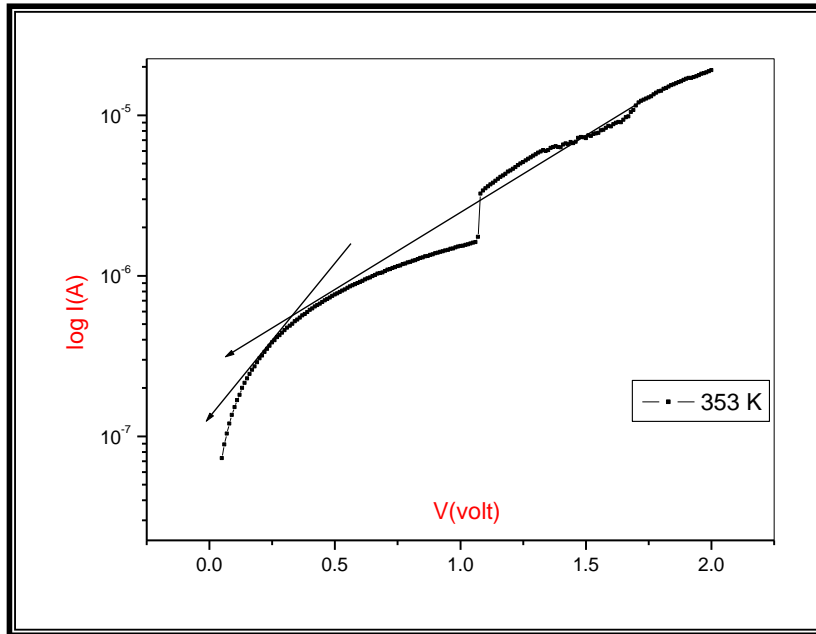


شكل (5-3-3-b): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الخلفي عند درجة حرارة 313 K للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm .

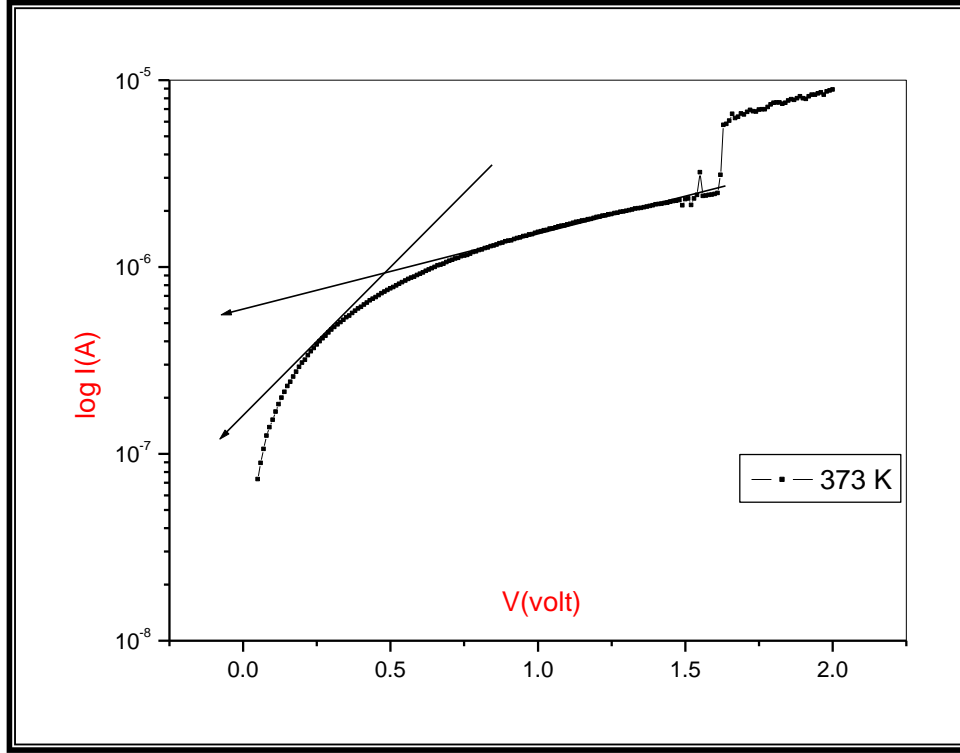




شكل (5-3-3-c): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الخلفي عند درجة حرارة 333 K للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm .



شكل (5-3-3-d): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الخلفي عند درجة حرارة 353 K للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm .



شكل (5-3-3-e): يوضح العلاقة بين  $\log I$  والجهد  $V$  في حالة التحيز الخلفي عند درجة حرارة 373 K للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227 nm.

جدول [5-3-3]: قيم معامل الجودة  $n^{\prime}$  والتيار التشبع العكسي  $I_s$  عند درجات حرارة مختلفة للوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 227nm

نوع الوصلة $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$	معامل الجودة $n^{\prime}$ $\text{cm}^{-1} \text{eV}^{-1}$	$I_{s1}(\text{A})$ عند الجهد المنخفض $V=1 \text{ volt}$	$I_{s2}(\text{A})$ عند الجهد المرتفع $V= 2 \text{ volt}$
293 K	1.51	$8.021 \times 10^{-8}$	$2.814 \times 10^{-7}$
313 K	1.69	$9.847 \times 10^{-8}$	$4.062 \times 10^{-7}$
333 K	1.68	$1.691 \times 10^{-7}$	$2.814 \times 10^{-7}$
353 K	1.15	$6.516 \times 10^{-8}$	$2.814 \times 10^{-7}$
373 K	0.97	$8.729 \times 10^{-8}$	$4.201 \times 10^{-7}$

#### (5-3-4) تعيين طاقة التنشيط ( $\Delta E$ ) للوصلات الثنائية المتغايرة $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3/n\text{-Si}$

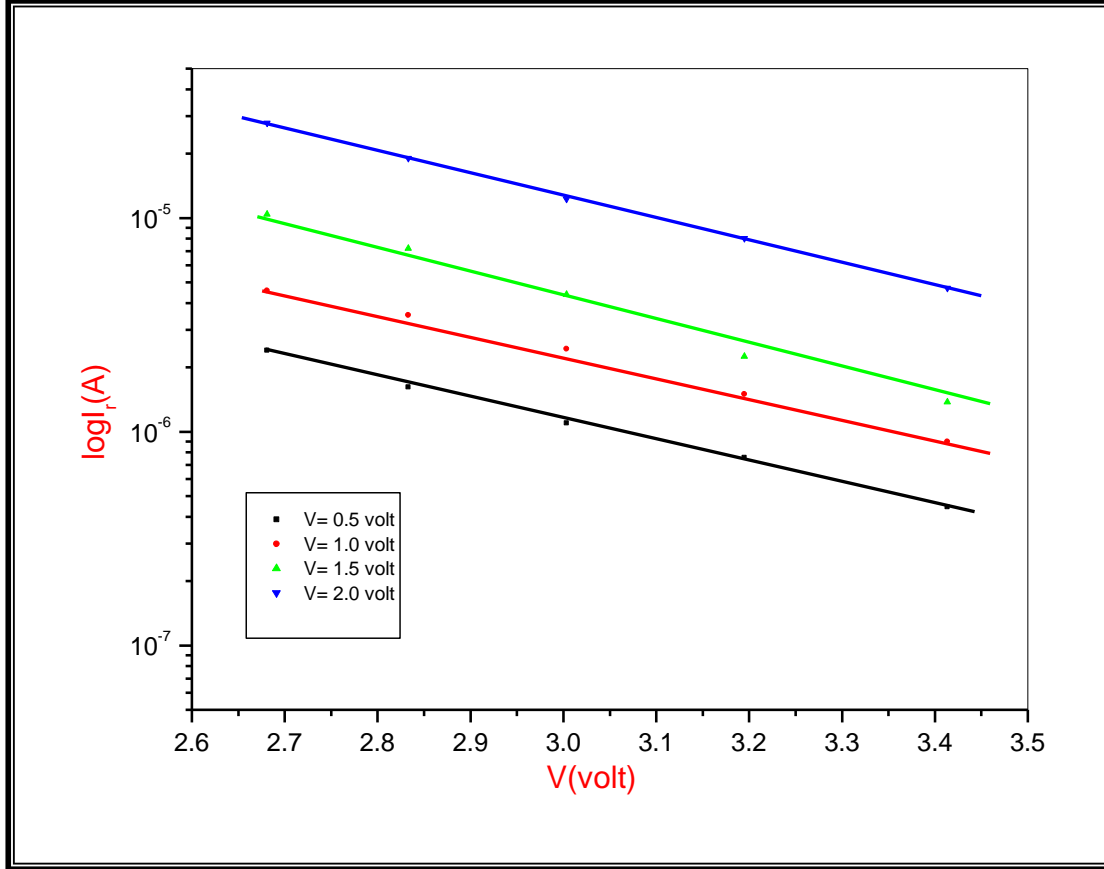
### Determination of Reverse Saturation Current of Heterojunction

#### $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3/n\text{-Si}$ :

يمكننا تعيين طاقة التنشيط (  $\Delta E$  ) ، وذلك بتثبيت قيمة الجهد العكسي عند قيم معينة وأخذ قيم تيار التشبع العكسي كما في الأشكال السابقة لمنحنيات ( تيار – جهد ) عند درجات حرارة مختلفة ، ومنها نرسم العلاقة بين لوغاريتم تيار التشبع العكسي  $I_r$  ومقلوب درجة الحرارة المطلقة  $1000/T$  ، وشكل (5-3-4) يوضح هذه العلاقة ، والتي يلاحظ فيها أن العلاقة عبارة عن خط مستقيم تبعاً للعلاقة التالية:

$$I_r = \exp(-\Delta E / KT) \quad (5-5)$$

ومن ميل هذا الخط المستقيم والذي يساوي  $-\Delta E / KT$  نحسب قيمة طاقة التنشيط  $\Delta E$  لكل قيمة جهد للتحيز العكسي  $V_r$  المعطاة . وجدول (5-3-4) يوضح قيمة طاقة التنشيط للوصلة  $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3/n\text{-Si}$  ، حيث يلاحظ أنها تزيد بزيادة الجهد.



شكل (4 - 3 - 5): يوضح العلاقة بين لوغاريتم تيار التحيز الخلفي  $\log I_r$  و مقلوب درجة الحرارة المطلقة  $1000/T$  حالة التحيز الخلفي للـوصلة  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك  $227\text{nm}$  عند جهود مختلفة.

جدول [4 - 3 - 5]: قيم طاقات التنشيط في حالة التحيز الخلفي للوصلة

n-Bi<sub>1</sub>Se<sub>3</sub> / n-Si ذات السمك 227 nm عند جهود مختلفة.

الجهود (V) (volt)	n-Bi <sub>1</sub> Se <sub>3</sub> / n-Si $\Delta E$ (eV)
0.5	0.050
1.0	0.100
1.5	0.107
2.0	0.120

### (5-3-5) تعيين حاجز جهد شوتكي وآليات التوصيل للوصلات الثنائية المتغايرة

: n- Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> / n-Si

### Determination of Schottky Barrier Height and Conductivity

### Mechanisms of Heterojunction n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> / p-Si & n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> / n-Si :

لتعيين جهد شوتكي  $\Phi_b$  للوصلات الثنائية n- Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> / n-Si ذات السمك 227nm ، وذلك بمعلومية تيار التشبع العكسي عند الجهد المنخفض والتي تم إيجادها من المنحنيات السابقة عند درجات الحرارة المختلفة، ومن نظرية الانبعاث الأيوني الحراري للوصلات الثنائية، ونعبر عن التيار من العلاقة السابقة (2 - 5) ، وعند الجهد المنخفض نجد أن تيار التشبع العكسي  $I_s$  يأخذ الصورة التالية:

$$I_s = I_0 \exp (-q\Phi_b/KT) \quad (5-6)$$

حيث  $\Phi_b$  حاجز جهد شوتكي،  $KT$  طاقة بولتزمان عند درجة حرارة  $T$ ،  $q$  شحنة الإلكترون و  $I_0$  المعامل الأسّي ونعبر بالعلاقة التالية:

$$I_s = AA^*T^2 \quad (5-7)$$

حيث  $A$  مساحة وجهد الوصلة و  $A^*$  ثابت ريتشاردسون Richardson Constant

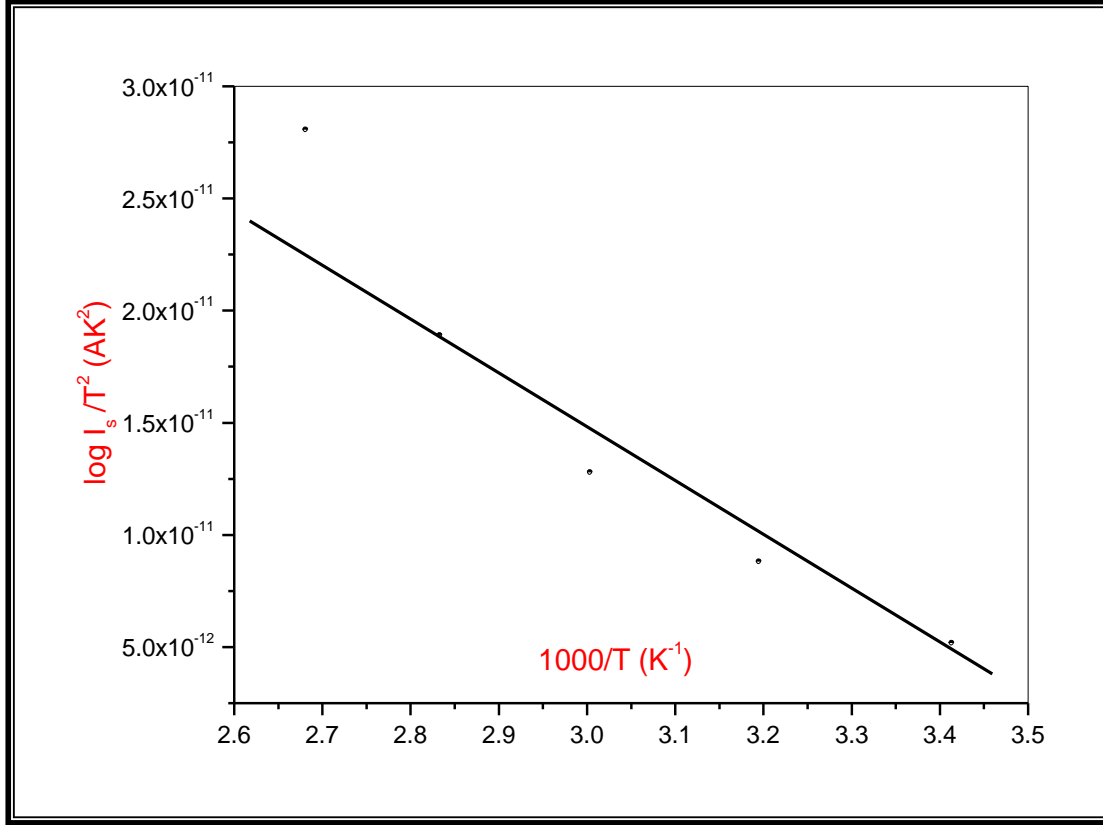
وبالتعويض في العلاقة (6 - 5) نجد أن آلية التوصيل تعطى بالعلاقة (8 - 5):

$$I_s = AA^*T^2 \exp (-q\Phi_b/KT) \quad (5-8)$$

وبأخذ لوغاريتم الطرفين و برسم العلاقة بين لوغاريتم تيار التشبع العكسي على مقلوب مربع درجة الحرارة المطلقة  $\log(I_s/T^2)$  و  $(1/T)$  نحصل على خط مستقيم من ميله يمكن تعيين حاجز جهد شوتكي ، ومن الجزء المقطوع من محور الصادات يمكن تعيين ثابت رينشاردسون وهو بقيمة  $A^*=9.78 \times 10^{-16} \text{ A/m}^2\text{k}^2$  للوصلة  $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ، وقد دونت قيمة حاجز جهد شوتكي للوصلات الثنائية في جدول [ 5 - 3 - 5 ].

والشكل (5 - 3 - 5) يوضح العلاقة بين لوغاريتم تيار التشبع العكسي مقسوم على مربع درجة الحرارة المطلقة  $\text{Log} ( I_s / T^2 )$  ومقلوب درجة الحرارة المطلقة  $( 1 / T )$ . ويلاحظ أن هذه العلاقة عبارة عن خط مستقيم مما يحقق معادلة شوتكي . وهذا يؤكد أن ( آلية التوصيل ) هي التيار السائد بالانبعاث الأيوني الحراري وآلية أخرى هي ميكانيكية التوليد – إعادة الاتحاد بين الإلكترونات والثقوب داخل منطقة الاستنزاف Depletion Region.





شكل (5 - 3 - 5): يوضح العلاقة بين لوغاريتم تيار التشبع الخلفي عند الجهد المنخفض كدالة في مقلوب درجة الحرارة المطلقة  $1000/T$  للوصلية  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك  $227\text{nm}$ .

### (5-3-6) تعيين مقاومة التسلسل (R<sub>S</sub>) ومقاومة التجزئة

### (R<sub>Sh</sub>) Shunt Resistance للوصلات الثنائية المتغايرة n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> / n-Si :

### Determination of Series Resistance and Shunt Resistance of

### Heterojunction n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> / p-Si & n-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> / n-Si :

باستخدام معادلة شوتكي المعدلة لإدخال تأثير كل من مقاومة التسلسل R<sub>S</sub> ومقاومة

التجزئة R<sub>Sh</sub> وتكتب على الصورة:

$$I = I_s \left\{ \exp \left[ \frac{q(V - IR_S)}{nKT} \right] - 1 \right\} + \frac{V - IR_S}{R_{Sh}} \quad (5-9)$$

حيث يمكن استنتاج قيم كل من مقاومة التسلسل ومقاومة التجزئة من تيار التحيز الأمامي

والخلفي عند قيم عالية للجهد على الترتيب ، ولقد اقترح لطفي<sup>(87)</sup> وآخرون طريقة جديدة لتعيين

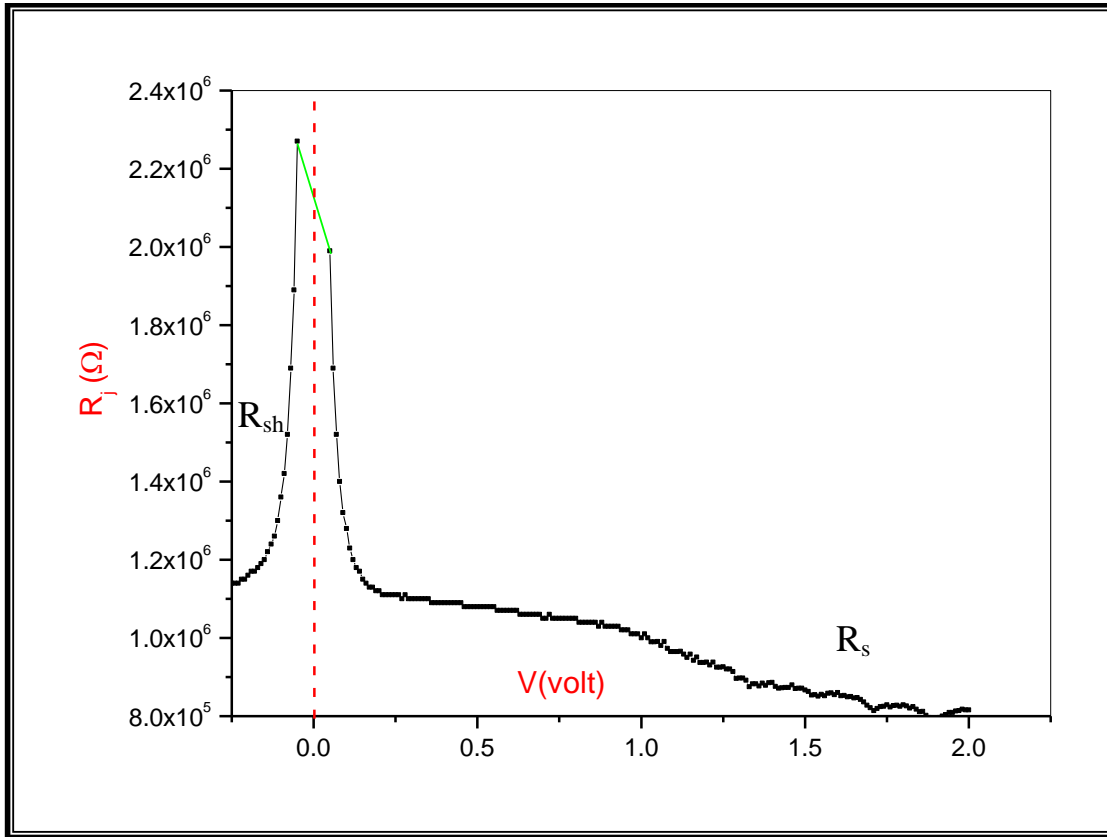
R<sub>S</sub> و R<sub>Sh</sub> عن طريق رسم العلاقة بين مقاومة الوصلة R<sub>j</sub> Junction Resistance والجهد

المقابل حيث:

$$R_j = \frac{dV}{dI} \quad (5-10)$$

والشكل (6 - 3 - 5) يوضح العلاقة بين R<sub>j</sub> و V ، حيث يلاحظ أنه عند قيم عالية للجهد فإن

مقاومة الوصلة تصل إلى قيمة ثابتة



شكل (6 - 3 - 5): يوضح العلاقة بين مقاومة الوصلة  $R_j$  وفرق الجهد في حالة التحيز الأمامي والخلفي للوصلات  $n\text{-Bi}_1\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك  $227\text{nm}$ .

جدول [5 – 3 – 5]: قيمة حاجز جهد شوتكي  $\Phi_b$  ، وقيمة مقاومة التسلسل  $R_s$  ، ومقاومة التجزئة  $R_{sh}$  للوصلة n-Bi<sub>1</sub>Se<sub>3</sub> / n-Si ذات السمك 227nm .

البارمتر	قيمه
حاجز جهد شوتكي $\Phi_b$	$9.15 \times 10^{-4}$ (eV)
مقاومة التسلسل $R_s$	$1.17 \times 10^6$ ( $\Omega$ )
مقاومة التوازي $R_{sh}$	$8.16 \times 10^5$ ( $\Omega$ )

#### (4 - 5) منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{Si}$ في حالتى الإظلام

##### والإضاءة بعد التشعيع بأشعة جاما:

تم دراسة منحنيات (التيار - جهد) للوصلات من سليبيد البزموت  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  ذات السمك 85 nm و 102 nm و 112 nm و 227 nm . والمترسبة على حوامل من السيليكون من النوعين n-Si و p-Si، في حالتى الإضاءة والإظلام بعد تعريضها للتشعيع بالجرعتين 10kgy و 50kgy .

إن جدول [5-4-a] يحتوي قيم التيار العظمى بالأمبير عندما يكون الجهد = 2V لمنحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة  $\text{n-Bi}_1\text{Se}_3$  مع السيليكون بنوعيه الموجب والسالب ذات السمك 85nm و 102nm.

بينما جدول [5-4-b] يحتوي قيم التيار العظمى بالأمبير عندما يكون الجهد = 2V لمنحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة  $\text{n-Bi}_1\text{Se}_3$  مع السيليكون بنوعيه الموجب والسالب ذات السمك 112nm و 227nm.

#### وتم استنتاج أن التشعيع له آثار إيجابية على الوصلات وهى:

- زيادة قيم التيار لجميع الوصلات بعد تعريضها للتشعيع عنها قبل تعريض الوصلات للتشعيع ، ويلاحظ أن أثر التشعيع يكون ملحوظا في زيادة قيم التيارات حيث يكون أكبر بكثير من قيمته بتأثير التلدين.

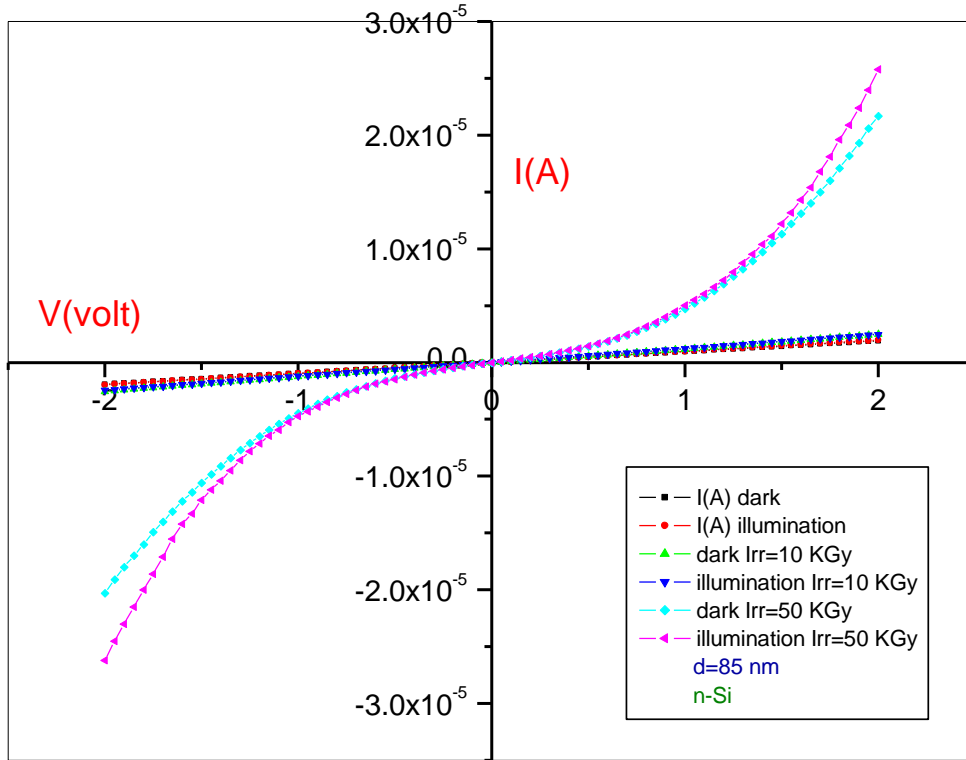
- تم تحسين سلوك الوصلات خاصة من النوع (n-n) بعد التشعيع بجرعة 50kgy لتتسلق سلوك شبه موصل مثالي بالرغم من أنها قبل التشعيع كانت تتسلق سلوكاً أومياً خطياً ، يتضح ذلك من خلال الأشكال:

(5 - 4 - 1 - a) و (5 - 4 - 2 - a) و (5 - 4 - 3 - a) و (5 - 4 - 4 - a).

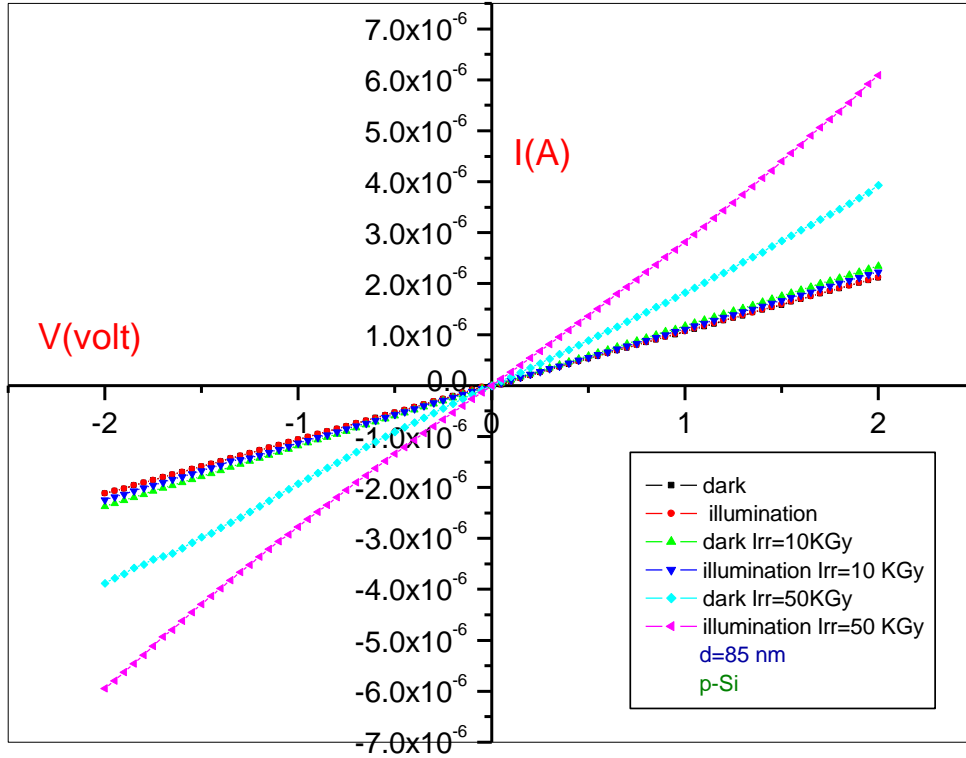
- تحافظ الوصلات من النوع (n-p) على السلوك الأومي الخطي بعد تعريضها للتشعيع بجرعة 50kgy ولكن قيم التيارات تزيد بشكل ملحوظ بعد التشعيع ، يتضح ذلك من الأشكال:

(5 - 4 - 1 - b) و (5 - 4 - 3 - b) .

- نلاحظ أن منحنيات الإضاءة تكون أعلى من منحنيات الإظلام في قيم التيارات بعد التشعيع بالجرعتين 10kgy و 50kgy مما يؤهلها لأن تستخدم كديودات إضاءة .Light Diodes

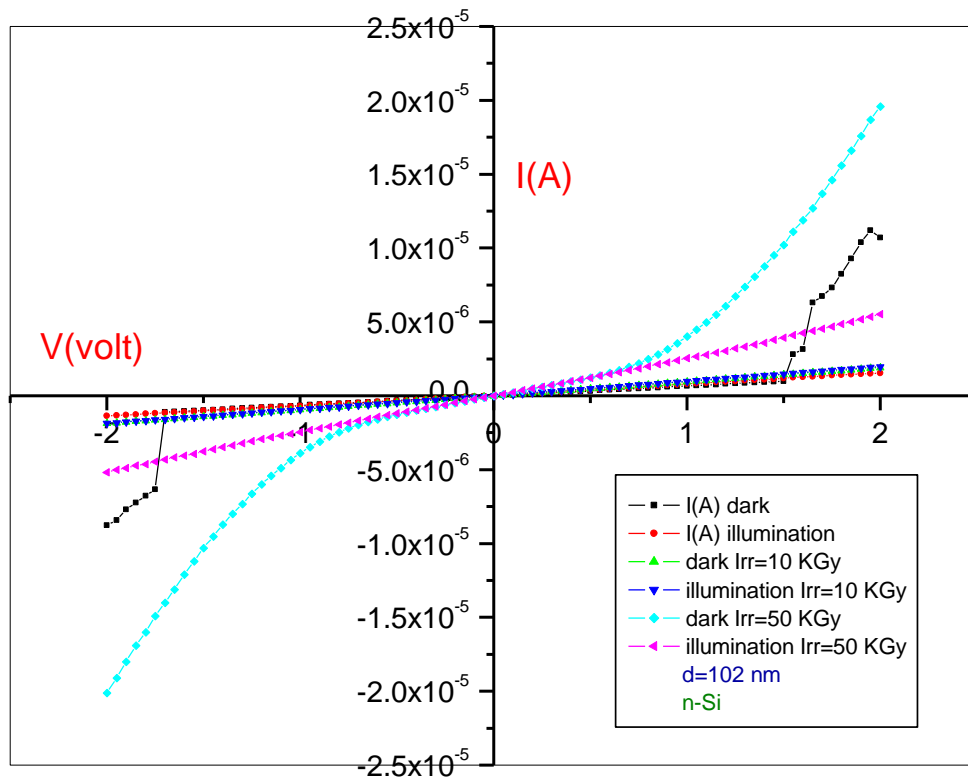


شكل (a - 1 - 4 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة  $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك 85nm في حالتَي الإضاءة والإظلام بعد التشعيع.

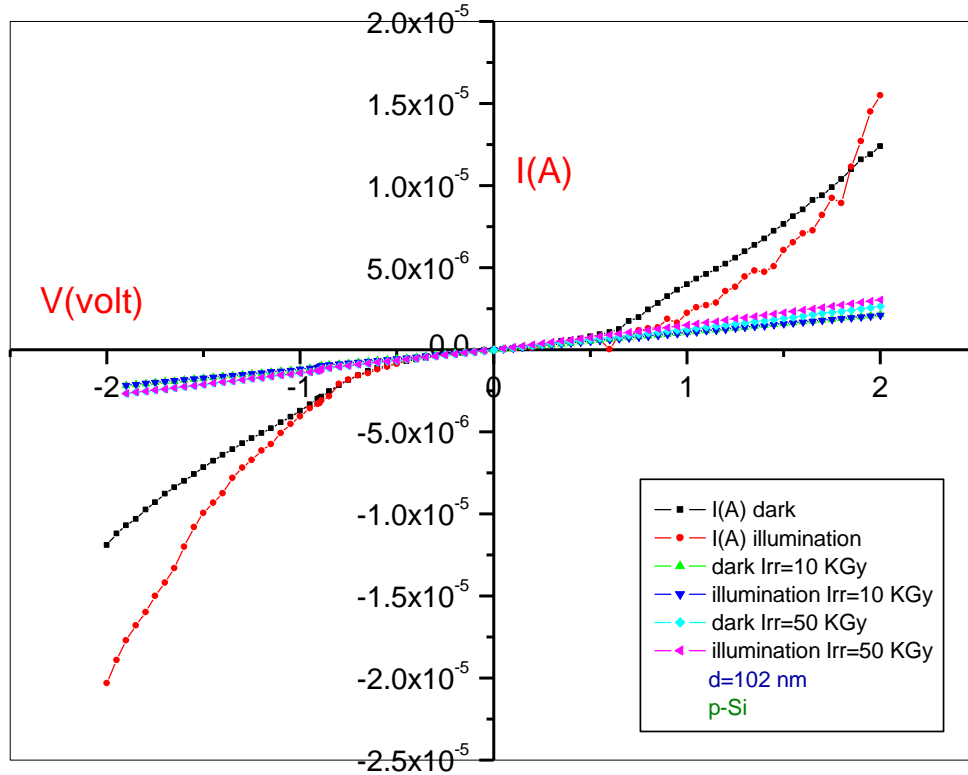


شكل (b - 1 - 4 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة n-  
 Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/ p-Si ذات السمك 85nm في حالتَي الإضاءة والإظلام بعد  
 التشعيع.

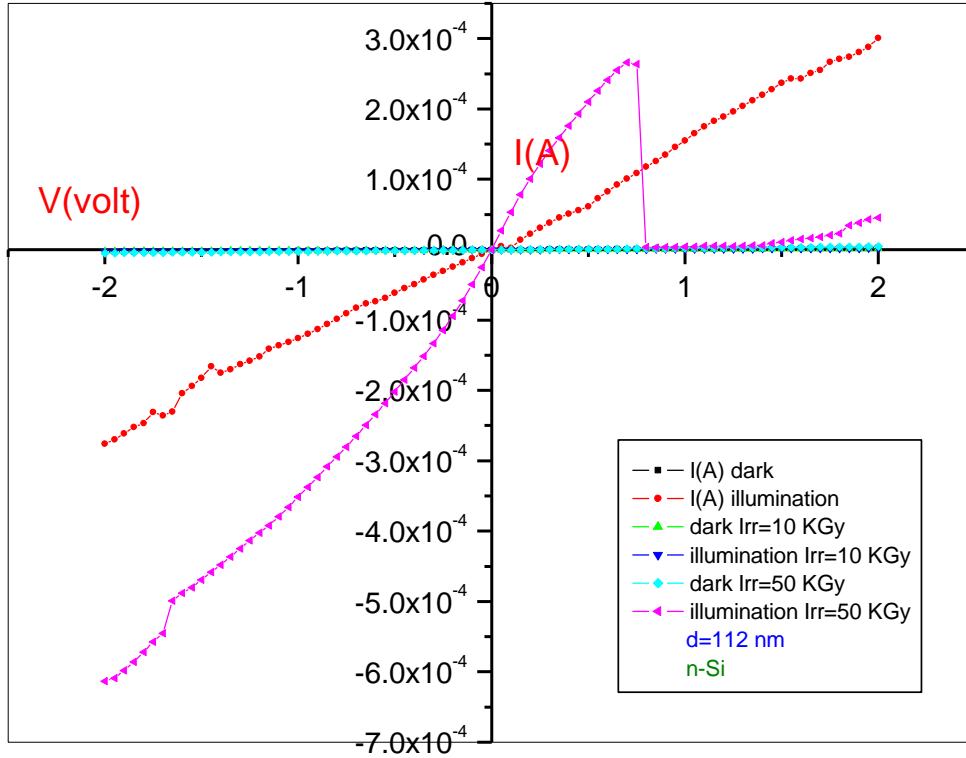




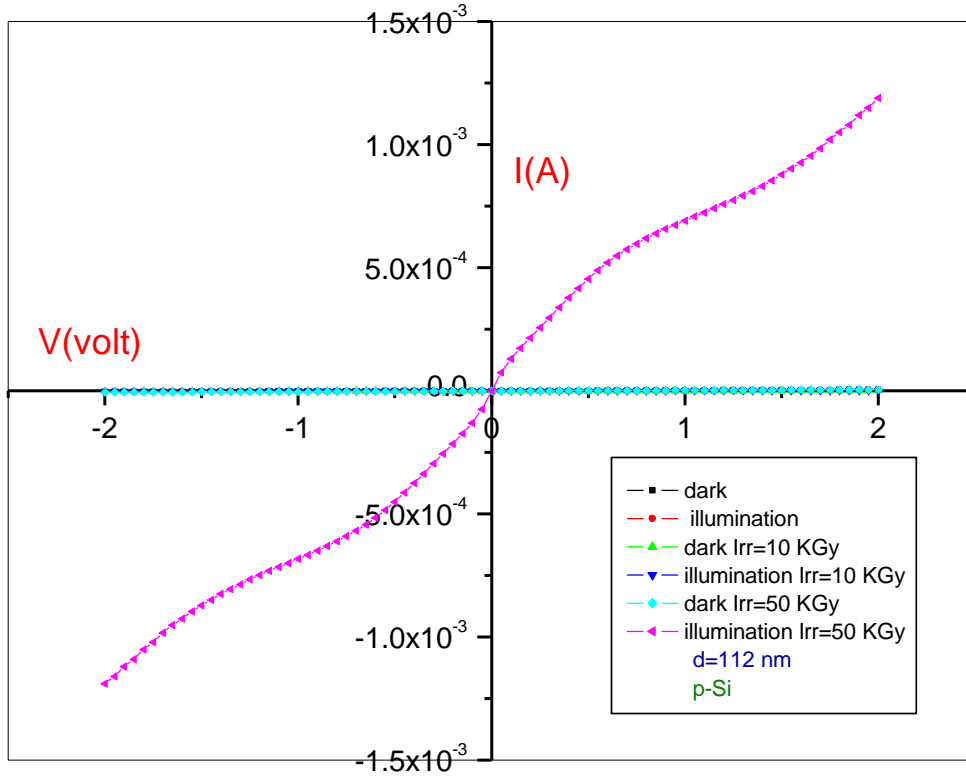
شكل (a - 2 - 4 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة n-  $\text{Bi}_2\text{Se}_3 / \text{n-Si}$  ذات السمك 102nm في حالتها الإظلام والإضاءة بعد التشعيع.



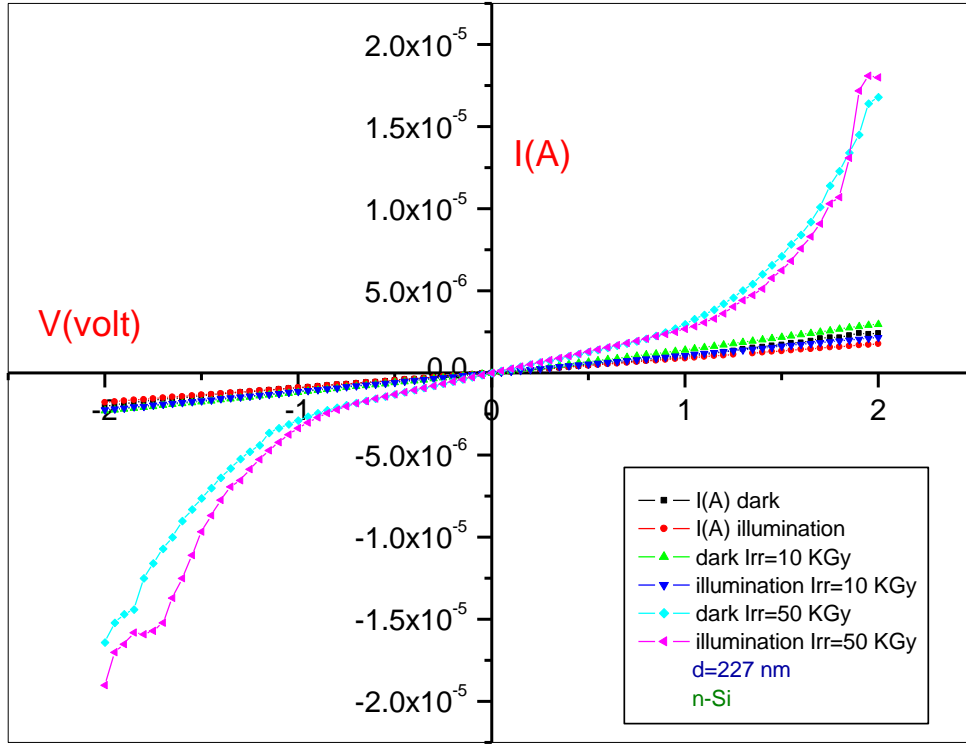
شكل (b - 2 - 4 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة n-  
 Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/ p-Si ذات السمك 102nm في حالتها الإظلام والإضاءة بعد  
 التشعيع.



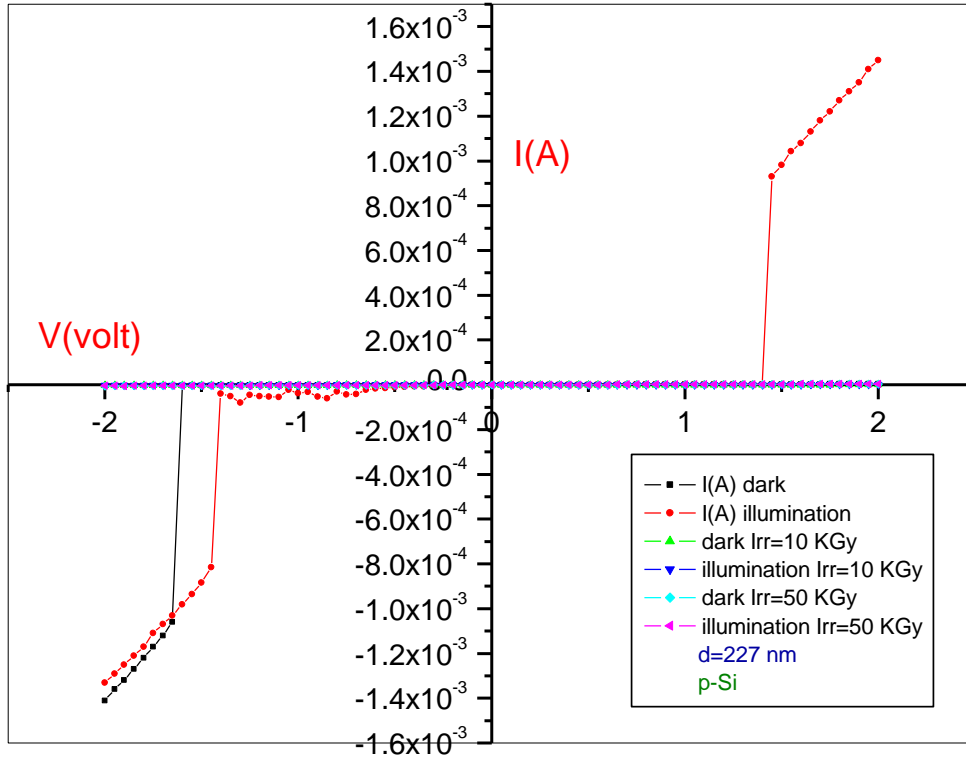
شكل (a- 3- 4- 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة n-  $\text{Bi}_2\text{Se}_3 / \text{n-Si}$  ذات السمك 112nm في حالتها الإظلام والإضاءة بعد التشعيع.



شكل (b - 3 - 4 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة n-  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  / p-Si ذات السمك 112nm في حالتها الإظلام والإضاءة بعد التشعيع.



شكل (a- 4- 4- 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة n-  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  / n-Si ذات السمك 227nm في حالتها الإظلام والإضاءة بعد التشعيع.



شكل (b - 4 - 4 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة n-  
 Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> / p-Si ذات السمك 227nm في حالتها الإظلام والإضاءة بعد  
 التشعيع.

جدول [5-4-a]: قيم التيار العظمى بالأمبير عندما يكون الجهد = 2V لمنحنيات (التيار – جهد) المميزة للوصلة n-Bi<sub>1</sub>Se<sub>3</sub> / Si ذات السمك 85nm و 102nm.

		قيم التيار العظمى بالأمبير عندما يكون الجهد = 2V d= 85 nm				قيم التيار العظمى بالأمبير عندما يكون الجهد = 2V d= 102 nm			
		n- Si		p- Si		n- Si		p- Si	
		تحيز أمامي	تحيز عكسي	تحيز أمامي	تحيز عكسي	تحيز أمامي	تحيز عكسي	تحيز أمامي	تحيز عكسي
قبل التشعيع	إظلام	1.90E-6	1.92E-6	2.11E-6	2.12E-6	1.07E-5	8.76E-6	1.24E-5	1.19E-5
	إضاءة	1.96E-6	1.96E-6	2.12E-6	2.12E-6	1.53E-6	1.36E-6	1.55E-5	2.03E-5
بعد التشعيع بجرعة 10Kgy	إظلام	2.5E-6	2.52E-6	2.35E-6	2.37E-6	1.92E-6	1.86E-6	2.15E-6	2.16E-6
	إضاءة	2.48E-6	2.44E-6	2.23E-6	2.24E-6	1.98E-6	1.86E-6	2.10E-6	2.15E-6
بعد التشعيع بجرعة 50Kgy	إظلام	2.17E-5	2.03E-5	3.93E-6	3.88E-6	1.96E-5	2.01E-5	2.65E-6	2.66E-6
	إضاءة	2.58E-5	2.62E-5	6.09E-6	5.94E-6	5.54E-6	5.18E-6	3.04E-6	2.66E-6

جدول [5-4-b]: قيم التيار العظمى بالأمبير عندما يكون الجهد = 2V لمنحنيات (التيار – جهد) المميزة للوصلة n-Bi<sub>1</sub>Se<sub>3</sub> / Si ذات السمك 112nm و 227nm.

		قيم التيار العظمى بالأمبير عندما يكون الجهد = 2V d= 112 nm				قيم التيار العظمى بالأمبير عندما يكون الجهد = 2V d= 227 nm			
		n- Si		p- Si		n- Si		p- Si	
		تحيز أمامي	تحيز عكسي	تحيز أمامي	تحيز عكسي	تحيز أمامي	تحيز عكسي	تحيز أمامي	تحيز عكسي
قبل التشعيع	إظلام	2.83E-6	3.5E-6	5.58E-6	4.19E-6	2.42E-6	2.05E-6	3.71E-6	1.41E-3
	إضاءة	3.01E-4	2.76E-4	3.16E-6	3.17E-6	1.78E-6	1.79E-6	1.45E-3	1.33E-3
بعد التشعيع بجرعة 10Kgy	إظلام	2.16E-6	2.19E-6	1.57E-6	1.68E-6	2.98E-6	2.3E-6	1.48E-6	1.6E-6
	إضاءة	2.2E-6	2.19E-6	1.85E-6	1.90E-6	2.17E-6	2.24E-6	1.78E-6	1.82E-6
بعد التشعيع بجرعة 50Kgy	إظلام	4.73E-6	4.76E-6	5.78E-6	5.76E-6	1.68E-5	1.64E-5	4.09E-6	4.54E-6
	إضاءة	4.57E-5	6.13E-4	1.19E-3	1.19E-3	1.80E-5	1.9E-5	4.18E-6	4.18E-6



## (5 - 5) منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{Si}$ عند درجات حرارة

### مختلفة بعد التشعيع بأشعة جاما:

تم دراسة منحنيات (التيار - جهد) للوصلات من سلينييد البزموت  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  للوصلات ذات السمك 102nm و 227nm. والمترسبة على حوامل من السيليكون من النوعين n-Si و p-Si عند درجات حرارة مختلفة بعد تعريضها للتشعيع بجرعة 50kgy ومن ثم تلدينها إلى درجات 333K و 353K و 373K ، ويمكن استنتاج التالي:

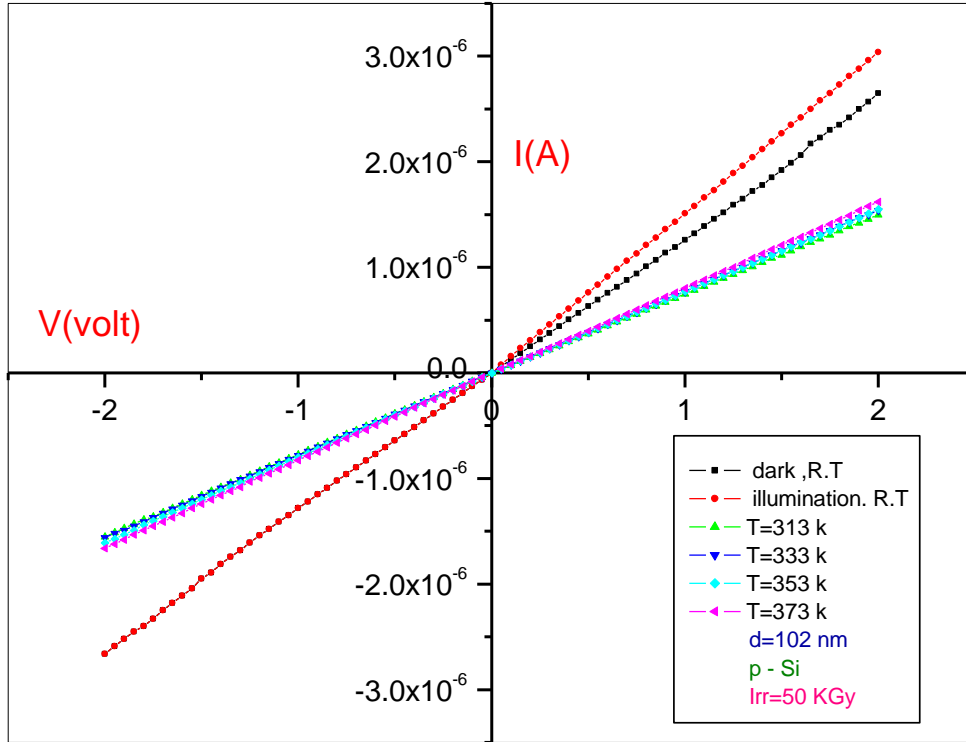
- بعد تشعيع الوصلات بجرعة 50kgy ورفع درجة حرارتها 20K تفقد الوصلات القيم العالية للتيار التي اكتسبتها بسبب التشعيع بحيث تنخفض قيم التيار فيها بشكل مفاجئ عند تسخينها ، مما يشير إلى آلية الانبعاث الأيوني الحراري حيث ترتفع بعد ذلك قيم التيار مع ارتفاع درجة الحرارة بشكل تدريجي بسيط لا ترجع فيها قيم التيارات لدرجتها بعد التشعيع بجرعة 50kgy وقيم التيار فيها تكون متقاربة جداً عند درجات الحرارة 333K و 353K و 373K للتحيزين الأمامي والعكسي. يظهر ذلك في الأشكال :

(5 - 5 - 1) و (5 - 5 - 2 - a) و (5 - 5 - 2 - b).

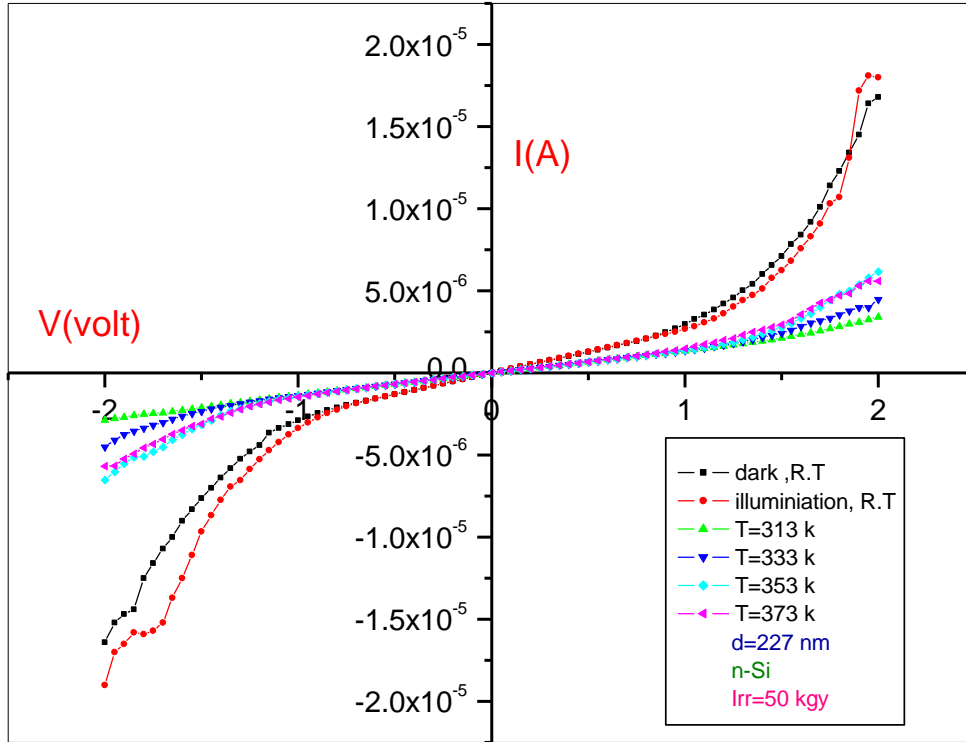
- تحافظ الوصلات (n-n) على السلوك الذي اكتسبته بسبب التشعيع وهو سلوك شبه الموصل بالرغم من تلدينها ، وهذا يؤكد أن التركيب لم يتغير ولم تحدث فيه عيوب بلورية ولكن قيم التيار تقل بشكل ملحوظ بعد التلدين ولكن بقيم أعلى بقليل مما كانت عليه قبل التشعيع . شكل: (5 - 5 - 2 - a) .

ويمكن الاستفادة من أثر التلدين بعد التشعيع بجرعة 50kgy في: المحافظة على سلوك الوصلة (n-n) وهو سلوك شبه الموصل الذي اكتسبته بسبب التشعيع ولكن بقيم أقل من القيم المقاسة عند تلدين هذه الوصلة.

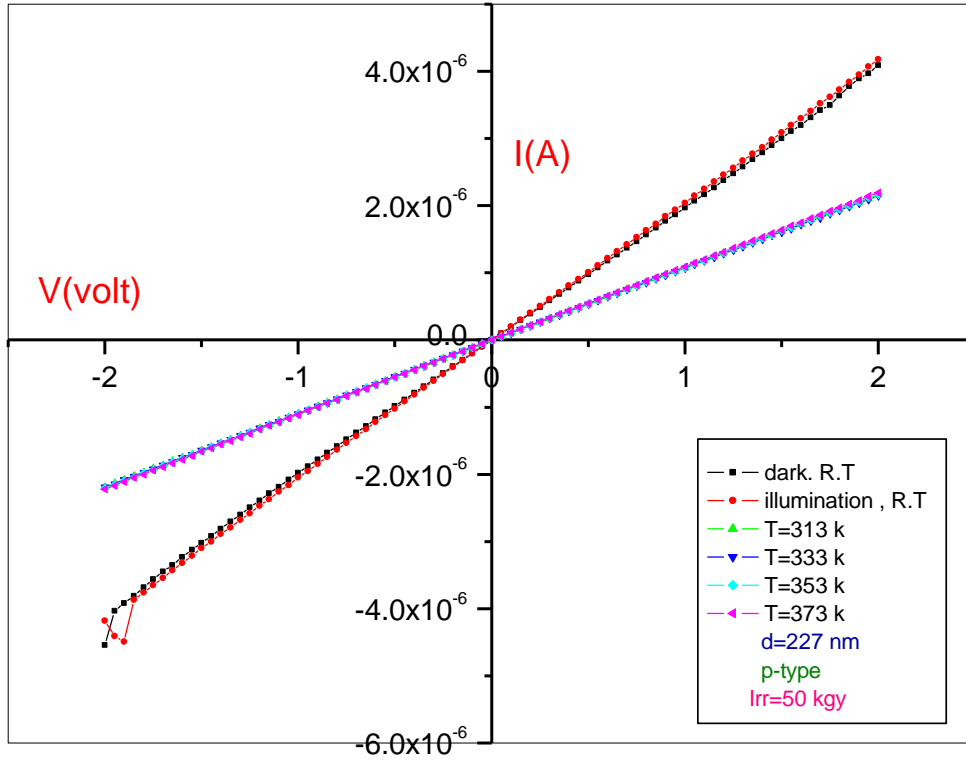
وفي حالة الرغبة في المحافظة على قيم التيارات العالية التي اكتسبتها الوصلات بعد التشعيع بجرعة 50kgy ، يجب الحذر من تعريض الوصلات لارتفاع درجة الحرارة بحيث لا تزيد عن 20K، حتى لا تفقد قيم التيار التي اكتسبتها.



شكل (1 - 5 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة  $\text{Bi}_2\text{Se}_3 / \text{p-Si}$  ذات السمك 102nm عند درجات حرارة مختلفة بعد التشعيع.



شكل (a- 2- 5- 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة  $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3 / n\text{-Si}$  ذات السمك  $227\text{nm}$  عند درجات حرارة مختلفة بعد التشعيع.



شكل (b - 2 - 5 - 5): منحنيات (التيار - جهد) المميزة للوصلة  $n\text{-Bi}_2\text{Se}_3 / p\text{-Si}$  ذات السمك  $227\text{nm}$  عند درجات حرارة مختلفة بعد التشعيع.