



جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة بغداد  
كلية التربية للعلوم الصرفة / ابن الهيثم

# تصنيع مفرق هجين نوع ZnTe/Si النقي والمشوب بالنحاس بطريقة الترسيب الحراري ودراسة خصائصه

أطروحة مقدمة إلى

كلية التربية للعلوم الصرفة/ ابن الهيثم، جامعة بغداد

وهي جزء من متطلبات نيل درجة دكتوراه فلسفة في الفيزياء

من قبل

**سرمد مهدي علي**

(بكالوريوس علوم في الفيزياء 2001 )

( ماجستير علوم في الفيزياء 2011 )

بإشراف

**أ.د. علي عبد المحسن شهاب**

**أ.د. سمير عطا مكي**

2018 م

1439 هـ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقُلْ زِدْنِي عِلْمًا

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

سورة طه - آية (114)

## إقرار الأستاذ المشرف

أشهد أن الأطروحة الموسومة بـ (تصنيع مفرق هجين نوع ZnTe/Si النقي والمشوب بالنحاس بطريقة الترسيب الحراري ودراسة خصائصه) التي قدمها (سرمد مهدي علي) جرى بإشرافنا في قسم الفيزياء/ كلية التربية للعلوم الصرفة / ابن الهيثم - جامعة بغداد، وهي جزء من متطلبات درجة

دكتوراه فلسفة في الفيزياء.

التوقيع

الاسم : د. علي عبد المحسن شهاب

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ: 2018 / 1 / 28

التوقيع

الاسم : د. سمير عطا مكي

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ: 2018 / 1 / 28

توصية رئيس قسم الفيزياء

إشارة إلى التوصية المقدمة من الأستاذ المشرف أحيل هذه الأطروحة على لجنة المناقشة لبيان الرأي فيها.


الاسم: د. كريم علي جاسم

المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ: 2018 / 1 / 28

## اقرار المقوم اللغوي

أشهد إني راجعت رسالة الطالب ( سرمد مهدي علي ) الموسومة ( تصنيع مفرق هجين نوع ZnTe/Si النقي والمشوب بالنحاس بطريقة الترسيب الحراري ودراسة خصائصه ) من الناحية اللغوية وصحت ما ورد فيها من أخطاء لغوية وتعبيرية، وبذلك أصبحت الرسالة مؤهلة للمناقشة قدر تعلق الأمر بسلامة الأسلوب وصحة التعبير.

 التوقيع:

الاسم: د. مؤيد عباس

الدرجة العلمية:

التاريخ: 9 / 10 / 2018 م

## إقرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة المناقشة أننا إطلعنا على الأطروحة الموسومة  
(تصنيع مفرق هجين نوع ZnTe/Si النقي والمشوب بالنحاس بطريقة الترسيب الحراري ودراسة خصائصه) المقدمة من قبل  
الطالب (سرمد مهدي علي) وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها فوجدناها جديرة بالقبول ومستوفية لمتطلبات نيل درجة دكتوراه  
فلسفة في الفيزياء وبتقدير (إمتياز).

  
رئيس اللجنة  
التوقيع :

الاسم: د. رائد عبد الوهاب اسماعيل

المرتبة العلمية: أستاذ

عضو اللجنة

  
التوقيع :

الاسم: د. صبا جميل حسن

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

عضو اللجنة

  
التوقيع :

الاسم: د. بشرى كاظم حسون

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

عضو اللجنة ومشرفاً

  
التوقيع :

الاسم: د. علية عبد المحسن شهاب

المرتبة العلمية: أستاذ  
صُدقت من قبل مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة (إبن الهيثم) - جامعة بغداد

  
التوقيع :

( ع. عميد الكلية )

الاسم: د. حسن احمد حسن

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

عضو اللجنة

  
التوقيع :

الاسم: د. اقبال سهام ناجي

المرتبة العلمية: أستاذ

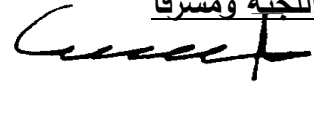
عضو اللجنة

  
التوقيع :

الاسم: د. علاء جبار غزالي

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

عضو اللجنة ومشرفاً

  
التوقيع :

الاسم: د. سمير عطا مكي

المرتبة العلمية: أستاذ

# الإهداء

إلى روح الوصي المصطفى محمد ( صلى الله عليه وآله وسلم ) .



إلى الأحرمة الذين ضحوا براحتهم ليعبدوا الطريق ...

والديّ رحمهم الله

إلى من أسرجت الأمل في قلبي وعمرتني بالحب ...

زوجتي

إلى براعمي المتفتحة رحاهم الله .....

أولادي

إلى الضموع التي أضاءت دربي فأهتديت بها ...

أساتذتي الأفاضل

إلى كل من يحبني ويريد لي الخير .....

أهدي ثمرة جهدي المتواضع

مع محبتي واعتزازي واحترامي

## شكر وتقدير



أحمد الله وأشكره شكر الذاكرين والصلاة والسلام على خير النبيين محمد صل الله عليه وعلى آله وصحبه المنتجبين أجمعين.

لا يسعني بعد إكمال هذا البحث إلا أن أقدم الشكر الجزيل والتقدير الفائق إلى أساتذتي الافاضل د. علية عبدالمحسن شهاب و د. سمير عطا مكي لاقتراحهما موضوع البحث ولما قدماه من اهتمام وجهد كبيرين طوال مدة إعداد البحث، وفقهما الله سبحانه وتعالى إلى كل خير وصلاح.

كما أشكر رئاسة قسم الفيزياء وجميع أساتذتي الأفاضل في القسم لما قدموه من مساعدة طيلة فترة البحث، كما وا قدم شكري لزملائي طلاب الدراسات الذين كانوا نعم السند والعون، والى كل من ابدى النصيحة والمشورة وساهم في إخراج هذا البحث إلى حيز الوجود، وأعتذر عن ذكر الأسماء مع الاعتزاز بهم ، جزاهم الله عني خير جزاء ووقفنا جميعا لما يحب ويرضى. ولا يفوتني في الختام أن أقدم شكري و عرفاني بالجميل لزوجتي ولأفراد عائلتي كافة الذين كابدوا الكثير من العناء في أثناء دراستي، واقف عاجزا عن شكرهم لما منحوني إياه من رعاية واهتمام وتشجيع طوال مدة الدراسة داعيا الله أن يمدهم بدوام الصحة والموفقية.

الباحث

## الخلاصة

حُضرت في هذا البحث سبيكة (ZnTe) بوضع عناصر السبيكة في أنبوب مفرغ الهواء مصنوع من مادة الكوارتز، عند ضغط ( $2 \times 10^{-3}$  mbar)، تم حرقها لدرجة حرارة  $1250^\circ\text{C}$  ولمدة ساعة. استخدمت فحوصات حيود الأشعة السينية لمسحوق السبيكة، فتبين أنها تمتلك تركيب متعدد التبلور ومن النوع المكعب والسداسي. تم ترسيب أغشية (ZnTe) النقية والمطعمة بالنحاس (ZnTe:Cu) بطريقة التبخير الحراري في الفراغ بمعدل ترسيب  $(0.55 \pm 0.05) \text{ nm sec}^{-1}$  وبسمك (400) nm. وهذه الأغشية تم تشويبها بالنحاس (Cu) بنسب (3, 5, 7)% وتلدينها بدرجة حرارة  $(100, 300)^\circ\text{C}$  ولمدة ساعة في فرن مفرغ من الهواء.

أظهرت نتائج قياسات (XRD) أن جميع الأغشية المحضرة كانت ذات تركيب بلوري يقترب من احادي التبلور (single crystalline) ومن النوع المكعب (Cubic) مع هيمنة النمو بالإتجاه (111) للأغشية المحضرة كافة، مع تناقص معدل الحجم البلوري وزيادة شدة الحيود بزيادة التلدين. كذلك ظهور قمم ضعيفة تعود لعنصر التيلوريوم (Te).

فضلا عن نتائج XRD، أظهرت نتائج مجهر القوة الذرية (AFM) ان جميع الاغشية المحضرة تمتلك توزيع متجانس للحبيبات وخشونة السطح تزداد مع زيادة التلدين وبزيادة التشويب تناقص الحجم الحبيبي. أوضحت قياسات الخواص البصرية بان الانتقالات البصرية كانت مباشرة مسموحة وان قيم النفاذية تزداد مع زيادة نسبة التشويب بالنحاس وبالتالي سوف تتناقص الامتصاصية، ان فجوة الطاقة البصرية لكل الاغشية تزداد بزيادة عملي التشويب والتلدين. وأن قيمة فجوة الطاقة البصرية بحدود (2.4 eV) للأغشية النقية عند R.T ويمكن التحكم بها عن طريق نسبة التشويب والتلدين. كذلك تم حساب معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون.

تضمنت دراسة الخصائص الكهربائية للأغشية المحضرة التوصيلية المستمرة وتأثير هول. وأظهرت نتائج التوصيلية آيتين للانتقال الالكتروني، أي طاقتي تنشيط. وبينت نتائج تأثير هول أن الأغشية كافة هي من النوع (P-type)، وان تركيز الحاملات والتحررية يزداد بزيادة التلدين وان اضافة النحاس قلل من تركيز الحاملات. وقد بينت نتائج قياسات (سعة - جهد) أن المفروق المصنوع هو من النوع الحاد. وأن جهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) وعرض منطقة النضوب يزداد بزيادة التلدين ونسبة التشويب.

أظهرت نتائج قياسات (تيار-جهد) للمفروق ZnTe/Si تيار الظلام في حالة الانحياز الامامي يتغير مع الفولطية المسلطة. وتيار التشبع يزداد بزيادة التشويب بينما عامل المثالية بحدود (2.3) لاغلب المفارق الهجينة، فضلا عن انها تملك خواص المفروق المقوم. اما عند الاضاءة فقد اظهر بعض المفارق المحضرة سلوك المتحسس الضوئي.



# قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	رقم الفقرة
الفصل الأول (مقدمة عامة)		
1	مقدمة	1-1
2	نبذة عن مادة ZnTe	2-1
5	خواص النحاس	3-1
6	الدراسات السابقة	4-1
11	هدف البحث	5-1
الفصل الثاني (الجانب النظري)		
12	مقدمة	1-2
12	الخصائص التركيبية	2-2
12	التركيب البلوري والمخطط الطوري للمركب (ZnTe)	1-2-2
13	حيود الأشعة السينية (XRD)	2-2-2
15	ثوابت الشبكة	3-2-2
16	معدل الحجم البلوري (C.S)	4-2-2
16	مجهر القوة الذرية AFM	3-2
18	الخواص البصرية	4-2
18	الامتصاص البصري	1-4-2

18	حافة الامتصاص الاساسية	2-4-2
19	الانتقالات البصرية	3-4-2
22	الثوابت البصرية	5-2
22	الامتصاصية	1-5-2
22	النفاذية	2-5-2
22	معامل الامتصاص	3-5-2
23	الخواص الكهربائية	6-2
24	التوصيلية المستمرة (D.C)	1-6-2
26	تأثير هول	2-6-2
28	المفارق الهجينة	7-2
29	نظرية المفارق الهجينة الحادة غير المتماثلة	1-7-2
32	المفارق الهجينة الحادة المتماثلة	2-7-2
33	المفارق الهجينة المتدرجة	3-7-2
34	طرائق تصنيع المفارق الهجينة	8-2
34	الخصائص الكهربائية للمفارق الهجين	9-2
34	خصائص (تيار-جهد)	1-9-2
36	خصائص (سعة-جهد)	2-9-2
38	المفارق الهجين وتأثير النفاذة	10-2
39	الخواص الفولطائية الضوئية للمفارق الهجين	11-2
41	الكواشف الضوئية	12-2
41	الكواشف الفولطائية الضوئية	1-12-2
<b>الفصل الثالث (الجانب العملي)</b>		
43	مقدمة	1-3
44	الجانب العملي	2-3

45	تحضير السبيكة	3-3
46	منظومة التبخير	4-3
47	تحضير القواعد	5-3
48	تهيئة الاقنعة	6-3
49	تحضير الأغشية الرقيقة	7-3
49	قياس السمك لأغشية الرقيقة	8-3
50	القياسات التركيبية	9-3
50	حيود الأشعة السينية	1-9-3
51	قياسات مجهر القوة الذرية (AFM)	2-9-3
51	القياسات البصرية	10-3
52	القياسات الكهربائية	11-3
52	قياس التوصيلية الكهربائية المستمرة	1-11-3
52	تأثير هول	2-11-3
53	خصائص التيار - فولتية تحت الاضاءة	3-11-3
54	قياسات خصائص التيار - فولتية في الظلام	4-11-3
55	قياسات خصائص سعة - فولتية	5-11-3

#### الفصل الرابع (النتائج والمناقشة)

56	المقدمة	1-4
57	الخصائص التركيبية	2-4
57	نتائج حيود الأشعة السينية لسبيكة (ZnTe)	1-2-4
59	نتائج XRD للأغشية (ZnTe)	2-2-4
62	نتائج مجهر القوة الذرية (AFM)	3-2-4
66	نتائج التحليل الطيفي لتفريق الطاقات للأشعة السينية - EDAX	4-2-4
68	الخصائص البصرية	3-4

68	طيف الامتصاصية والنفاذية	1-3-4
70	حساب معامل الامتصاص ( $\alpha$ )	2-3-4
71	حساب قيمة فجوة الطاقة البصرية	3-3-4
73	القياسات الكهربائية	4-4
73	التوصيلية الكهربائية المستمرة وطاقات التنشيط	1-4-4
77	تأثير هول	2-4-4
80	خصائص المفرق الهجين	5-4
80	عامل المثالية وتيار الاشباع	1-5-4
83	خصائص (I-V) للمفرق الهجين في الظلام	2-5-4
88	خصائص (I-V) للمفرق الهجين في الاضاءة	3-5-4
94	خصائص (سعة-جهد)	4-5-4
98	الاستنتاجات	6-4
98	المشاريع المستقبلية	7-4
99	المصادر	

## قائمة الرموز العلمية

وحدة القياس	المصطلح العلمي	الرمز
nm	ثابت الشبكة	a
cm <sup>2</sup>	مساحة الغشاء	A
nm	المسافة البينية بين السطوح الذرية	d
cm <sup>2</sup> .V <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	تحركية الحاملات	μ
Ω <sup>-1</sup> .cm <sup>-1</sup>	التوصيلية الكهربائية المستمرة	σ <sub>d.c</sub>
eV	الألفة الإلكترونية	χ
V	جهد الانتشار (جهد البناء الداخلي)	V <sub>bi</sub>
eV	فجوة الطاقة البصرية	E <sub>g</sub>
F.cm <sup>-1</sup>	ثابت العزل الكهربائي	ε
C	شحنة الإلكترون	q
cm <sup>-3</sup>	تركيز الشوائب القابلة	N <sub>A</sub>
Tesla	شدة المجال المغناطيسي	B
cm	عرض منطقة النضوب	W
msec	زمن الإستجابة	t <sub>resp.</sub>
J.s	ثابت بلانك	h
J.K <sup>-1</sup>	ثابت بولتزمان	k <sub>B</sub>
K	درجة الحرارة المطلقة	T
-	عامل المثالية	β
A	تيار الانحياز الأمامي	I <sub>f</sub>
A	تيار الإشباع	I <sub>s</sub>
F	سعة المتسعة	C

eV	طاقة التنشيط	$E_a$
A/cm <sup>2</sup>	كثافة التيار الكهربائي	J
V	فولتية الدائرة المفتوحة	$V_{oc}$
A	تيار الدائرة القصيرة	$I_{sc}$
nm	سُمك الغشاء الرقيق	t
A	التيار الضوئي	$I_{ph}$
deg	زاوية براك	$\theta_B$
-	النفاذية	T
-	الامتصاصية	A
nm	الطول الموجي	$\lambda$
-	الكفاءة الكمية	$\eta$
m/s	سرعة الضوء في الفراغ	c
cm <sup>3</sup> .C	معامل هول	$R_H$
cm <sup>-3</sup>	تركيز حاملات الشحنة لوحدة الحجم	n
V	فولتية هول	$V_H$
A	تيار هول	I
cm <sup>-1</sup>	معامل الإمتصاص البصري	$\alpha$

الفصل الأول

المقدمة العامة

## Introduction

## (1-1) المقدمة:

تعد اشباه الموصلات (Semiconductor) من أهم أصناف المواد الصلبة المستعملة في تصنيع النبايط الالكترونية، اذ تكون توصيليتها بمدى يتراوح ( $10^{-8} - 10^3 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) وهو مدى يتوسط توصيلية المواد الموصلة (Conductor) والعازلة (Insulator) وهذا التصنيف جاء على اساس التوصيلية الكهربائية.

يمكن تغيير الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية للمواد شبه الموصلة من خلال تغيير نسب مكونات هذه المواد وطريقة تحضيرها، اذ يتم من خلال عملية الاشابة بعناصر ونسب مختلفة من السيطرة على هذه الخصائص وبالاخص الخصائص الكهربائية اذ ان عملية الاشابة يكون تأثيرها في أغلب الاحيان كبير جداً. ولا يقتصر التأثير على اضافة الشوائب وانما تتأثر التوصيلية لاشباه الموصلات بدرجة الحرارة والضوء والمجالات المغناطيسية مما يجعلها بالغة الاهمية في التطبيقات الصناعية. [1], [2]

لغرض دراسة وتحديد الخواص لشبه الموصل أصبح من الضروري استخدام تقنيات جديدة لتحضير هذه المواد بشكل غشاء رقيق اذ ان تصرف هذه المواد يختلف بشكل كبير عما هو عليه بشكلها الكتلي (Bulk). يطلق مصطلح الغشاء الرقيق عادة لوصف طبقة او عدة طبقات من ذرات المادة لا يتجاوز سمكها مايكروناً واحداً او أقل وبالنظر لكون طبقة الغشاء رقيقة جداً فإنها ترسب على قواعد تسمى قواعد الاساس (Substrate) مصنعة من الزجاج او الكوارتز او السليكون... [3]

تستخدم أشباه الموصلات في صناعة الترانزستور (Transistors) والنباط ذات الطرفين كالمقومات (Rectifiers) والخلايا الكهروضوئية (photoelectric cells) والدوائر المتكاملة (Integrated circuits) والتطبيقات البصرية (Optical Application) كدخولها في مجال



الاتصالات البصرية كثنائيات باعثة الضوء (light Emitting diodes) أو كواشف (Detectors) أو كمرشحات بصرية (Filters) كما تستخدم في الخلايا الشمسية (Solar cells). [2],[3]

## (2-1) نبذة عن مادة ZnTe: Brief about ZnTe

هي مادة شبه موصلة من المجموعة الانتقالية (II – IV) وفي أغلب البحوث هي مادة من نوع p-type ولها فجوة طاقة (2.26 – 2.3 eV) تتميز بمعامل أمتصاص عالٍ يستخدم في الخلايا الفوتوفولطائية الضوئية والخلايا الكهروكيميائية وذات توصيلية وكفاءة عالية في الخلايا الشمسية. [4].

[5] ZnTe مركب متعدد التبلور ذو شبيكة خارصينية (Zinc-blende) كما في الشكل (1-1). وهو غشاء صعب تحضيره لأن له حجم بلوري صغيراً جداً، إذ إن درجة حرارة الترسيب العالية تعمل على تبخيره وتفكيك أو انحلال الغشاء وتكون حداً فاصلاً بين البلورات ويحدد تحركية هول (Hall Mobility) مما يؤدي إلى زيادة في مقاومة الغشاء [6]. وله ألفة الكترونية (3.53 eV) ويستخدم في تصنيع الليزرات والثنائيات الباعثة للضوء في المنطقتين الخضراء والزرقاء من الأطوال الموجية. أن صناعة مثل هذه النبائط ثنائية القطبية يتطلب أن تكون المواصفات البصرية لجانبي التركيب جيدة وأن مادة ZnTe تعد واحدة من أهم أشباه الموصلات المركبة المستخدمة لهذا الغرض [7].

تمتاز معظم التراكيب الهجينة التي تكون مادة تيلورايد الخارصين طرفاً فيها بأن مقدار عدم التطابق الشبكي (Lattice Mismatch) يكون صغيراً جداً. مثلاً يبلغ (0.7%) في تركيب InAs/ZnTe و (0.09%) في تركيب GaSb/ZnTe و (0.26%) في تركيب GaAs/ZnTe [7]. ولتركيب ZnTe/Si يبلغ (8.8%) وهو مقدار كبير نسبياً والجدول (1-1) يلخص بعض من الخواص المهمة لتيلورايد الخارصين.

الجدول (1-1) بعض من الخواص الفيزيائية [8],[9].

<i>Basic Properties</i>	
Chemical formula	ZnTe
Lattice constants	a = 6.101 Å
Molecular Weight	193.01
Dielectric Constant	10.4
Electron Mobility	340 cm <sup>2</sup> /Vs
Hole Mobility	100 cm <sup>2</sup> /Vs
Effective density of state in conduction band (N <sub>c</sub> )	0.22×10 <sup>19</sup> cm <sup>-3</sup>
Effective density of state in valance band (N <sub>v</sub> )	0.078×10 <sup>19</sup> cm <sup>-3</sup>
Density	6.34 g/cm <sup>3</sup>
Melting Point	1295°C
Appearance	red crystals
Refractive Index	3.56
Direct band gap	2.26 eV at 300 K

تنقسم مواد أشباه الموصلات في معظمها بين فئتين كبيرتين: أشباه الموصلات العناصر اي مجموعة العمود الرابع (IV) من الجدول الدوري مثل السيليكون Si والجرمانيوم Ge، وأشباه الموصلات المركبة مثل المجموعة الثانية-السادسة (II-VI) ومنها المركبات التالية .... ZnO, ZnTe, ZnS, ZnSe, CdTe, CdS والمجموعة الثالثة-الخامسة (III-V) ومنها المركبات [10] GaAs, InP, InSb, GaN ان المركبات التي تحتوي على عنصر الخارصين Zn او الكاديوم Cd تمتاز بأن لها مدى واسع من قيم فجوة الطاقة تبدأ من (3.6 eV) لـ ZnS الى (1.61 eV) لـ CdTe وكلها ذات انتقالات مباشرة [11]. ان فجوة الطاقة هي واحدة من الخصائص الهامة لأشباه الموصلات التي تميزها عن المعادن والعوازل في الواقع، هذه الخاصية تحدد الطول الموجي للضوء

الذي يمكن امتصاصه أو انبعائه من شبه الموصل، ويبين الجدول (2-1) بعض خصائص مركبات أشباه الموصلات المجموعة الثانية - السادسة (II-VI) [12].

الجدول (2-1): بعض خصائص مركبات أشباه الموصلات المجموعة الثانية - السادسة [12]

Compound	Melting Point (°C)	band gap (eV)	Density (gm/cm <sup>3</sup> )	Effective mass	Mobility (cm <sup>2</sup> V <sup>-1</sup> S <sup>-1</sup> )	Lattice constant a <sub>0</sub> (nm) at 300K
ZnS(n-type)	1830	3.66	4.1	0.28	150	0.541
ZnSe(n-type)	1520	2.67	5.4	0.17	200	0.567
ZnTe(p-type)	1295	2.26	5.65	0.11	100	0.61
CdS(n-type)	1475	2.42	4.8	0.20	350	0.582
CdSe(n-type)	1239	1.73	5.8	0.13	650	0.608
CdTe(n-type)	1092	1.61	6.2	0.14	1200	0.648

**(3-1) الخواص الفيزيائية للنحاس (Cu): physical properties of Cu :**

النحاس هو عنصر كيميائي رمزه Cu والعدد الذري 29. وهو معدن ناعم، طيع، وطري ذو توصيلية حرارية وكهربائية عالية جدا. النحاس النقي لديه اللون المحمر والبرتقالي. ويستخدم النحاس كموصل للحرارة والكهرباء وكمادة بناء ومكون اساسي في سبائك معدنية مختلفة، النحاس هو واحد من المعادن القليلة التي تتواجد في الطبيعة في شكل معدني قابلة للاستخدام المباشرة (المعادن الأصلية) بدلا من الحاجة إلى استخراجها من خامات اخرى [13]. يحتل عنصر النحاس فضلا عن الفضة والذهب المجموعة الحادية عشر من الجدول الدوري. هذه المعادن الثلاثة لديها الكترون واحد في المدار (s) النصف ممتلئ في حين القشرة (d) ممتلئة لذلك تتميز بالليونة والتوصيلية الكهربائية والحرارية العالية. ان وجود العيوب البلورية في تركيب النحاس احادى التبلور مثل الحدود الحبيبية يزيد من صلابة النحاس لذا يتم توفير النحاس على شكل تراكيب متعددة التبلور [14]. النحاس لا يتفاعل مع الماء، ولكنه يتفاعل ببطء مع الأكسجين الجوي لتشكيل طبقة من أكسيد النحاس البني والأسود (Cu<sub>2</sub>O) الذي على عكس الصدأ الذي يتشكل على الحديد في الهواء الرطب يحمي المعدن الأساسي من مزيد من التآكل. والجدول (3-1) يلخص بعض من خواص النحاس [15].

الجدول (3-1) بعض خواص النحاس الفيزيائية [15].

<b>Crystal structure</b>	face-centered cubic (fcc)
<b>Group, period</b>	group 11, period 4
<b>Element category</b>	transition metal
<b>Electron configuration</b>	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>
<b>Electrons per shell</b>	2, 8, 18, 1
<b>Phase</b>	solid
<b>Melting point</b>	1357.77 K (1084.62 °C)
<b>Boiling point</b>	2835 K (2562 °C)
<b>Density</b>	8.96 g/cm <sup>3</sup>
<b>Atomic radius</b>	empirical: 128 pm
<b>Covalent radius</b>	132±4 pm

## Literature Survey

## (4-1) الدراسات السابقة:

- 1- في (2002) حضر الباحث (Mahalingam) وجماعته [16] اغشية ZnTe:Cu بطريقة "Electrochemical" ووجدوا ان اضافة النحاس سمح لهم بالسيطرة على نوع حاملات الشحنة ذات النوع الموجب (p-type)، ولم يؤشراي تغيير في التركيب البلوري للاغشية المشوبة عدا زيادة في الحجم الحبيبي (56 nm) عند اجراء فحوصات (XRD). اوضحت كذلك دراسة الخواص البصرية ان اضافة Cu قلل النفاذية وزاد معامل الانكسار وحدث ازاحة طفيفة بفجوة الطاقة البصرية.
- 2- استخدمت طريقة التبخير الحراري بالفراغ من قبل الباحث (Rao) وجماعته في (2009) [18] لدراسة تأثير تغير درجة حرارة الاساس على الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية للاغشية ZnTe المرسبة على قواعد زجاجية ، اذ اوضحت فحوصات (XRD) ان الاغشية من النوع المكعب وبالاتجاه السائد (111) وان الاغشية المرسبة عند درجة حرارة الغرفة تكون غنية بعنصر التلريوم (Te) وبزيادة درجة الاساس حتى 553 K تصبح الاغشية متجانسة كيميائيا (stoichiometric films). وظهرت التوصيلية الكهربائية زيادة بزيادة درجة حرارة الاساس بالتزامن مع زيادة كلا من تركيز الحاملات وتحركية ناقلات الشحنة. فضلا عن حساب كل من فجوة الطاقة وطاقة التنشيط الحرارية.
- 3- في عام (2010) نجح الباحث نفسه (Rao) وجماعته [19] باستخدام نفس الطريقة من تشويب اغشية ZnTe بعنصر البزموت (Bi) النانوي، ولاثبات وجود التشويب تم الاستعانة بتقنية (XRD) اذ ظهرت قمم مميزة لعنصر التشويب (101), (012), (104) اضافة للقمة الحادة المميزه (111) لمركب ZnTe. كذلك اوضح فحص (SEM) التراكيب الكروية النانوية للمادة المشوبة وبمعدل حجم 100 nm والمنتشرة على طول الغشاء. اما الخواص الكهربائية فقد حددت بتقنية تأثير هول اذ تم حساب كل من تركيز حاملات الشحنة وتحركية حاملات الشحنة والمقاومية للاغشية النقية وكانت
- ( $13.2 \Omega.cm, 13.6 cm^2/Vs, 3.47*10^{20} cm^{-3}$ ) على التوالي وعند التلدين بدرجة 523K ولمدة

اربع ساعات اصبحت ( $0.74\Omega.cm, 12 cm^2/Vs, 70.3*10^{20} cm^{-3}$ ) اما طاقة التنشيط فقد تناقصت من  $0.89 eV$  الى  $0.78 eV$  مع بقاء فجوة الطاقة من دون تغيير بحدود  $2.25 eV$ .

4- نجح الباحثون (Wang et al.) [20] في عام (2007) في تحضير اغشية ZnTe النقية والمشوبة ZnTe:Cu بالنحاس بنسبة (6%) بطريقة التبخير الثنائي الحراري بالفراغ (Vacuum Co-Evaporation Technology) بفراغ مقداره ( $1 \times 10^{-6} mbar$ ) وتم اجراء الفحوصات التركيبية باستخدام تقنية (XRD) و (XPS) (X-ray photoelectron spectroscopy) وتبين ان لها تركيب متعدد التبلور (polycrystalline) ومن النوع المكعب (cubic) عند  $2\theta = 25.306^\circ$  وعند التلدين بدرجة حرارة ( $183^\circ C$ ) ظهر طور سداسي مرافق للطور السابق اضافة للمركب  $Cu_xTe$  عند الزوايا نفسها للطور المكعب. كذلك فحص الباحثون الخواص الكهربائية (C-V) للطبقتين ZnTe:Cu / CdTe بوجود وبدون طبقة CdTe.

5- في عام (2008) تمكن الباحث (Seyam) [21] وجماعته من ترسيب اغشية ZnTe على قواعد من الزجاج والسليكون (Si) عند درجة حرارة الغرفة بتقنية التبخير الحراري بالفراغ (Vacuum Evaporation Technology) وضغط مقداره ( $10^{-5} mbar$ ) ولسمك ( $45,60,70,122,170 nm$ ) وتم حساب طاقة التنشيط بتقنيتين مختلفتين الاولى بتقنية التوصيلية المستمرة والاخرى بتقنية سيباك (thermoelectric power) ووجدوا ان طاقة التنشيط تتناقص بزيادة السمك من  $0.36 eV$  الى  $0.27 eV$  قبل التلدين ومن  $0.34 eV$  الى  $0.26 eV$  بعد التلدين بـ  $473 K$  نتيجة زيادة الحجم البلوري من  $53 nm$  الى  $83 nm$  المحدد بتقنية (XRD) وهذه الطاقة مقاربة لطاقة التأين  $0.25 eV$  لمستويات العيوب الذاتية للمركب ZnTe. كذلك تم دراسة خواص الملتقى المتباين (Heterojunction) p-ZnTe/n-Si وتوصلوا ان الثنائي له خواص المقوم من خلال تحديد عامل المثالية والتيار التشبع عند درجات حرارية مختلفة فضلا عن جهد البناء ( $0.23 V$ ) وعرض منطقة الاستنزاف ( $90 nm$ ) وسعة المفرق عند الانحياز الصفري ( $33 nf$ ).

- 6- بتقنية التريزيد بالتيار المستمر تمكن الباحث (Qin) وجماعته [22] في (2017) من تصنيع مفرق متعدد الطبقات (p-i-n) من المركب ZnTe على قواعد من السليكون p-ZnTe:Cu/i-ZnTe/n-Si بنسبة تشويب (Cu 3%) وبسمك 500 nm. بينت فحوصات (XRD) ان الاغشية ذات تركيب متعدد التبلور ومن النوع المكعب وان هنالك ثلاثة مستويات تبلور عند الزوايا ( $25.25^\circ$ ,  $41.81^\circ$ ,  $51.85^\circ$ ) التي تقابل معاملات ميلر (222), (220), (111) على التوالي، وبأتجاه سائد عند (111) وبحجم بلوري (36nm)، ولم تظهر اي مستويات للمادة الشائبة وحسب الكارت القياسي (JCPDS No15-0746). واوضح فحص (SEM) مدى التجانس العالي للاغشية المحضرة فضلا عن التبلور المتعدد. اما الاغشية المرسبة على الزجاج استعملت لتحديد فجوة الطاقة البصرية  $E_g$  وكانت بحدود 2.25 eV للنقية و 2.2 eV للمشوبة. كذلك درس الباحثون خواص (I-V) بوجود الطبقة النقية (i-ZnTe layer) وعدم وجودها وبالتلدين (400 °C for 30 min) وبدون تلدين فلاحظوا ان الثنائي المحضر يقترب من المثالية عند ظروف التلدين والطبقة البينية النقية.
- 7- نجح الباحث (Zhou) وجماعته في (2011)[23] من تحضير اغشية تليرايد الخارصين النقية والمشوبة بالانديوم باستخدام طريقة التبخير الفيزيائي الحراري وقد درس الباحث الخواص التركيبية باستخدام الـ (XRD) و (SEM) و (TEM) وتبين ان الاغشية ذات تراكيب مايكروية (Microstructures) وان هناك قمم متعددة وباتجاه سائد (111) كذلك ظهور اطوار مختلفة لـ Te و  $In_3Te_4$ . اما بالنسبة للخواص البصرية فاستعان الباحثون بتقنية الـ (Photoluminescence (PL)) فوجدوا ان طيف الانبعاث يكون عند حافة الحزمة او بالقرب منها لطاقتات تهيج مختلفة هذا بالنسبة للاغشية النقية، اما الاغشية المشوبة فيحدث ازاحة نحو الاطوال الموجية الحمراء وتحت الحمراء نتيجة اعادة الالتحام بين المستويات المانحة والقابلة للمادة الشائبة.
- 8- في عام (2013) استطاع الباحث (Rao) وجماعته [24] من تصنيع ودراسة خواص المفرق الهجين Ag/ p-ZnTe/n-Si(100) /Ag بتقنية التبخير الحراري بالفراغ تحت الظروف التالية

i. تفريغ عند ( $10^{-5}$  mbar).

ii. سمك الغشاء (200nm) ومعدل ترسيب (30 nm/min).

iii. مساحة المفرق بحدود ( $0.2 \text{ cm}^2$ ).

ظهر للغشاء المرسب على السليكون ثلاث قمم احداها تعود للسليكون باتجاه (400) والقممتين (111) و(220) للمركب ZnTe. كذلك استطاع الباحثون من تحديد كلا من الية التوصيل وارتفاع حاجز الجهد وكثافة شحنة الفراغ وعرض منطقة الاستنزاف من خلال خواص الـ I-V و الـ C-V لثنائي المفرق الهجين. وايضا تمكنوا من رسم مخطط الطاقة للمفرق على ضوء نموذج اندرسن (Anderson's model).

9- في عام (2014) تمكن الباحث (Lastra) وجماعته [25] وبتقنية الترسيب بالليزر النبضي (PLD) من ترسيب ZnTe على قواعد من اوكسيد السليكون  $\text{SiO}_2$  وللتشويب بالنحاس قام الباحثون بغمر العينات بمحلول نترات النحاس المائية ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) لمدة 1 min وبنسب مختلفة وبالمعاملة الحرارية لمدة 10min وبدرجة حرارة  $200^\circ\text{C}$  و  $300^\circ\text{C}$ . بينت الفحوصات التركيبية ان الغشاء النقي ذو تركيب مكعبي وبقممتين مميزتين (220) و (111)، في حين الغشاء المشوب وبدرجة حرارة تليدين  $300^\circ\text{C}$  ظهرت قمة للمركب  $\text{Cu}_x\text{Te}$  وبالطور المعيني القائم (orthorhombic) عند زاوية  $27.45^\circ$ . تبين ايضا ان جميع الاغشية المشوبة من النوع الموجب p-type وان المقاومة تنخفض من ( $2.52 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ ) الى ( $0.32 \Omega \cdot \text{cm}$ ) عند التشويب، وان تركيز الحاملات الاغلبية بحدود ( $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ).

10- في عام (2017) تمكن الباحثة (حنان) [26] من تحضير سبيكة ZnTe وتحضير اغشية نقية ومشوبة بالالمنيوم وبنسب مختلفة بطريقة التبخير الحراري في الفراغ بمعدل ترسيب ( $1.2 \pm 0.1$ )  $\text{nm sec}^{-1}$



أظهرت نتائج قياسات (XRD) أن جميع الأغشية المحضرة كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع المكعب مع هيمنة النمو بالإتجاه (111) للأغشية المحضرة كافة، وقد ازداد معدل الحجم البلوري مع زيادة السمك. كذلك إزاحة القمم المميزة نحو قيم  $2\theta$  الكبيرة وتناقص سريع في شدة كل القمم مع زيادة نسب التطعيم بالألمنيوم. فضلا عن ذلك أظهرت نتائج مجهر القوة الذرية (AFM) ان جميع الاغشية المحضرة تمتلك توزيع متجانس للحبيبات وخشونة السطح تتناقص مع زيادة السمك وتتناقص مع زيادة نسبة التطعيم بالألمنيوم. أوضحت قياسات الخواص البصرية بان الانتقالات البصرية كانت مباشرة مسموحة وأن قيم فجوة الطاقة البصرية يمكن التحكم بها عن طريق تغيير نسبة التطعيم بالألمنيوم .

تضمنت دراسة الخصائص الكهربائية للأغشية المحضرة وجود آليتين للانتقال الإلكتروني، أي طاقتين تنشيط. وأظهرت النتائج أن التوصيلية تزداد بزيادة كل من السمك ونسبة التطعيم. وبينت نتائج تأثير هول أن الأغشية كافة هي من النوع (P-type). وبينت نتائج قياسات (سعة - جهد) أن المفرق المصنوع من النوع الحاد. وأن جهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) وعرض منطقة النضوب يزداد بزيادة السمك ونسبة التطعيم.

أظهرت نتائج قياسات (تيار-جهد) للمفرق ZnTe /Si تيار الظلام في حالة الانحياز الامامي يتغير مع الفولطية المسلطة ويزداد بزيادة السمك بينما يتناقص تيار التشبع وعامل المثالية . كما أوضحت القياسات الكهروضوئية زيادة في تيار الإضاءة للمفارق الهجينة مع زيادة كل من شدة الإضاءة الساقطة ونسبة التطعيم. وتحصل اعلى استجابة طيفية للكواشف الضوئية المطعمة بنسبة 0.2% من الألمنيوم عند الاطوال الموجية nm (666, 673 ,746) للسمك nm (400, 450 , 500) على التوالي.

**The Aim of Work:****(5-1) الهدف من البحث:**

1. تحضير سبيكة ZnTe .
2. تحضير أغشية ZnTe الرقيقة النقية والمشوبة بالنحاس بطريقة التبخير الحراري بالفراغ.
3. دراسة تغير الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية لهذه الاغشية كدالة لنسب التشويب بالنحاس ودرجة حرارة التلدين.
4. تصنيع نبيطة المفرق الهجين من الاغشية المحضرة (ZnTe/Si) و(ZnTe:Cu/Si) ودراسة خواصها الفيزيائية واهم التطبيقات التي تعمل بها النبيطة.

# الفصل الثاني

## الجانب النظري

## Introduction

## (1-2) مقدمة:

نستعرض في هذا الفصل الأساس الرياضي والجانب النظري لموضوع البحث متضمناً الأسس والمفاهيم الفيزيائية والقوانين الرياضية التي مثلت الأرضية التي كنا نعمل بموجبها، وكانت في الوقت نفسه تمثل تفسيراً علمياً صحيحاً لكل ما تمخض عنه البحث عملياً من سلوك للمواد الأولية التي تم استخدامها وما توصلنا إليه من إستخلاصات ونتائج.

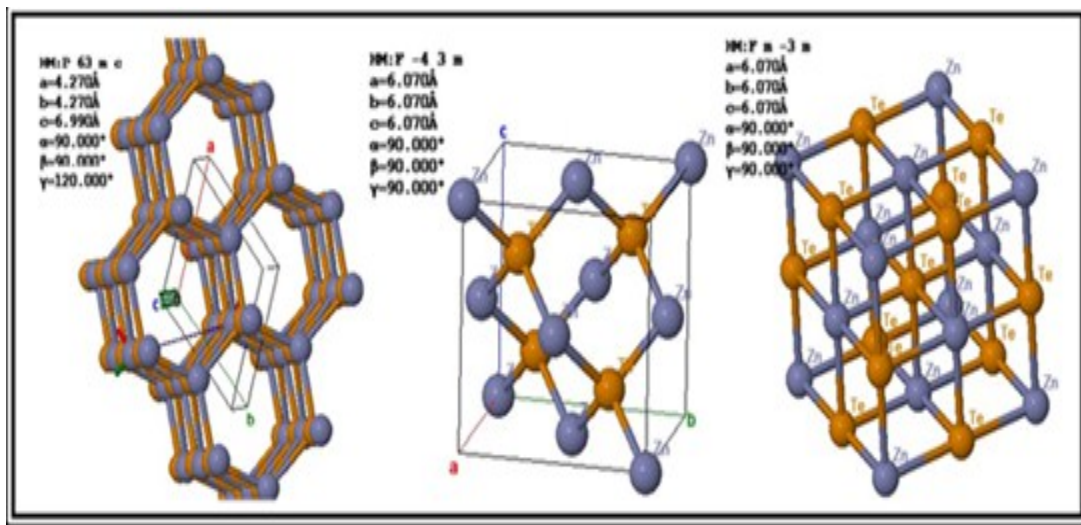
## Structural Properties

## (2-2) الخصائص التركيبية:

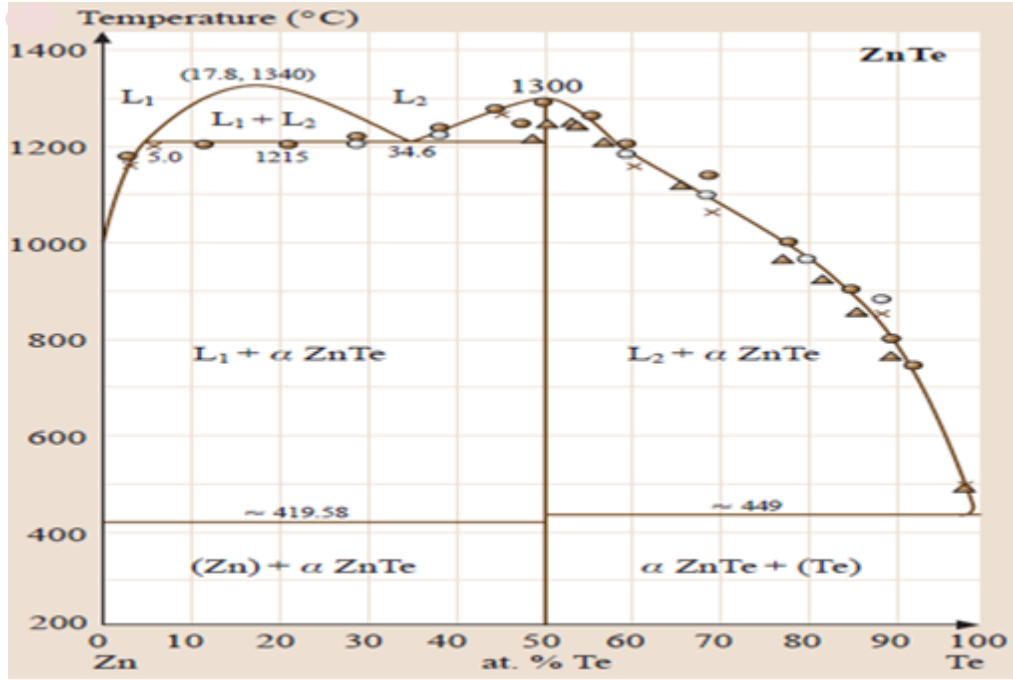
### (1-2-2) التركيب البلوري والمخطط الطوري للمركب (ZnTe):

### Crystal structure and phase diagram of (ZnTe) compound

يتبلور المركب ZnTe ضمن نظامين بلوريين مكعب وسداسي. نموذجياً يتبلور بالتركيب المكعب (Cubic) وبطورين (Rocksalt (Fm-3m)) او (Zinc blend (F-43m)) اما النظام السداسي (Hexagonal) ذووحدة خلية معيني قائم (Trigonal) فيكون بالطور (Wurtzite (P63mc)) يوضح الشكل (1-2) خلية الوحدة والاطوار البلورية المختلفة للمركب (ZnTe) [27]. اما الشكل (2-2) فيبين المخطط الطوري للمركب [28].



الشكل (1-2) التراكيب الطورية للمركب ZnTe [27].



الشكل (2-2) المخطط الطوري للسبيكة ZnTe [28].

## X-Ray Diffraction

## (2-2-2) حيود الأشعة السينية (XRD)

دأب الباحثون جميعهم الى استخدام حيود الاشعة السينية لمعرفة اطوار وتراكيب المواد المراد دراستها، واسهمت هذه التقنية ومنذ اكتشاف الاشعة السينية على تطوير علم البلورات. الاشعة السينية عبارة عن موجات كهرومغناطيسية لها طاقة عالية نسبياً وطول موجي ضمن المدى  $(0.1-100) \text{ \AA}$  وهذا المدى يقع في حدود المسافة البينية للذرات [29]. عندما تسقط هذه الاشعة على سطح مادة تتكون قمم حيود (Peaks) بواسطة التداخل البناء (Constructive Interference) للاشعة السينية ذات الطول الموجي الموحد والتي تعاني انعكاسا عند مستواً شبيكي يقابل زاوية حيود معينة [30]. ويمكن باستخدام زوايا الحيود المقابلة للقمم المميزة للغشاء الرقيق من تحديد المسافات البينية للمستويات الذرية بالاعتماد على قانون براك (Bragg's Law) [31]:

$$n \lambda = 2d \sin \theta_B \quad \dots \dots \dots (1-2)$$

اذ إن:

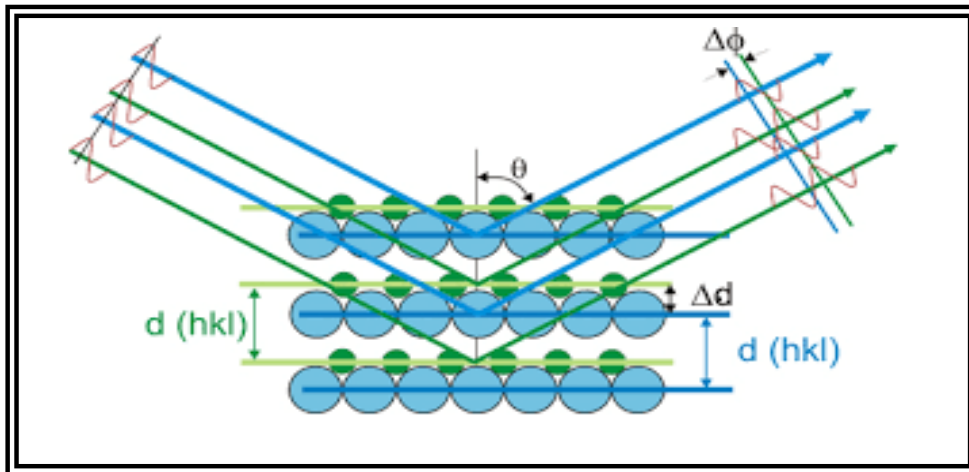
$n$  : عدد صحيح يمثل مرتبة التداخل  $n=1,2,3,\dots$

$\lambda$  : الطول الموجي للأشعة السينية ( $1.54 \text{ \AA}$ ).

$d$  : المسافة البينية للمستويات الذرية.

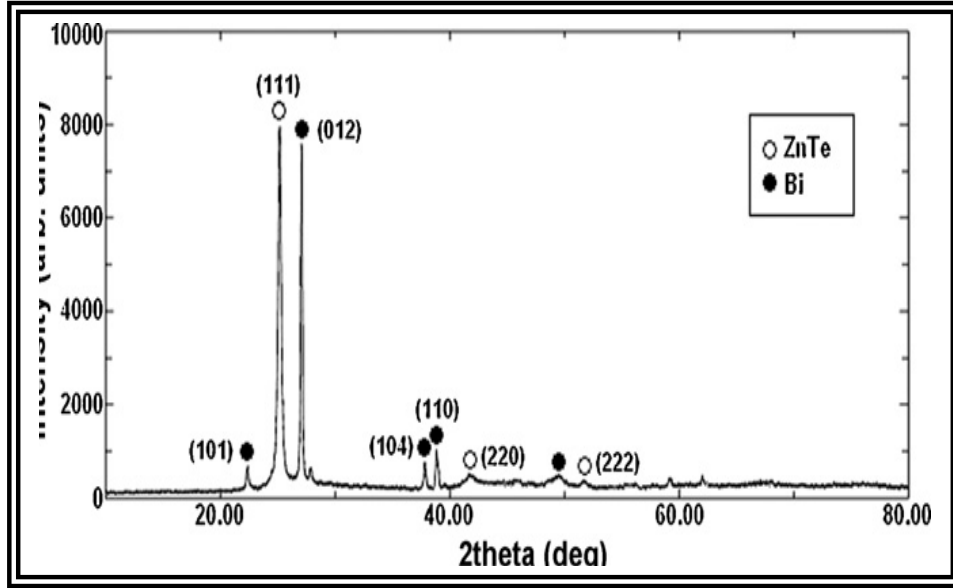
$\theta_B$  : زاوية براك عند القمة.

تبين المعادلة برك (1-2) الاساس الذي يجب توفره لحدوث انعكاس براك يجب ان يكون الطول الموجي ( $\lambda$ ) مساوٍ أو اقصر من المسافة البينية بين المستويات الذرية ( $d$ - space) ذات معاملات ملر معينة ( $hkl$ ) اي تحقق المتراجحة ( $\lambda \leq 2d_{hkl}$ ) [32],[33] ويشير الشكل (3-2) الى الأنموذج المعتمد من قبل براك.



الشكل (3-2) نموذج حيود براك [32].

يبين الشكل (4-2) حيود الأشعة السينية (XRD) لأغشية ( $\text{ZnTe:Bi}$ ) المحضرة بطريقة التبخير الحراري في الفراغ على ارضية من الزجاج بدرجة  $300 \text{ K}$ ، إذ نلاحظ أن الأغشية المحضرة تمتلك تركيب متعددة التبلور من النوع (Cubic) وبأتجاه مهيم (111) [19].



الشكل (4-2) نموذج الـ (XRD) لغشاء ZnTe المشوب بـ Bi [19]

وكذلك يمكن التعرف من فحص الـ XRD على بعض المعلمات التركيبية مثل حجم البلوري وعرض المنحني عند منتصف القمة وثوابت الشبكة ومعلمات اخرى.

## Lattice Constants

### (3-2-2) ثوابت الشبكة

ان الطور السائد لاغشية الـ (ZnTe) هو التركيب المكعب (Cubic Structure)، ويتحدد النظام المكعب بثابت شبكة (a) ومعاملات ميلر باعتماد الصيغة الآتية [34]:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \dots\dots\dots(2-2)$$

ومن تطبيق المعادلة اعلاه يمكن اثبات نوع التركيب البلوري عن طريق تحديد ثابت الشبكة (a) لمعاملات ميلر مختلفة من طيف حيود الأشعة السينية (XRD) ومن معرفة قيمة مساحة السطح (d) بالاستعانة ببطاقات (ICDD) (International Center for Diffraction Data) الخاصة بالشبكة (ZnTe).

## Average Crystallite Size (4-2-2) معدل الحجم البلوري (C.S)

أستخدمت معادلة شرر (Scherer's Formula) [32],[35] لحساب معدل الحجم البلوري (C.S) للأغشية المحضرة:

$$C.S = \frac{0.94\lambda_{X-Ray}}{B_{(FWHM)} \cos \theta_B} \dots\dots\dots(3-2)$$

إذ تمثل:

$B_{(FWHM)}$ : عرض منحنى الحيود عند منتصف القمة (Full-Width at Half-Maximum)

بالوحدات نصف القطرية.

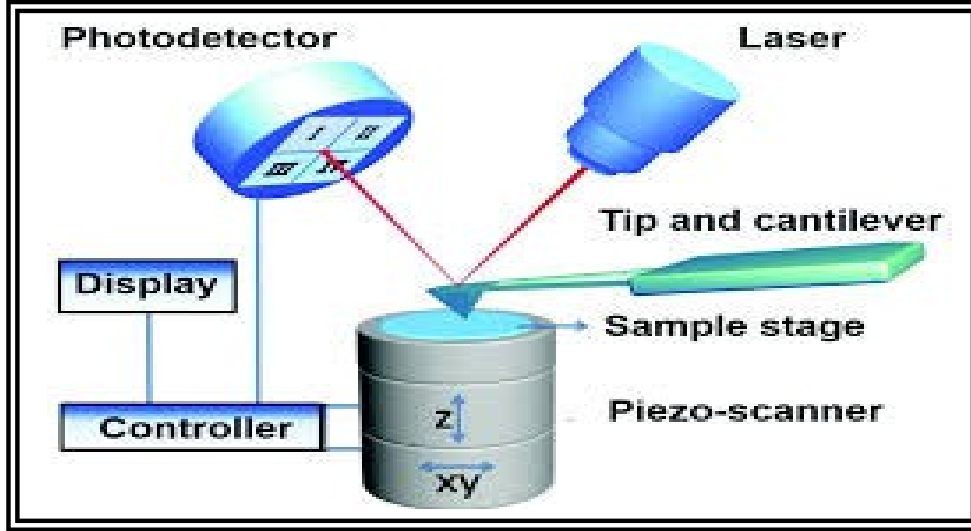
## Atomic Force Microscopy: (3-2) مجهر القوة الذرية (AFM):

يستخدم مجهر القوة الذرية في مجال تقنية النانو لمعرفة ورسم تضاريس السطوح ذات الأبعاد النانوية والمايكروية. ويمتاز بقدرة تحليل عالية مقدارها (0.1-1.0 nm)، وقوة تكبير تقدر بـ ( $10^8 \times$ ) ويتم تكبير صورة سطح الغشاء بتقنية معقدة وحديثة جداً، مع إمكانية عمل الجهاز تحت الضغط الجوي الاعتيادي بدون أحداث تفريغ عالي كما هو الحال مع المجهر الإلكتروني الماسح (SEM). يتكون هذا المجهر من ذراع (Cantilever) في نهايتها مجس (Probe) ذو رأس حاد يسمى بالـ (Tip) يستعمل لمسح سطح الغشاء ويكون من خلال نمطين أساسيين من أنماط تشغيل الجهاز الأول يعرف بالنمط الاستاتيكي (الاتصال) والذي يتم فيه سحب الذراع عبر سطح العينة مباشرة ومن خلال الانحرافات في الذراع ترسم تضاريس السطح، والنمط الثاني يسمى الديناميكي (عدم الاتصال) وفيه الذراع يتذبذب بالقرب من سطح العينة بتردد رنيني (resonance frequency) ومن خلال قياس التغيرات في التردد بالنسبة لتردد مرجعي يعطي معلومات عن خصائص سطح العينة. ويمثل الشكل (2-5) رسماً تخطيطياً لمجهر القوة الذرية [36]. يزودنا مجهر القوة الذرية (AFM) عادة بقياس مجموعة من الصفات



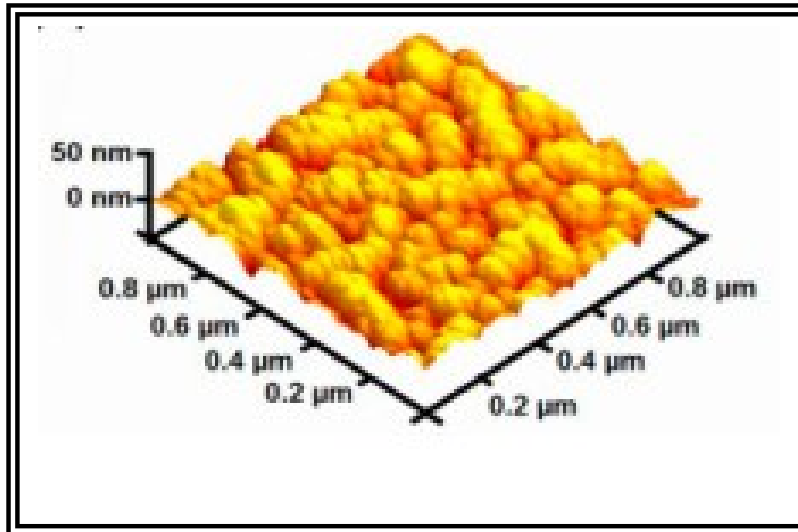
## الفصل الثاني الجانب النظري

الفيزيائية لسطوح الاغشية المحضرة، منها خشونة السطح ومعدلها (r.m.s)، وكذلك الحجم الحبيبي (Grain Size)



الشكل (5-2) مقطع عرضي لمجهر AFM [36].

استخدمت هذه التقنية من قبل الباحث [37] في معرفة مدى نعومة وتجانس الغشاء المحضر وذلك من خلال قياس معدل الخشونة وكانت بحدود (50 nm) والشكل (6-2) يبين صورة ثلاثية الابعاد لغشاء ZnTe الرقيق.



الشكل (6-2) صورة (3D) لغشاء ZnTe بتقنية AFM [37].

## Optical Properties

## (4-2) الخواص البصرية :

تعد دراسة الخواص البصرية لأشباه الموصلات ذات أهمية كبيرة لأنها تزودنا بمعلومات عن الانتقالات الالكترونية التي تحدث فيها وأنواعها وأيضاً يمكن من خلالها حساب قيمة فجوة الطاقة البصرية ( $E_g$ ) (Optical Energy Gap) وقيم الثوابت البصرية الأخرى.

## Optical Absorption

## (1-4-2) الامتصاص البصري :

يمكن عدّ الامتصاص البصري هو المسؤول الرئيسي عن عملية الانتقالات الالكترونية التي تحدث في اشباه الموصلات التي يمكن تصنيفها الى ثلاث عمليات هي الانتقالات بين حزم الطاقة المسماة بالامتصاص الاساسي (Fundamental Absorption) والانتقالات داخل حزم الطاقة والانتقالات التي تحدث عن طريق العيوب البلورية في الشبيكة (Lattice Defects) او بسبب المستويات الموضعية الناتجة من الشوائب (Impurities) [38].

## (2-4-2) حافة الامتصاص الأساسية: The Fundamental Absorption Edge

عند سقوط الضوء على شبه الموصل فان فوتونات الضوء تعاني امتصاصاً من قبل الالكترونات مما يحفزها على الانتقال الى مستويات الطاقة العليا، اذا كانت طاقة الفوتون ( $h\nu$ ) الساقط اكبر او يساوي فجوة طاقة لشبه الموصل ( $h\nu \geq E_g$ ) فان الكترونات حزمة التكافؤ ستحفز وتنتقل الى حزمة التوصيل تاركة ورائها فجوة. كل امتصاص بصري ينتج عنه انتقال من حزمة الى حزمة يعرف بالامتصاص الاساسي وان الحد الادنى من الطاقة الذي يسبب هذا الانتقال يسمى بحافة الامتصاص الأساسية وهي المسؤولة عن تحديد فجوة الطاقة في اشباه الموصلات [38]. أما عندما تكون طاقة الفوتون اقل من طاقة الفجوة المحظورة فلن يتم الامتصاص، بمعنى إن الضوء الساقط لا يعاني امتصاصاً إلا بوجود الشوائب التي تولد مستويات طاقة في فجوة الطاقة المحظورة، وتسمى بعملية الانتقال الغير الذاتي أو الدخيل (extrinsic) أو تدعى بالمصائد (Traps). وتعد حافة الامتصاص الأساسية من الصفات الهامة لشبه

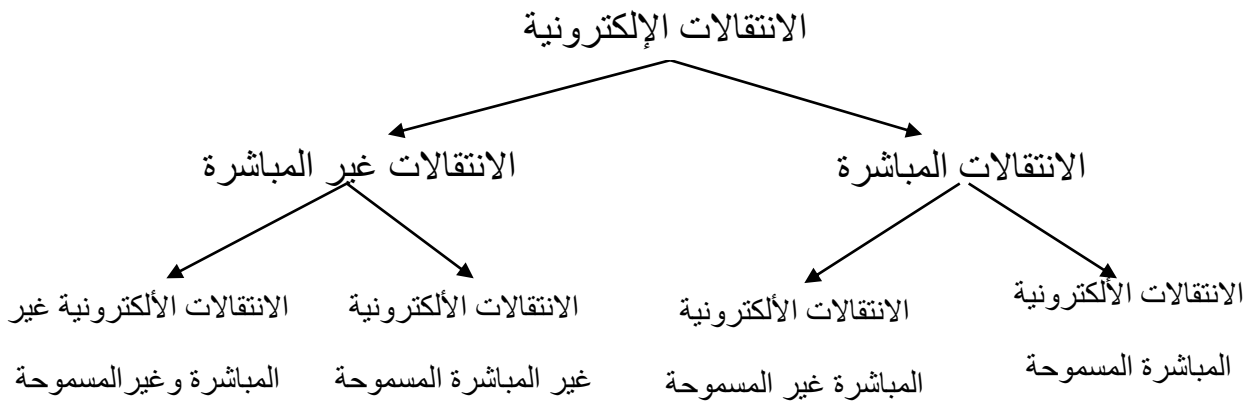
## الفصل الثاني الجانب النظري

الموصل الذي يمتلك فجوة طاقة محظورة إذ تعد واحدة من المعلمات الضرورية للاغشية المحضرة التي من المهم معرفة موقعها ضمن الطيف الكهرومغناطيسي ، لما لذلك من أهمية في تعيين طبيعة التطبيق الذي يمكن تسخير مادة الغشاء له، فضلا عن أنها تعطي معلومات هامة عن نوع الانتقالات الالكترونية وخواص حزم الطاقة المتكونة في المادة.

تعتمد النسبة المئوية للضوء الساقط الممتص بواسطة شبه الموصل على احتمالية الانتقال الالكتروني بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل وعلى معامل الامتصاص، تزداد هذه الاحتمالية اعتمادا على تركيب الحزم لشبه الموصل. ان الارتفاع الحاد بقيمة معامل الامتصاص ( $\alpha \geq 10^4 \text{cm}^{-1}$ ) عند حافة الامتصاص الاساسية تكون بسبب ان الانتقالات الالكترونية لشبه الموصل ذو فجوة الطاقة المباشرة ذات احتمالية اكبر من شبه الموصل ذو فجوة طاقة غير مباشرة [38],[39].

### Optical Transition (3-4-2) الانتقالات البصرية:

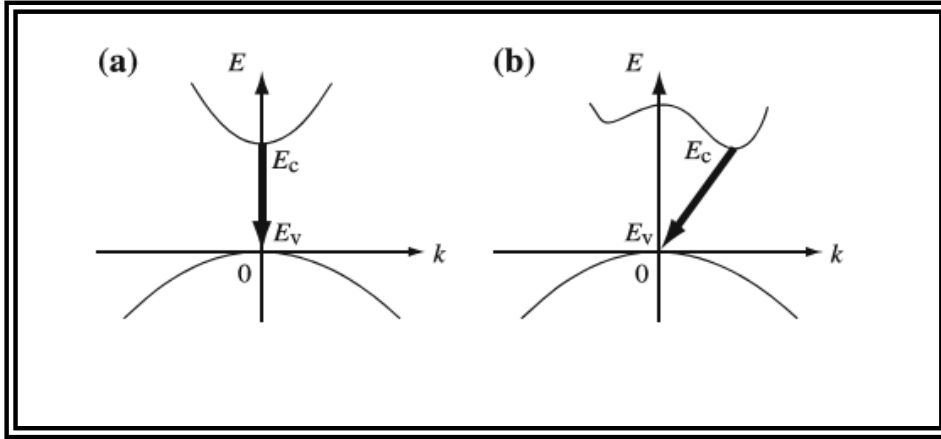
يحدث في أشباه الموصلات نوعان من الانتقالات البصرية كما موضح في المخطط الآتي:



إذا كانت الانتقالات الالكترونية تحدث مباشرة من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة التوصيل فان شبه الموصل الذي يحدث فيه هذا الانتقال وبمتجه موجة  $k$  مشترك (دون تغيير في قيمة متجه الموجة للإلكترون المنتقل  $(\Delta k=0)$ ) يدعى هذا الانتقال بالانتقال المباشر، وفيه

## الفصل الثاني الجانب النظري

يكون قانونا حفظ الطاقة والزخم محفوظين [40]. اما شبه الموصل الذي يمتلك قمة حزمة التكافؤ وقعر حزمة التوصيل فيها متجة موجة  $k$  مختلف اي ان (تغير قيمة متجه الموجة للإلكترون المنتقل لا يساوي صفرا،  $(\Delta k \neq 0)$ ) فان شبه الموصل يكون فيه الانتقال غير مباشر. كلا الانتقالين المباشر وغير المباشر موضح بالشكل (7-2).



الشكل (7-2) الانتقالات الالكترونية (a) انتقال مباشر (b) انتقال غير مباشر [2].

بسبب قانوني حفظ الطاقة والزخم لذا يرافق الانتقالات غير المباشرة انبعاث او امتصاص الفونون (Phonon) والذي يتولد من اهتزاز ذرات الشبكية.

لذا فان احتمالية الانتقالات الغير مباشرة تحدد بأحتمالية انتقال الإلكترون والفونون معا داخل الشبكية، اما في الانتقالات المباشرة فهي تعتمد فقط على احتمالية الانتقال الإلكتروني الامر الذي يجعل الانتقالات المباشرة هي المهيمنة بصورة اكبر من الانتقالات الغير مباشرة لذلك اشباه الموصلات ذات فجوة الطاقة المباشرة تكون مفضلة عند تصنيع النبائط المختلفة [40]. تعطى معادلة الامتصاص في أشباه الموصلات ذات فجوة الطاقة المباشرة ( $E_g$ ) بالعلاقة الآتية [38],[41]:

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^r \quad \dots \dots \dots (4-2)$$

اذ أن:

## الفصل الثاني الجانب النظري

B : ثابت يعتمد على احتمالية الانتقالات الالكترونية.

r : معامل أسي تعتمد قيمته على نوع الانتقال.

$h\nu$  : طاقة الفوتون الساقط.

عند الانتقال المباشر المسموح يكون  $r=1/2$ ، اما عند الانتقال المباشر الممنوع  $r=3/2$ .

اما معادلة الامتصاص في أشباه الموصلات ذات فجوة الطاقة الغير المباشرة ( $E_g$ ) بالعلاقة الآتية:

$$\alpha h\nu = B_1 (h\nu - E_g \pm E_p)^r \quad \dots\dots\dots (5-2)$$

وتكون قيمة (r) لهذا الانتقال هي (2) في حالة الانتقال غير المباشر المسموح وتساوي (3) في حالة الانتقال غير المباشر الممنوع [42] اذ ان:

$B_1$  : ثابت.

$E_p$  : طاقة الفونون المنبعث أو الممتص (eV). الاشارة (+) تعني انبعاث فونون والاشارة (-) تعني امتصاص فونون.

## Canstand Properties

## (5-2) الثوابت البصرية:

### Absorbance

### (1-5-2) الامتصاصية:

تعرف الامتصاصية (A) بأنها النسبة بين شدة الإشعاع الممتص الذي يمتصه الغشاء (I<sub>A</sub>) إلى شدة الإشعاع الساقط عليه (I<sub>0</sub>)، وتكون الامتصاصية كمية خالية من الوحدات، وتعطى بالعلاقة الآتية [43]:

$$A = \frac{I_A}{I_0} \quad \dots\dots\dots (6-2)$$

### Transmittance

### (2-5-2) النفاذية:

يمكن تعريف النفاذية (T) بأنها النسبة بين شدة الإشعاع النافذة من المادة (الغشاء) (I<sub>T</sub>) إلى شدة الإشعاع الساقط عليه (I<sub>0</sub>)، وهي كمية خالية من الوحدات، وتعطى بالعلاقة الآتية [44]:

$$T = \frac{I_T}{I_0} \quad \dots\dots\dots (7-2)$$

ترتبط النفاذية مع الامتصاصية بالعلاقة الآتية [45]:

$$A = \text{Log}\left(\frac{1}{T}\right) \quad \dots\dots\dots (8-2)$$

## Absorption Coefficient

## (3-5-2) معامل الامتصاص

يعرف معامل الامتصاص (α) بأنه نسبة التوهين في شدة الإشعاع الساقط لكل وحدة مسافة باتجاه الانتشار الموجي داخل الوسط. ويعتمد على طاقة الفوتون الساقط وخواص شبه الموصل المتضمنة فجوة الطاقة ونوع الانتقالات الالكترونية، فعند سقوط حزمة من الضوء على الغشاء الرقيق فإن جزء منه ينعكس وجزء آخر ينفذ والباقي يعاني امتصاصا من قبل مادة الغشاء، ان طبيعة سطح الغشاء الرقيق فضلا عن مادة الغشاء وطول الموجة الضوئية الساقطة كلها عوامل تؤثر على كمية الطاقة الممتصة والنافذة والمنعكسة. كذلك فإن ما تمتصه مادة الغشاء الرقيق من طاقة الإشعاع الساقط تعتمد على قيمة معامل الامتصاص. إذا كانت شدة الضوء الساقط (I<sub>0</sub>) على مادة ذات سمك (t) ومعامل امتصاصها (α)

## الفصل الثاني الجانب النظري

فان شدة الضوء النافذ (I) خلال هذه المادة تعطى على وفق معادلة (لامبرت) (Lambert) التالية [46],[47]:

$$I=I_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (9-2)$$

إذ إن :

t : سمك الغشاء.

من معادلة (9-2) نحصل على :

$$\alpha t = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \dots\dots\dots (10-2)$$

وبتحويل اللوغارتم الطبيعي إلى لوغارتم عشري ينتج:

$$\alpha t = 2.303 \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \dots\dots\dots (11-2)$$

إذ إن المقدار  $\log (I_0/I)$  يمثل الامتصاصية للغشاء الرقيق (A). وبترتيب المعادلة اعلاة نحصل على المعادلة الآتية [45],[48]: .

$$\alpha = 2.303 \frac{A}{t} \dots\dots\dots (12-2)$$

### Electrical Properties

### (6-2) الخواص الكهربائية

أن دراسة الخصائص الكهربائية للاغشية الرقيقة ذات أهمية كبيرة لانها تزودنا بمعلومات عن السلوك الكهربائي للاغشية الرقيقة للاستفادة منها في التطبيقات العملية والصناعية مثل استخدام الاغشية الرقيقة في صناعة الترانستورات (Transistors) والمقومات (Rectifiers) والكواشف (Detectors) والخلايا الشمسية (Solar cells) وغيرها [49].

## D.C Conductivity

## (1-6-2) التوصيلية المستمرة

تتأثر التوصيلية الكهربائية بعدة عوامل منها درجة الحرارة ونسب الشوائب إذ تزداد التوصيلية بزيادة درجة الحرارة وكذلك الشوائب أي تركيز حاملات الشحنة إذ تعطي زيادة سريعة في التوصيلية [50], [51]

عند غياب المجال الكهربائي الخارجي تكون حركة حاملات الشحنة (الكثرون – فجوة) عشوائية ولا يتولد تيار كهربائي أما عند تسليط المجال الكهربائي فإن الإلكترونات تخضع لتأثير قوة تكسبها سرعه إضافية باتجاه المجال الكهربائي المسلط ويتولد تيار كهربائي يدعى بتيار الانجراف (Drift current). وهناك تيار آخر ناتج عن انتشار الحاملات تحت تأثير تركيز الأشابة الموجودة داخل شبه الموصل الذي يعرف في هذه الحالة بتيار الانتشار. [50]

تعتمد التوصيلية المستمرة على كثافة حاملات الشحنة والتحريرية والتوصيلية الكلية لأي شبه موصل تمثل مجموع التوصيلية الناجمة من انتقال حاملات الشحنة السالبة والموجبة، لذا فإن كثافة التيار الناتج مساوية لمجموع كثافة تيار الإلكترونات والفجوات، كما في المعادلة الآتية [48][52]:

$$J = J_n + J_p \dots\dots\dots (14-2)$$

إذ: J : كثافة التيار الكهربائي.

$J_n$  : كثافة تيار الإلكترونات.

$J_p$  : كثافة تيار الفجوات.

تعطى التوصيلية المستمرة ( $\sigma_{dc}$ ) لأشباه الموصلات اعتمادا على قانون اوم بالعلاقة الآتية [53]:

$$\sigma = J/E = e (n \mu_e + p \mu_h) \dots\dots\dots (15-2)$$

إذ أن: E : شدة المجال الكهربائي المسلط.

$\mu_e$  و  $\mu_h$  : تحركية الإلكترونات والفجوات على التوالي.



n و p : تركيز الإلكترونات والفجوات على التوالي.

e : شحنة الإلكترون

إن التوصيلية المستمرة (Conductivity) ( $\sigma_{dc}$ ) هي مقلوب المقاومة الكهربائية النوعية ( $\rho$ ) كما في المعادلة الآتية [54]:

$$\sigma_{dc} = \frac{1}{\rho} \quad \dots\dots\dots (16-2)$$

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad \dots\dots\dots (17-2)$$

إذ إن:

$\rho$ : المقاومة النوعية (Resistivity) بوحدات ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ).

R : المقاومة الكهربائية للغشاء المقاسة عملياً ( $\Omega$ ).

L : المسافة بين قطبي الألمنيوم (cm).

A : مساحة المقطع العرضي ( $A=b \times t$ ) ( $\text{cm}^2$ ).

b : عرض القطب (cm).

إن أشباه الموصلات تمتلك بصورة عامة مقاومة ذات معامل حراري سالب، وفي أغلب الحالات فإن التوصيلية تسلك سلوكاً أسياً بالاعتماد على مقدار درجة الحرارة، لذلك يمكن التعبير عن معادلة تتغير بها التوصيلية المستمرة مع درجة الحرارة بموجب معادلة أرهينوس (Arrhenius) [55][56]:

$$\sigma_{dc} = \sigma_0 \exp\left(\frac{-E_a}{K_B T}\right) \quad \dots\dots\dots (18-2)$$

إذ إن:  $E_a$ : طاقة التنشيط للتوصيلية المستمرة بوحدات (eV) وتقابل ( $E_c - E_F$ ) [55].

$\sigma_0$ : ثابت ويمثل أقل توصيلية معدنية ،  $T$ : درجة الحرارة المطلقة (K).

$k_B$ : ثابت بولتزمان ( $k_B = 0.086 \times 10^{-3} \text{ eV/K}$ ).

على وفق المعادلة (18-2) عندما يرسم  $\ln(\sigma_{dc})$  مقابل  $(1/T)$  سوف يكون ميل الخط المستقيم يساوي سالب الحد  $E_a/k_B$  ، وعندها ستكون قيمة طاقة التنشيط كالآتي [57]:

$$E_a = \text{slope} \times k_B \quad \dots\dots\dots (19-2)$$

ومن خلال المعادلتين (15-2) و (18-2) يتبين أن تغير التوصيلية كدالة لدرجة الحرارة يعتمد على تركيز وتحركية الحاملات كدالة لتغير درجة الحرارة.

ومن العوامل الأخرى التي تؤثر في التوصيلية الكهربائية هي البنية البلورية إذ تعد الحدود الحبيبية (Grain boundaries) في أشباه الموصلات متعددة البلورات كحواجز تعيق حركة حاملات الشحنة. كذلك نتيجة للعيوب البلورية أو التشويب قد تتواجد مستويات طاقة مسموحة في فجوة الطاقة البصرية تعمل كمراكز لإعادة الاتحاد الفعالة. لذلك تحدث عملية التوصيل في المواد متعددة البلورات بعملية التنطيط (hopping) وذلك عند درجات حرارة واطئة نسبياً أي ان حاملات الشحنة لا تمتلك طاقة كافية لعبور حاجز الجهد (الحدود الحبيبية)، اما عند درجات الحرارة العالية فإنها سوف تتم عن طريق التهييج والإثارة الحرارية (Thermal excitation) لحاملات الشحنة [58].

### Hall Effect (2-6-2) تأثير هول :

يمكن تعريف تأثير هول بأنه ظاهرة اختلاف توزيع التيار خلال المادة بعد تسليط مجال مغناطيسي على شبه الموصل، هذا المجال يكون عمودياً على اتجاه سريان التيار، إذ سينشأ ميل لحاملات الشحنة للانحراف جانباً مما يتسبب بتوليد فرق بالجهد عبر شبه الموصل يكون عمودياً على اتجاه التيار و المجال المغناطيسي، كما موضح بالشكل (8-2). فرق الجهد المتولد هذا يسمى بفولتية هول (Hall-

## الفصل الثاني الجانب النظري

(Voltage)، ويرافقه نشوء مجال يدعى بمجال هول (Hall-Field) الكهربائي. ولوحظ أن هنالك إشارة سالبة لمعامل هول ( $R_H$ ) لأشباه الموصلات ذات النوع السالب (n-type) وموجبة لأشباه الموصلات ذات النوع الموجب (p-type) كما مبين بالمعادلة [52]:

$$R_H = -1/en = +1/ep \quad \dots\dots\dots (20-2)$$

ويمكن حساب معامل هول (Hall coefficient) عن طريق المعادلة (21-2) وحساب تحركية هول (Hall Mobility) عن طريق المعادلة (22-2) [59]:

$$R_H = (V_H/I) * (t/B) \quad \dots\dots\dots (21-2)$$

$$\mu_H = \sigma/en = \sigma|R_H| \quad \dots\dots\dots (22-2)$$

إذ:

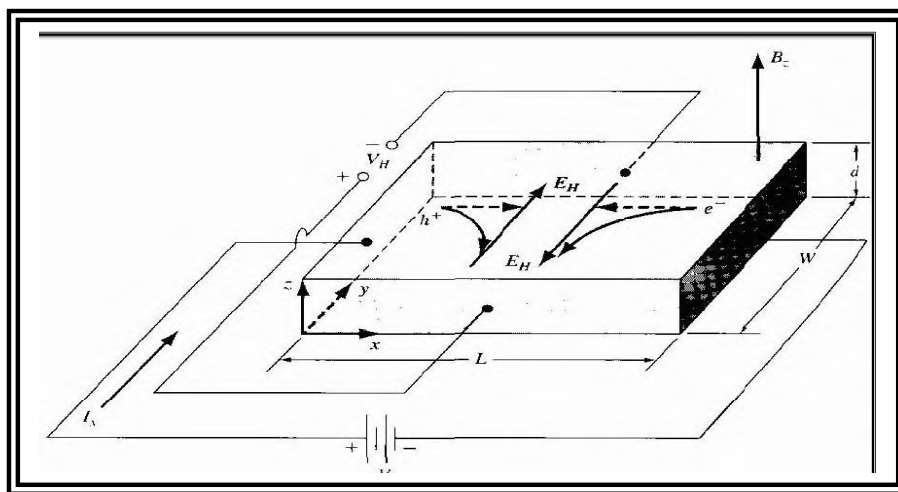
B: شدة المجال المغناطيسي (Tesla) المسلط على الغشاء.

I: التيار المار خلال الغشاء.

$V_H$ : فرق الجهد الناشئ عبر الغشاء.

وترتبط التحركية ( $\mu_H$ ) وسرعة الانجراف ( $v_d$ ) مع المجال الكهربائي (E) المسلط بالعلاقة:

$$\mu_H = v_d / E \quad \dots\dots\dots (23-2)$$



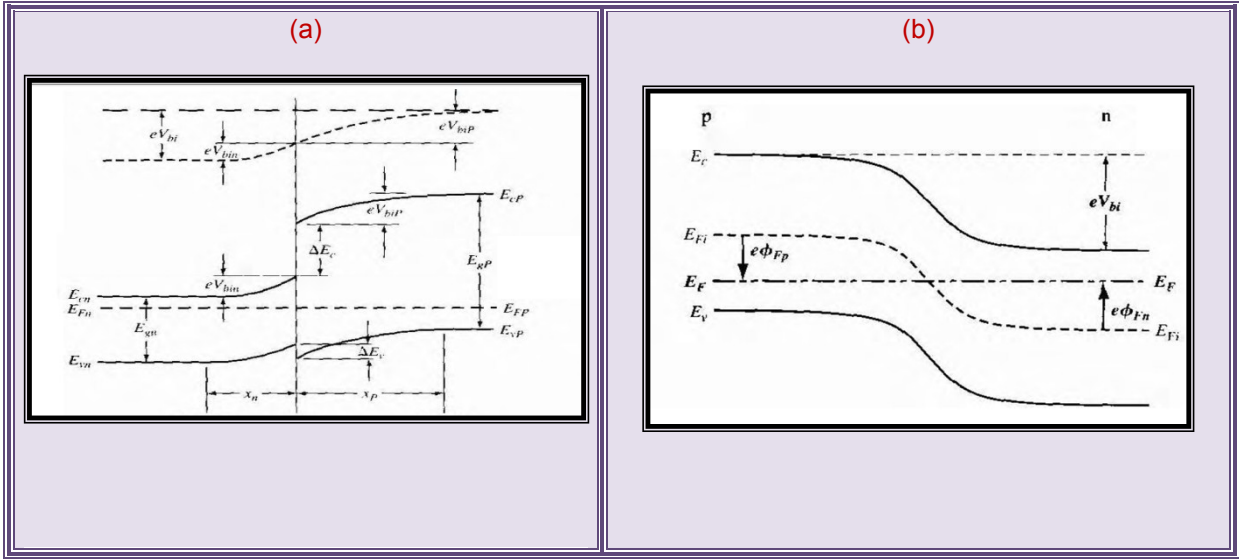
الشكل (8-2) ظاهرة هول (Hall effect) [60]

## Heterojunctions

## (7-2) المفارق الهجينة:

تقسم المفارق بشكل اساسي من حيث التركيب الى المفارق الهجيني والمفارق المتجانس ففي حالة المفارق المتجانس يكون الاتصال بين مادتين شبه موصلتين من النوع نفسه مثل (n-Si/p-Si) لذا فانها تكون متماثلين في ثابت العزل ( $\epsilon$ ) والالفة الالكترونية ( $\chi$ ) وفجوة الطاقة ( $E_g$ ) ودالة الشغل ( $\phi$ ) وثابت الشبكة (a) وعدم التطابق الشبكي (Lattice Mismatch) يكون اقل ما يمكن، اما في حالة المفارق الهجين فيكون الاتصال بين مادتين ليستا متماثلتين في كل ما ذكر اعلاه فضلا عن عدم التطابق الشبكي ( $\Delta$ ). كذلك يمكن تصنيف المفارق الهجينة من حين التركيب الى نوعين، هما مفارق هجينة متدرجة (Graded Heterojunction)، ومفارق هجينة حادة (Abrupt Heterojunction)، وأيضاً تصنف استناداً الى نوع التوصيلية على جانبي المفارق، ففي حالة كون المادتين شبه الموصلتين تمتلكان التوصيلية نفسها، يكون المفارق مفارقاً هجيناً متماثلاً (Isotype Heterojunction) مثال ذلك (n-n، p-p). اما ان لم يكن كذلك فان المفارق سيكون مفارقاً هجيناً غير متماثل (Anisotype Heterojunction) مثل (p-n، n-p) [61],[62].

يبين الشكل (a- 9-2) المفارق الهجين إذا وجد في حزمة التكافؤ حاجزاً كبيراً نسبياً ( $\Delta E_V$ ) فإنه يشارك في عرقلة حقن الفجوات من الطرف (p) باتجاه الطرف (n). اما في حالة حزمة التوصيل فارترافع الحاجز ( $\Delta E_C$ ) سيكون بسيطاً لو قورن مع حاجز التكافؤ ( $\Delta E_V$ )، وبسبب ذلك تكون الالكترونات هي المتسببة بنقل التيار في مثل هذا النوع من المفارق الهجينة. اما لو ارتفع حاجز التوصيل ( $\Delta E_C$ ) وانخفض حاجز التكافؤ ( $\Delta E_V$ ) فستكون الفجوات هي المتسببة بنقل التيار [63]. ولا يوجد ذلك في المفارق المتجانس كما في الشكل (b- 9-2) [60].



الشكل (9-2) مخطط حزم الطاقة لمفروق (a) هجين (b) متجانس [60]

## (1-7-2) نظرية المفروق الهجين الحاد غير المتماثل:

### Theory of Abrupt Anisotype Heterojunctions

ان الأنموذج الأساسي الذي وضعه اندرسون (Anderson) الخاص بالمفروق الهجين الحاد (Abrupt Heterjunction) غير المتماثل (n-p) (p-n) يمكن ان يعطي الأداء المثالي للمفروق الهجين [64],[65]. ويبين الشكل (10-2) مخطط حزم الطاقة لمادتين الاولى نوع (p-type) والثانية نوع (n-type) قبل وبعد الاتصال، وهاتان المادتان من شبه موصل معزولان ومختلفان في الفجوة المحظورة ( $E_g$ ) والألفة الالكترونية ( $\chi$ ) وتعرف بانها الطاقة المطلوبة لنقل الإلكترون من قعر حزمة التوصيل نحو مستوى الفراغ (vacuum level)، وهو يمثل موقع مستوى الإلكترون حال انبعائه من سطح المادة [35]، وأيضاً في دالة الشغل ( $\Phi$ ) التي تعد مقدار ما يلزم من طاقة لنقل إلكترون من مستوى فيرمي إلى مستوى الفراغ وتعتمد على مادة شبه الموصل والتشويب [65]، فعندما نوصل المادتين على ان يكون مستوى فيرمي مستمراً عبر السطح البيني للمادتين شبه الموصلتين عند الاتزان الحراري، وكما مبين في

## الفصل الثاني الجانب النظري

شكل (b-10-2). لغرض رسم مخطط حزم الطاقة لا بد من مراعاة امرين الاول ان يكون مستوى فيرمي متصلا على طرفي المفروق المحضر بشرط الاتزان الحراري والثاني ان يكون مستوى الفراغ متصل وموازي لحافة الحزمة [66]. ان هذا الاستمرار في مستوى الفراغ سيولد فرق في الألفة الالكترونية لمادتي شبة الموصل، ينتج عن هذا عدم اتصال في حزم التوصيل  $\Delta E_C$  ، وبقيمة تساوي الفرق في الألفة. وعلى نحو مماثل ينشأ عدم استمرارية في حافة حزم التكافؤ  $(\Delta E_V)$ [67].

إن عدم الاتصال في حزم الطاقة  $(\Delta E_C)$  و  $(\Delta E_V)$ ، بسبب اختلاف فجوة الطاقة لمادتي الغشاء سيؤثر بشدة في خصائص انتقال الحاملات عبر المفروق، لذلك تعد قيمتي  $(\Delta E_C)$  و  $(\Delta E_V)$  هما من العوامل الهامة والأساسية في نبائط المفروق الهجين.

ومن خلال الشكل (a-10-2)، يمكننا ايجاد  $(\Delta E_C)$  و  $(\Delta E_V)$ [60]:

$$\Delta E_C = \chi_1 - \chi_2 = \Delta \chi \quad \dots\dots\dots (24-2)$$

$$\Delta E_V = (\chi_2 + E_{g2}) - (\chi_1 + E_{g1}) = \Delta E_g - \Delta \chi \quad \dots\dots\dots (25-2)$$

$$\Delta E_C + \Delta E_V = \Delta E_g \quad \dots\dots\dots (26-2)$$

$E_{g1}$ : فجوة الطاقة للمادة المانحة (n-type) .

$E_{g2}$ : فجوة الطاقة للمادة القابلة (p-type) .

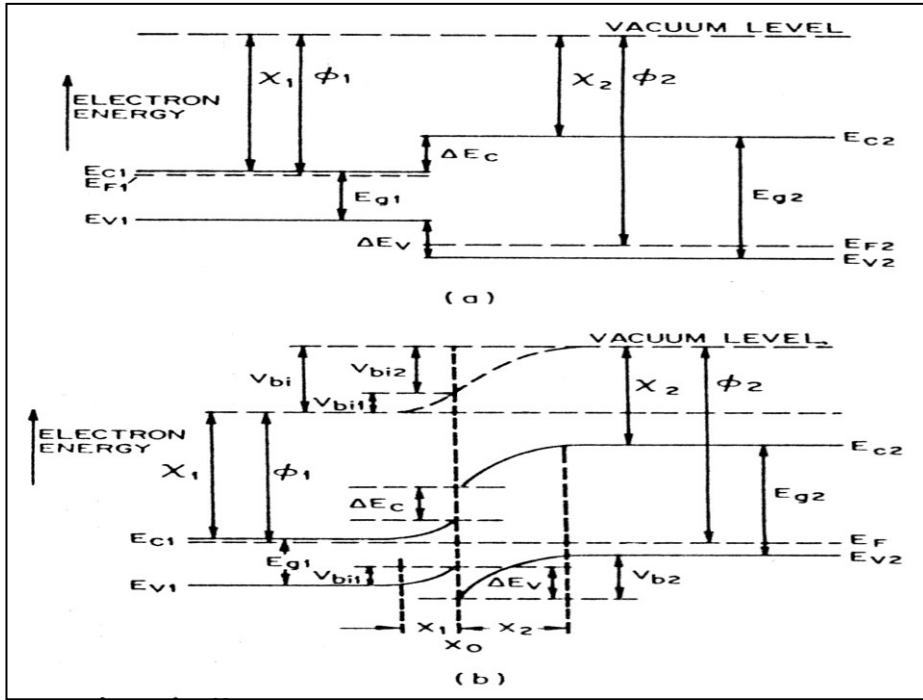
$\chi_1, \chi_2$ : الألفة الالكترونية للمادتي الغشاء المانح والقابل.

وان جهد البناء الداخلي للمفروق  $(V_{bi})$  تساوي حاصل جمع جهدي البناء على جانبي المفروق [68]:

$$V_{bi} = V_{bi1} + V_{bi2} \quad \dots\dots\dots (27-2)$$

إذ:

$V_{bi2}$  ,  $V_{bi1}$  : يمثل جهدي البناء الكهربائي عند الاتزان لشبه الموصل (1) و (2).



الشكل (10-2) مخطط حزم الطاقة [69]

(a): مفروق هجين (n-p) قبل الاتصال ، (b): مفروق هجين (n-p) عند الاتصال.

كذلك يمكن حساب عرض وسعة منطقة الاستنزاف لأي انحياز بأستعمال حل معادلة بواسون (Poisson-Equation) على جانبي السطح البيني للمفروق الهجين [69][70]:

$$X_0 - X_1 = [ 2N_{A2}\epsilon_1\epsilon_2 (V_{bi}-V) / qN_{D1} (\epsilon_1N_{D1}+\epsilon_2N_{A2}) ]^{1/2} \dots\dots\dots (28-2)$$

$$X_2 - X_0 = [ 2N_{D1}\epsilon_1\epsilon_2 (V_{bi}-V) / qN_{A2} (\epsilon_1N_{D1}+\epsilon_2N_{A2})\epsilon ]^{1/2} \dots\dots\dots (29-2)$$

إذ:

$(X_0 - X_1)$  و  $(X_2 - X_0)$  : عرض منطقة الاستنزاف في الجانب المانح والقابل على التوالي .

$V$  : الجهد الخارجي المسلط.

$\epsilon_n$  و  $\epsilon_p$  : سماحية الفراغ للمادتين القابلة والمانحة على التوالي.

$N_{A2}$  و  $N_{D1}$  : تركيز الشوائب المانحة والقابلة للمادة الأولى والثانية على التوالي يمكن حساب عرض

منطقة الانتقال (W) (منطقة الاستنزاف) عن طريق المعادلة الآتية [71][72]:

$$W=(X_2 - X_0) + (X_0 - X_1) \dots\dots\dots (30-2)$$

بتعويض معادلة (28-2) و(29-2) في معادلة (30-2) ينتج:

$$W= [2\epsilon_1\epsilon_2 (V_{bi}-V) (N_{A2}+N_{D1})^2 / (q\epsilon_1N_{D1}+\epsilon_2N_{A2}) N_{D1}N_{A2}]^{1/2} \dots (31-2)$$

وتحتسب سعة منطقة الاستنزاف عن طريق العلاقة الآتية [69]:

$$C= [ qN_{D1}N_{A2}\epsilon_1\epsilon_2 / 2(\epsilon_1N_{D1}+\epsilon_2N_{A2}) (V_{bi}-V) ]^{1/2} \dots\dots\dots (32-2)$$

افترض اندرسون (Anderson) في هذا الأنموذج بأن تيار الانتشار (Diffusion-Current) يتكون من الالكترونات والفجوات بسبب عدم الاتصال عند حافة الحزم للسطح بيني الفاصل. وبالعودة إلى الشكل (2-10- b) يمكننا ملاحظة ان حاجز الفجوات يكون أكبر من حاجز الالكترونات، وعندها يكون تيار الالكترونات هو السائد [61]. واقترحت نماذج اخرى كثيرة لعمل هذا النوع من المفارق بمعنى الاليات التي تفسر انتقال حامل الشحنة، وهي [68][72]:

- A- نموذج الانبعاث (Emission-Model).
- B- نموذج الانبعاث – إعادة الاتحاد ( Emission – Recombination-Model ).
- C- نموذج الاختراق (Tunnelling-Model).
- D- نموذج الاختراق – إعادة الاتحاد (Tunnelling – Recombination-Model).

### (2-7-2) المفارق الهجينة الحادة المتماثلة

#### Abrupt-Isotype-Heterojunctions

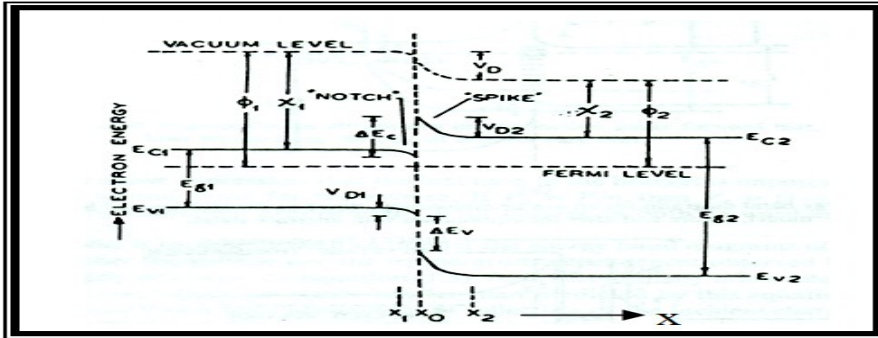
يختلف المفارق الهجين المتماثل عن المفارق الهجين غير المتماثل في أن التطعيم لمادتي الاتصال تكون من النوع نفسه (متماثلتين)، وبذلك تكون إما (n-n) وإما (p-p). ودرس العديد من الباحثين



## الفصل الثاني الجانب النظري

التحليل النظري لهذا النوع من المفارق، منهم على سبيل المثال (Anderson) و (Chang) و (Chandra) [73].

في الشكل (11-2) مخطط الطاقة لمفارق هجين متمائل نوع (n-n) في حالة التوازن ونلاحظ من الشكل أن المادة ذات فجوة الطاقة العريضة لها دالة الشغل اصغر بالمقارنة مع المادة التي لها فجوة طاقة ضيقة لذا فان حافة حزمة الطاقة سوف تميل باتجاه معاكس في حالة المفارق غير المتمائل (n-p) إذ يلاحظ وجود حافة حادة (spike) عند حافة حزمة التوصيل للسطح الفاصل [71]. هنالك نماذج عديدة لتوضيح عمل المفارق الهجين الحاد المتمائل [62]: نذكر منها نموذج الانبعاث (Emission Model)، ونموذج الاختراق (Tunneling Model)، ونموذج ثنائي شوتكي المزدوج (Double – Schottky – Diode Model).



الشكل (11-2) مخطط حزم الطاقة لمفارق هجين متمائل (n-n) في حالة التوازن [63]

## Graded-Heterojunctions المفارق الهجينة المتدرجة: (3-7-2)

قام الباحثان (Oldham) و (Milnes) بتوضيح تركيب هذا النموذج للمفارق الهجين وتأثير تدرج المفارق مع الأخذ بالاعتبار الاختلاف في كل من فجوة الطاقة والألفة الالكترونية عند منطقة الاستنزاف

عند عملية التصنيع. وأوضحاً أن المجال الكهربائي الداخلي في المفرق يعمل على حركة حاملات الشحنة وبالتالي نشوء تيار الانجراف للفجوات والالكترونات [63].

### (8-2) طرائق تصنيع المفرق الهجين:

#### Method of Fabrication of Hetero-junction

تعد طرائق تصنيع المفرق الهجين من أهم العوامل المؤثرة في خصائص المفرق المصنع. لذلك تتعدد طرائق التصنيع وذلك للحصول على أفضل خصائص للمفرق. ومن أهم الطرائق الشائعة لصناعة المفرق الهجينة طريقة التبخير الحراري في الفراغ (Vacuum Thermal Evaporation) التي سيتم التطرق لها في الفصل الثالث لأنها المعتمدة في البحث.

### (9-2) الخواص الكهربائية للمفرق الهجين

#### Electrical Characteristics of Heterojunction

تعد الخواص الكهربائية واحدة من أهم الخصائص التي تهم الباحث معلومات عن تركيب الحزم للمفرق الهجين وتحديد فائدة العملية النبيلة، وتتمثل في خواص (تيار – جهد) وخواص (سعة-جهد) التي تعطي فكرة عن نوع النبيلة المصنعة وكذلك قياس المقاومة وبالتالي التوصيلية المستمرة.

### (1-9-2) خصائص (تيار-جهد) للمفرق الهجين غير المتماثل

#### Current – Voltage Characteristics

ان دراسة خصائص تيار – جهد (I–V) تستخدم لتوضيح آليات التوصيلية الكهربائية، وعموماً تستخدم لتحديد جهد البناء الداخلي للمفرق والاستمرارية في حزم الطاقة ( $\Delta E$ ) عند السطح البيني للمفرق الهجين لذا يمكن تصنيفها للمفرق الهجين غير المتماثل تبعاً لنوع الأنحياز الأمامي أو العكسي. ففي حالة الأنحياز الأمامي يمكن وصف علاقة (I–V) للأنحياز الأمامي بـ [63]:

$$I \propto \exp (AV) \exp (BV) \dots\dots\dots (33-2)$$

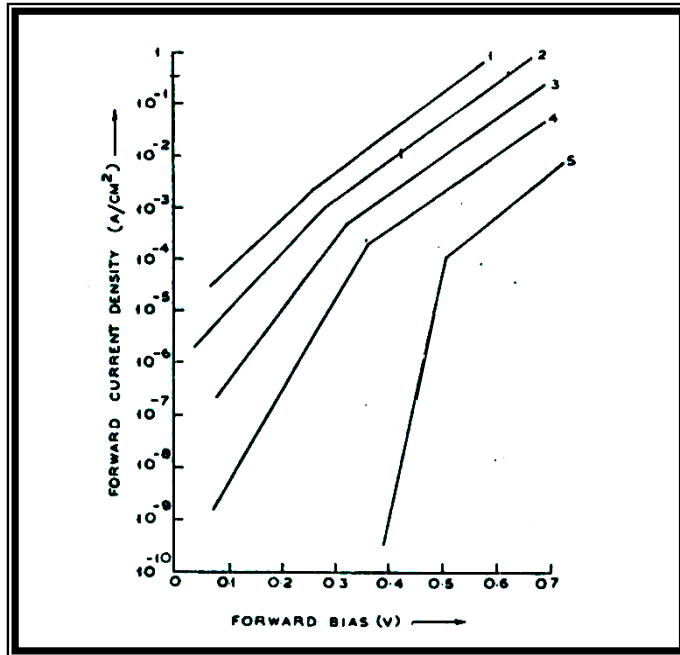
اذ A و B ثابتان غير معتمدين على الفولتية ودرجة الحرارة .

تطبق العلاقة (33-2) في حالة الأنحياز الأمامي وللفولتيات العالية اذ يرجح هذا التناسب الى تغلب تيار الأختراق عبر المفروق [63]. أما في حالة الفولتيات القليلة ( $V < 0.3v$ ) فإن مساهمة التيار بشكل رئيس هو تيار اعادة الأتحاد ويمكن وصفها بالعلاقة [2] :

$$I \propto \exp \frac{qV}{\beta k_B T} \dots\dots\dots (34-2)$$

اذ  $\beta$  هو معامل المثالية.

والشكل (12-2) يبين خصائص الأنحياز الأمامي لمفروق هجين غير متماثل. أما بالنسبة لخصائص الأنحياز العكسي لهذه المفارق الهجينة فإنها تظهر تناسبا خطياً ( $I_R \propto V$ ) عند الفولتيات القليلة، وأما في حالة الفولتيات العالية فيخضع للتناسب ( $I_R \propto V^m$ ) اذ  $m \geq 1$  [63]. ويعد نموذج الاختراق الاساس في تفسير سلوك المفروق الهجين في حالة الإنحياز العكسي [74][63].



شكل (12-2) خصائص الأنحياز الأمامي لمفروق هجين p-n عند درجات حرارة مختلفة  
[63] .77K(5).200K(4).250K(3).298K(2).333K(1)

## الفصل الثاني الجانب النظري

يمكن كتابة المعادلة (2-34) بعد تعويض ثابت التناسب تيار التشبع ( $I_s$ ) واخذ اللوغارتم الطبيعي للطرفين ينتج المعادلة التالية:

$$\ln(I) = \ln(I_s) + qV/\beta k_B T \quad \dots\dots\dots (35-2)$$

برسم العلاقة بين  $\ln(I)$  وفولتية التحيز ( $V$ ) يمكن حساب عامل المثالية ( $\beta$ ) (Ideality factor) عن طريق إيجاد ميل الخط المستقيم والتعويض بمعادلة (2-35).

$$\beta = (slope)^{-1} \times (q/k_B T) \quad \dots\dots\dots (36-2)$$

### (2-9-2) خصائص (سعة – جهد) (C-V) Characteristics

تستعمل دراسة خصائص (سعة-جهد) لحساب الجهد الداخلي للمفرق الهجين ( $V_{bi}$ ) وتركيز حاملات الشحنة وأيضاً عرض منطقة الاستنزاف وتوزيع الشحنات في المفرق الهجين [52][75]. وقد حدد العالم أندرسون (Anderson) العلاقة التي يمكن بها حساب سعة المتسعة لوحدة المساحة ( $C$ ) المصاحبة لانتقال الشحنات عند إهمال حالات السطح وهي المعادلة نفسها لمتسعة ذات لوحين متوازيين بفرض ان الفاصل بين اللوحين يمثل عرض منطقة الاستنزاف (W)[73]:

$$C = \frac{dQ}{dV} = \frac{\epsilon_s}{W} \quad \dots\dots\dots (37-2)$$

إذ أن

$C$ : سعة منطقة الاستنزاف لوحدة المساحة تحت الإنحياز العكسي،  $W$ : عرض منطقة الاستنزاف.

$dQ$ : يمثل التغير الجزئي في شحنة طبقة الاستنزاف عند تغير الفولتية الخارجية  $dV$ .

$\epsilon_s$ : ثابت العزل المكافئ للمفرق الهجين، ويعطى بالعلاقة [2]:

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon_n \cdot \epsilon_p}{\epsilon_n + \epsilon_p} \quad \dots\dots\dots (38-2)$$

ويمكن إيجاد سعة المفرق لوحدة المساحة لكل جانب من جوانب المفرق غير المتماثل حسب العلاقة [73]:

$$C = \frac{\epsilon_p}{W} \quad , \quad C = \frac{\epsilon_n}{W} \quad \dots\dots\dots (39-2)$$

بالرجوع للمعادلة (32-2) وبتربيع الطرفين وتعديل بعض الرموز نحصل على المعادلة المستخدمة بالشكل (13-2)

$$C^{-2} = \left[ \frac{2(\epsilon_n N_n + \epsilon_p N_p)}{q(N_n N_p \epsilon_n \epsilon_p)} \right] (V_{bi} - V) \dots\dots\dots (40-2)$$

من المعادلة (40-2) اذا رُسمت العلاقة بين  $(1/C^2)$  كدالة للفولتية العكسية المسالطة (V) فإن التناسب الخطي الناتج يدل على إن المفرق الهجين هو من النوع الحاد (Abrupt). وان تقاطع إمتداد الخط المستقيم مع محور الفولتية  $(1/C^2 = 0)$  يعطي قيمة الجهد الداخلي  $(V_{bi})$  [73] وكما مبين في الشكل (13-2). ولحساب تركيز الشوائب المانحة  $(N_n)$  أو القابلة  $(N_p)$  فيمكن إيجادها من ميل الخط المستقيم والذي يساوي.

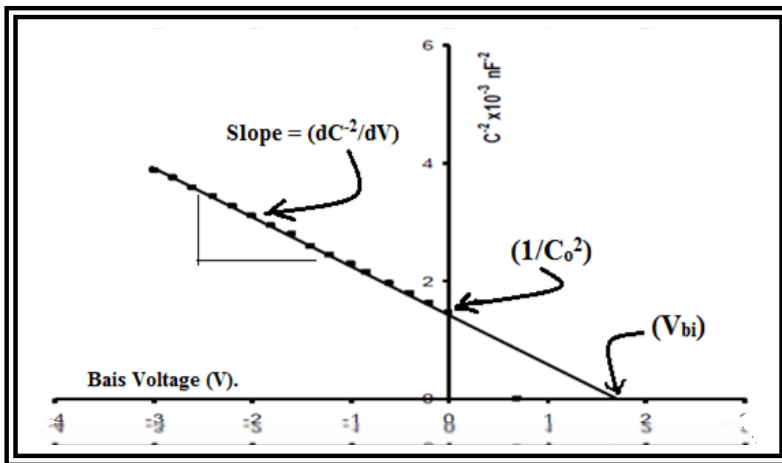
$$Slope = \left( \frac{d C^{-2}}{d V} \right) = - \left[ \frac{2(\epsilon_n N_n + \epsilon_p N_p)}{q(N_n N_p \epsilon_n \epsilon_p)} \right] \dots\dots\dots (41-2)$$

يمكن قياس عرض منطقة الاستنزاف (W) للمفرق بالإستعانة بالمعادلة (37-2) كما يلي:

$$W = \epsilon_s / C_o \dots\dots\dots (42-2)$$

إذ أن

$C_o$ : سعة منطقة الاستنزاف لوحدة المساحة عند  $(V=0)$ . وكما موضَّح في الشكل (13-2) أدناه.



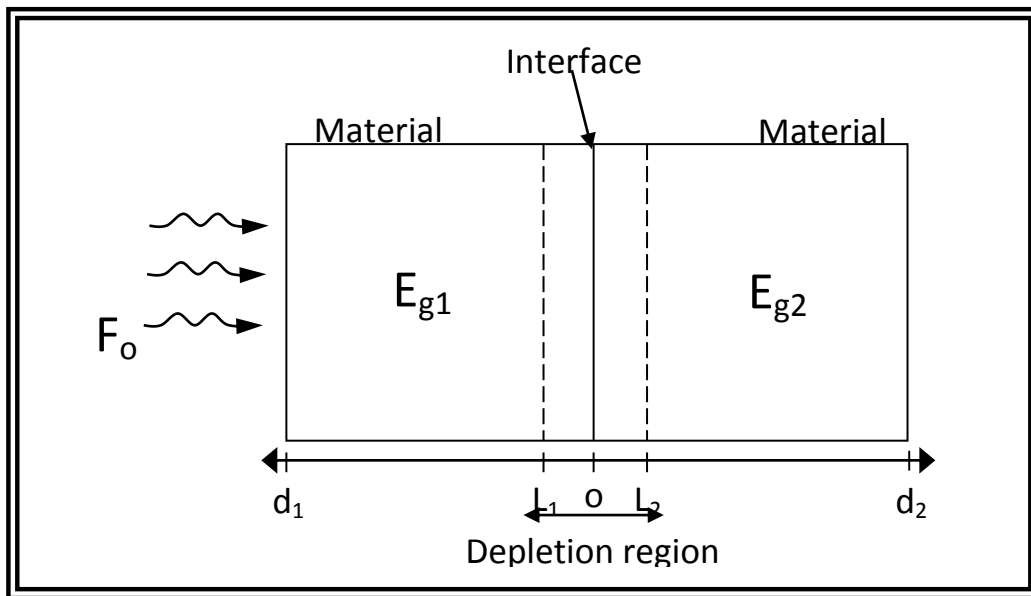
الشكل (13-2): مخطط خصائص (C-V) تحت الإنحياز العكسي لمفرق هجين نوع (n-p) [76].

## (2-10) المفرق الهجين وتأثير النافذة:

### Heterojunction and Window effect

إن إضاءة المفرق الهجين تتضمن حالتين مرة تكون الإضاءة عمودية على مستوى المفرق الهجين واخرى تكون الإضاءة موازية لمستوى المفرق الهجين. فعند تعرض السطح الأمامي للمفرق ذو فجوة الطاقة العريضة ( $E_{g1} > E_{g2}$ ) للفوتونات الضوئية فان الطاقة العالية منها تعاني امتصاصا من قبل الغشاء ذو فجوة الطاقة العريضة، في حين الفوتونات ذات الطاقة الواطئة فانها تنفذ وتمتص في الغشاء ذو الفجوة الضيقة قرب السطح البيني. هذه الظاهرة تدعى بتأثير النافذة (*Window effect*). وعادةً ما تسبب هذه الظاهرة الاستجابة الضوئية للمفرق الهجين غير متماثل النوع [69] [77].

وكمثال على تأثير النافذة هو المفرق الهجين ZnTe/Si اذ ان فجوة الطاقة لمادة ZnTe هي 2.26eV والسليكون 1.1eV فتكون مادة ZnTe كنافذة عند سقوط الضوء من جهتها. ان تأثير النافذة يعمل على تقليل اعادة الاتحاد السطحي للحاملات الاقلية بشكل كبير [69]. والشكل (2-14) يوضح ظاهرة تأثير النافذة.



الشكل (2-14) يوضح تأثير النافذة لمفرق هجين غير متماثل مضاء عمودياً على مستوى المفرق [63]

## (2-11) الخواص الفولطائية الضوئية للمفروق الهجين:

### Photovoltaic Properties of Heterojunction

يمكن التعرف الى الخواص الفولطائية الضوئية للمفروق الهجينة من خلال:

#### 1 – فولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ ) Open – Circuit Voltage

تحسب فولتية الدائرة المفتوحة عبر المفروق الهجين بجعل  $J = 0$  وتكون  $V = V_{oc}$  والتي تعطى

بالعلاقة: [78]

$$V_{oc} = \frac{K_B T}{q} \ln \left[ \frac{J_{ph}}{J_S} + 1 \right] \dots\dots\dots(43-2)$$

$J_{ph}$ : كثافة التيار الضوئي، ويعتمد على الأبعاد الهندسية للمفروق الهجين.

$J_S$ : كثافة تيار الإشباع، ويعتمد على تركيب وخواص شبه الموصل في المفروق الهجين. وتحدد

قيمة  $V_{oc}$  بخصائص شبه الموصل لاعتمادها على  $J_S$  [79]

#### 2 – تيار دائرة القصر ( $I_{sc}$ ) Short – Circuit Current

هو التيار المتولد بواسطة الضوء الساقط في حالة غياب جهد الانحياز الخارجي وتعطى

بالعلاقة: [80]

$$I_{sc} = \int_0^{\lambda_g} N_{ph}(\lambda) \eta(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots(44-2)$$

اذ ان

$\lambda_g$ : اقصى طول موجي لتوليد الحاملات .

$\eta(\lambda)$  : كفاءة الكم الخارجية .

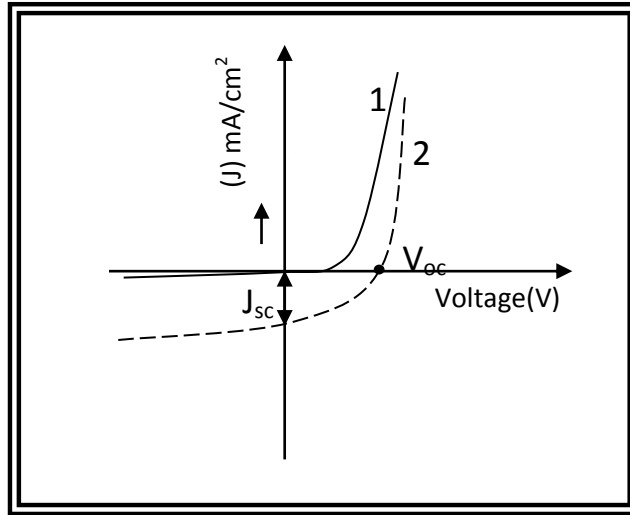
$N_{ph}(\lambda)$  : فيض الفوتونات الساقطة .

وعملياً يمكن قياس  $I_{sc}$  بتقصير الدائرة وذلك بجعل ( $R \rightarrow zero$ ) ولذلك فإن  $V=0$  وعليه يكون:

$$I_{sc} = I_{ph} \quad \dots\dots\dots(45-2)$$

اذ  $I_{ph}$  : التيار الضوئي ،  $I_{sc}$  : تيار دائرة القصر

يزداد تيار دائرة القصر اذا كان لشبنة الموصل فجوة طاقة محضورة قليلة لان اغلب الفوتونات الساقطة تمتلك طاقة كافية لخلق زوج الكترون- فجوة اذا كانت فجوة الطاقة اقل بكثير من طاقتها [81]. والشكل (15-2) يوضح علاقة (تيار- جهد) للمفرق الهجين قبل الاضاءة وبعدها وتحديد تيار دائرة القصر وفولتية الدائرة المفتوحة. [79]



شكل (15-2) علاقة تيار- جهد لمفرق هجين غير متمائل [79]

(1) قبل الاضاءة (2) بعد الاضاءة



## Photodetectors

## (2-12) الكواشف الضوئية

الكواشف الضوئية هي نبائط مصنعة من شبه الموصل تقوم بتحويل الإشارات الضوئية الممتصة إلى إشارات كهربائية يمكن معالجتها [82]. ولما كانت عملية الكشف تتم بأليتين هما التأثير الحراري والتأثير الكهروضوئي لذلك يمكن تصنيف الكواشف إلى نوعين [83] ، الكواشف الحرارية (Thermal detectors) والكواشف الفوتونية (الكمية) (Photon detectors) تعتمد الأخيرة التأثير الكهروضوئي فعند سقوط الضوء على الكاشف تمتص الفوتونات وتهيج الإلكترونات إلى مستويات طاقة أعلى، أي تكوين حاملات شحنة كهربائية (إلكترونات أو فجوات) تبقى داخل مادة الكاشف وتعمل هذه الشحنات على زيادة التوصيلية الكهربائية مادة الكاشف أو توليد فرق جهد. وتتصف هذه الكواشف بأنها تمتلك استجابة طيفية ضمن مدى محدد من الطول الموجي اعتماداً على نوع مادة الكاشف وتمتلك زمن استجابة قصيراً ، لذلك تفضل هذه الكواشف على الكواشف الحرارية لما تمتاز به من كسفية عالية وزمن استجابة قصير بالمقارنة مع الكاشف الحراري فضلاً عن عدم الحاجة إلى تبريد.

كذلك يمكن أن تقسم الكواشف الفوتونية إلى [84] :

1 – كواشف التوصيلية الضوئية (Photoconductive detectors)

2 – كواشف الفولطائية الضوئية (Photovoltaic detectors)

## Photovoltaic detectors

## (2-12-1) كواشف الفولطائية الضوئية:

سمي هذا النوع بكواشف الفولطائية الضوئية لتولد قوة دافعة كهربائية عند امتصاصها للضوء نتيجة تولد مجال كهربائي داخلي بسبب انتقال الحاملات من مناطق التركيز العالي إلى مناطق التركيز الواطئ. لذلك فإن هذه الكواشف تعمل بوجود المجال الخارجي أو بدونه (أي تعمل بوجود جهد الانحياز أو بغيابه). وعموماً تعمل هذه الكواشف بوجود انحياز عكسي لتحسين خصائص الكاشف ومنها :

1- زيادة التوصيلية.

## الفصل الثاني ■■■■■ الجانب النظري

- 2- المجال الكهربائي في منطقة الامتصاص يكون كبيراً عند الانحياز العكسي وبالنتيجة، الحاملات المتولدة من امتصاص الفوتون تتحرك بسرعة إلى الدائرة الخارجية. وهذا يعني استجابة سريعة.
- 3- عرض منطقة النضوب تكون أكبر عند الانحياز العكسي. وهذا يؤدي إلى نقصان سعة المفرق وهكذا ، ثابت زمن (RC) صغير. وبالتالي استجابة سريعة.

تنقسم كواشف الفولطائية الضوئية إلى عدة أنواع: [85]

- 1- كواشف المفرق المتباين *Helerojunction detectors*
- 2- كواشف ثنائي الوصلة *PN Junction detectors*
- 3- كواشف شوتكي (معدن – شبه موصل) *Shottky detectors*
- 4- كواشف PIN *PIN detectors*
- 5- كواشف الانهيارية *Avalanchphotodiode Detectors*



# الفصل الثالث

## الجانب العملي

## (1-3) المقدمة:

## Introduction

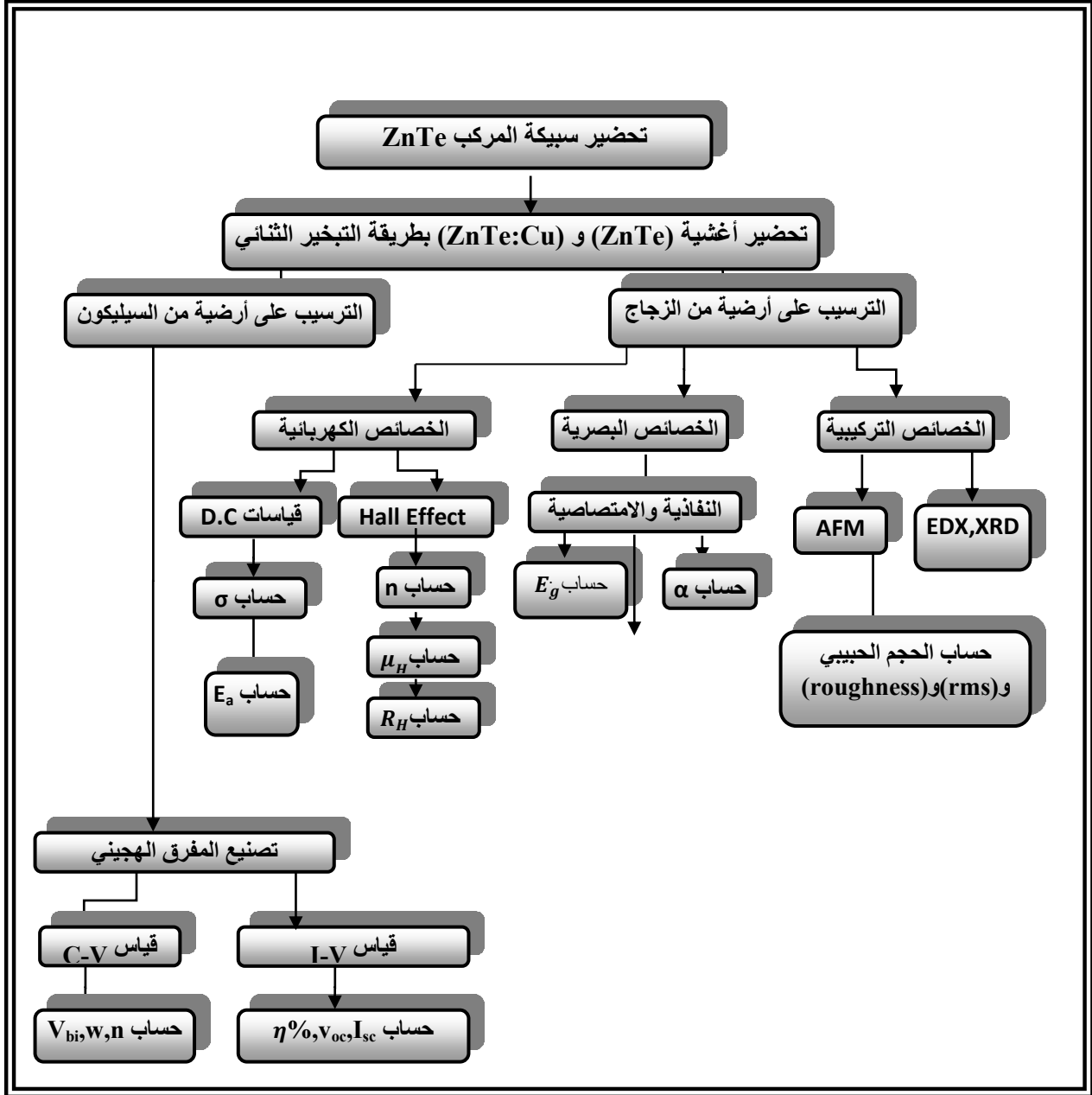
يتناول هذا الفصل استعراض الجوانب العملية والقياسات والفحوصات التي استخدمت في تصنيع المفرك الهجين (ZnTe:Cu/Si) ونظرا للممارسة العملية في مختبر الاغشية الرقيقة كتقني وجدت ان هنالك صعوبات وعقبات كثيرة امام الباحثين ابتداءً من تحضير السبائك وافران الحرق ومرورا بتغليف العينات برقائيق الالمنيوم وتحضير الاقنعة الخاصة بالنبيطة وأنتهاءً بتثبيت اسلاك التوصيل للقياسات الكهربائية. لذا قمت بتطوير وتصنيع بعض الاساليب والاجزاء الخاصة التي تدخل بعمل الاغشية والفحوصات الكهربائية، وفيما يلي ذكر موجز لها.

1. اضافة جزء دوار في منظومه تحضير السبائك لامكانية تدوير انبوب الكوارتز اثناء القطع مما يوفر تفرغها الى حد ( $2 \times 10^{-3}$  mbar) اثناء القطع.
  2. الاستعاضة عن الافران الكهربائية بحجره معزولة المسماة بـ(الكوره) المستخدمة في صهر المعادن مع اضافة تجويف مغلق من الطابوق الناري يحوي عينة الكوارتز لضمان عدم التعرض المباشر للنار.
  3. تصنيع ماسكات (الاقنعة) بمختلف الانواع من صفائح المقاوم للصدأ والتآكل (ستانلس ستيل) باستخدام ماكينة cut wire والتي وفرت سرعة وسهولة ودقة في تغليف العينات من الزجاج والسيلكون.
  4. عمل قواعد تحوي على اذرع توصيل (pin) والمستخدمه في فحص التوصيلة الكهربائية وتأثير هول والخواص (I-V) للمفرك الهجين.
  5. تصنيع منظومة متكاملة لقياس التوصيلية المستمرة وتأثير هول وخواص (I-V) تسجل القراءات بالحاسوب مباشرةً.
- وسيتم ذكر تفاصيل ما ورد اعلاه تباعاً.

## Experimental part

## (2-3) الجانب العملي :

يوضح الشكل (1-3) المخطط العملي المتبع في انجاز البحث



الشكل (1-3) الخطوات المتبعة في الجانب العملي

## Preparation Alloy

## (2-3) تحضير السبيكة:

تمر عملية تحضير السبيكة عبر مرحلتين

## 1- مرحلة تحضير الانبوبة المغلقة (الكبسولة)

حضرت سبيكة ZnTe بنسبة (1:1) كُلا من الخارصين Zn والتيلوريوم Te (النسبة الذرية لكل عنصر) ، ثم خلطت العناصر جيدا ووضعت في انبوبة من الكوارتز (وهي الانابيب المستخدمة في المدفئة الكهربائية) مغلقة احد الاطراف بعد ذلك تم تخصيص الطرف الاخر الى اقصى حد ممكن (للتمكن من القطع بسهولة عند التفريغ) ومن ثم فرغت باستخدام مضخة التفريغ (Rotary pump) وعند الوصول للحد المطلوب ( $3 \times 10^{-3}$  mbar) تم توجيه الشعلة الاوكسجينية وبالتدوير المستمر للانبوبة وذلك باستخدام الاداة التي تم تصنيعها تمكنا من غلق التخصر باحكام (يتم هذا والتفريغ مستمر الامر الذي لا يمكن تحقيقه من قبل استخدام اداة التدوير).

## 2- مرحلة الحرق

تستخدم الافران الكهربائية في اكثر الاحيان لحرق كبسولة السبيكة ونظرا للكلفة العالية لتشغيل هذا النوع من الافران (يتطلب بحدود 25 امبير لمدة ساعتين او اكثر) اضافة لكلفة الشراء. تم استخدام بديل اقل كلفة بكثير اذ استعمل الفرن الغازي (الكورة) المستعمل في صهر المعادن ولتلافي تعرض الكبسولة للنار المباشرة لمدة ساعة او اكثر تم وضع الكبسولة في تجويف مغلق من الطابوق الحراري الهش ومن ثم وضع الاثنيين في الكوره كذلك تم اضافة المزدوج الحراري (thermocouple) اذ تم تسجيل اعلى قراءة ( $1250^{\circ}\text{C}$ ) وخرج عن المدى. ولمدة ساعة من الحرق اخرجت العينة بعد ان تركت تبرد بالتدرج استخرجت السبيكة وطحنت بمطحنة مختبرية للحصول على مسحوق المادة. وثبينا للجهود تم تطوير هذه الطريقة بمساعدة الباحث (عباس حيدر) يوضح الشكل (2-3) الفرن المستعمل واداة التدوير.



الشكل (2-3) الفرن المستعمل لتحضير السبيكة واداة تدوير انبوبة الكوارتز

### (4-3) منظومة التبخير.

### Evaporation system

تم استخدام منظومة التبخير الحراري الفراغي المجهز اغلب اجزائها من شركة (Edward) في تحضير الاغشية الرقيقة من مادة ZnTe بفراغ يصل في أغلب التبخيرات بحدود ( $1 \times 10^{-5}$  mbar) اذ تم وضع المادة في حويض من المولبدينيوم (Mo) ذي درجة انصهارها عالية جداً، لكي لا ينصهر أثناء عملية التبخير الحراري الفراغي، ولقد تم تصنيع الحويض بحجم صغير  $cm^3$  (1×1×0.5) حتى لا يسحب تيار عالي وبالتالي يرفع درجة حرارة الحجرة مما يؤثر سلباً على التفريغ اذ ساعد هذه على بقاء التفريغ عند اعتاب ( $3 \times 10^{-5}$  mbar) ولمدة (12 min) تقريباً.

اما لتحضير الأغشية المشوبة بالنحاس (Cu) تم وضع مادة التشويب في حويض ذو نتوء صغير مقعر جنباً الى جنب مع حويض المادة (ZnTe) ولتقارب درجة تبخر كلا المادتين (تحت التفريغ) تم تبخرهما بالتزامن، مما اتيح حدوث الانتشار المطلوب.



رسبت المادة على قواعد زجاجية التي استعملت للقياسات التركيبية والبصرية والكهربائية، وعلى ارضيات من السليكون لغرض الحصول على مفرق هجين ZnTe/Si بسلك (400±15) nm، وبمعدل ترسيب (0.55±0.05) nm/sec.

ثم استعمل حويض التنكستن (لولبي الشكل) لترسيب اقطاب التوصيل (Al)، فقد استعمل اسلاك من الالمنيوم عالية النقاوه لترسيب الاقطاب.

## Substrate Preparation

### (5-3) تحضير القواعد:

هناك نوعان من القواعد المستعملة في البحث قيد الدراسة وهما:

1- القواعد الزجاجية: هي النوع الاول المستعمل في البحث وهي عبارة عن شريحة من زجاج ذي سمك 1.2 mm وبأبعاد  $25 \times 76$  mm<sup>2</sup> اذ قُطعت الشريحة الزجاجية إلى ثلاث قطع بأبعاد  $25 \times 20$  mm<sup>2</sup> وتتم عملية تنظيف القواعد الزجاجية بعدة مراحل هي :-

i. غسل القواعد بالماء والصابون لازالة الدهون والمواد العالقة وتترك تحت الماء الجاري لفترة لازالة الصابون.

ii. غسل القواعد بالماء المقطر (Distill Water) بوساطة جهاز Ultrasonic لمدة (20) دقيقة

iii. غسل القواعد بكحول عالي النقاوة (99.9 %) بوساطة جهاز Ultrasonic لمدة (20) دقيقة.

iv. تجفف جيداً باستعمال ورق تجفيف خاص.

2- قواعد السيلكون: ذات مواصفات (تركيب أحادية التبلور (Single Crystal) من النوع القابل (p-

type) ذات إتجاهية بلورية (111) وبمقاومية كهربائية (1 Ω.cm)). تم تقطيع شريحة السليكون الى

قطع صغيرة بأبعاد تقريبية  $20 \times 15$  mm<sup>2</sup> ثم غمرت القواعد لمدة من (2-3) دقائق بمحلول

حامض الهيدروفلوريك HF المخفف بنسبة (1:10) بالماء المقطر. للتأكد من إزالة اي طبقة من

الاوكسيد المحتملة، وبعدها تغسل جيدا بالماء اللايوني والكحول، ومن ثم توضع العينات في جهاز

الموجات فوق السمعية Ultrasonic لمدة (30) دقيقة، وبعد التجفيف تكون جاهزة لعملية الترسيب.

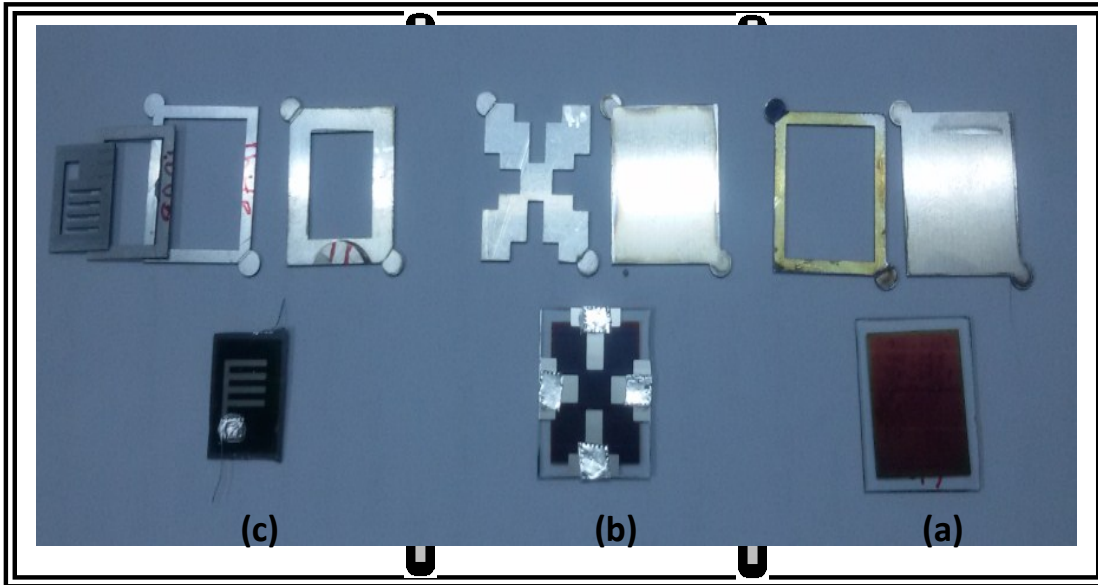
ان الغرض من هذه المراحل هو لضمان التنظيف الجيد لأنه يؤثر في تركيب وطبيعة مادة الغشاء

المتكون.

## Masks Preparation

## (3-6) تهيئة الاقنعة:

تستعمل الاقنعة لتحديد الشكل الهندسي المطلوب لغشاء المادة المراد تبخيرها وكما ذكر سابقا تم تصميم وتثبيت الابعاد للقوالب المراد تصنيعها وباستخدام تقنية القطع بالسلك المشحون (wirecut) وتم اختيار هذه الماكينة لتصنيع قوالب الاقنعة لما تمتاز به من دقة عالية في قطع النماذج الصغيرة وامكانية عمل شق باجزاء من الملمتر (سمك السلك المستخدم 0.3 mm) لقد امتازت النماذج المصنعة بالمتانة وسهولة تثبيت العينات داخلها دون الحاجة للتغليف بقطع الالمنيوم الذي وفر كثير من الوقت والجهد في اعداد النماذج لكل تبخيرة. والشكل (3-3) يوضح اشكال الاقنعة المستعملة قيد الدراسة .



الشكل (3-3) يوضح اشكال الاقنعة المستعملة (a) قناع ترسيب الغشاء (b) قناع تأثير هول والتوصيلية المستمرة (c) قناع الخلية او الكاشف.

### (7-3) تحضير الأغشية الرقيقة : Thin Films Preparation

وضعت في الحويض المستعمل للتبخير الحراري كمية محسوبة من المركب (ZnTe) بواسطة ميزان الكتروني حساس من نوع (Precisa) ذي مدى حساسية لغاية ( $10^{-4}$  gm)، وربطت طرفي الحويض إلى قطبي المصدر، بعد ذلك ثبتت الأرضيات الزجاجية بعد التنظيف على حامل العينات. يوضح الشكل (5-3) مخططاً لعملية التبخير. تم وضع حامل العينات فوق الحويض بنحو عمودي تقريباً، وبعد تفرغ المنظومة إلى الضغط المناسب تقريباً ( $2 \times 10^{-5}$  mbar) بدأت عملية تسخين الحويض تدريجياً، وبمعدل ترسيب ( $0.55 \pm 0.2 \text{ nm sec}^{-1}$ )، وبعد انتهاء عملية التبخير تركت النماذج في منظومة التبخير لتصل إلى درجة حرارة الغرفة. ثم استخرجت النماذج من المنظومة لإجراء الفحوصات عليها.

### (8-3) قياس سمك الأغشية الرقيقة:

#### Thickness Measurement of Thin films:

ان قياس سمك الأغشية الرقيقة من الأمور الأساسية عند تصنيع أي نبيطة الكترونية، ولذلك تعددت طرق قياس السمك، واختلفت في ما بينها اعتماداً على مبدأ العمل ومستوى الدقة، والطريقة التي اعتمدها في هذا البحث هي الطريقة الوزنية ومن المهم جداً ان يكون سمك الاغشية المرسبة على قواعد الترسيب (Substrate) ذات سمك محدد ومتجانس وموزع بانتظام، ويؤثر الشكل الهندسي لحامل قواعد الترسيب والحويض (Boat) تأثيراً مباشراً في تجانس الغشاء المحضر وتوزيعه. فقد استعمل حامل القواعد ذو مقطع كروي الشكل، يمتاز بان سمك الغشاء لا يعتمد على المسافة (r) بين المصدر وشريحة الترسيب "المتغيرة بحسب موقع الشريحة" كما هو موضح بالشكل (3-4)، وإنما يعتمد المسافة ( $r_0$ )، وبموجب هذا الشكل تم اشتقاق علاقة تستعمل لحساب السمك [2].

$$t = k [m/4\pi r_0^2] \dots\dots\dots(1-3)$$

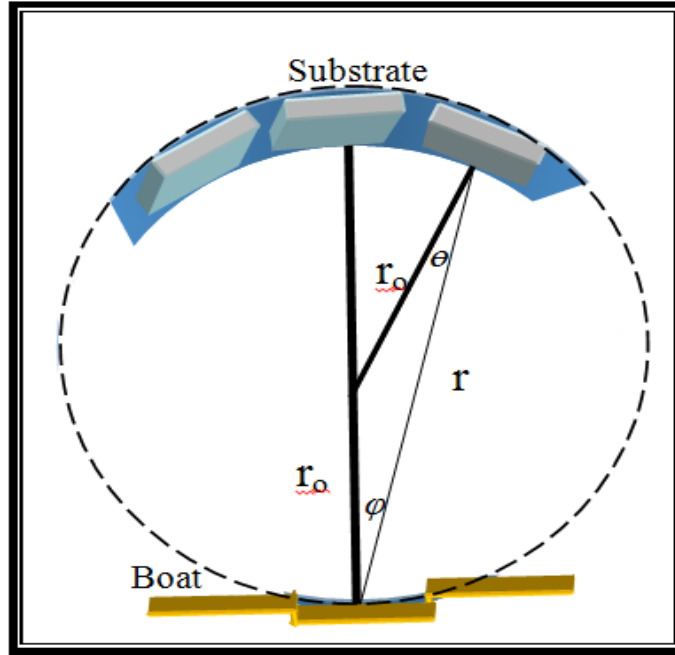
إذ:

$$m = \text{كتلة المادة المرسبة (gm).}$$

$$\rho = \text{كثافة المادة المرسبة (gm/cm}^3\text{).}$$

$$r_0 = \text{نصف القطر للمقطع الكروي لحامل الأرضية (9 cm).}$$

$k = \text{ثابت يساوي } (1/\pi) \text{ لمصدر تبخير مستوي و } (1/4\pi) \text{ لمصدر تبخير نقطي.}$



الشكل (3-4) مقطع طولي لحامل أرضيات (substrates) كروي الشكل مع حوض كمصدر تبخير مستوي

## Structure Measurements

## (9-3) القياسات التركيبية:

## X-Ray Diffraction

## (1-9-3) حيود الأشعة السينية:

ان دراسة نمط حيود الأشعة السينية (XRD) لأي مادة يُمكننا من التعرف الى التركيب البلوري لهذه المادة. ولمعرفة التركيب البلوري للسبائك المحضرة التي استخدمناها فقد قيس حيود الأشعة السينية لهذه السبائك وللأغشية المرسبة ضمن المدى الزاوي ( $2\theta = 10^\circ - 80^\circ$ ) باستعمال جهاز حيود الأشعة السينية بالمواصفات الآتية :

type : Shimadzu 6000	target : Cu
Wave Length: 1.54060 A	Voltage: 40.0 (KV).
Scan speed: 5.0000 (deg/min).	Current: 30.0 (mA).

عن طريق تطبيق قانون براك (Bragge Law) المعادلة (1-2)، حسب المسافة بين المستويات البلورية (d) ولتعيين التركيب البلوري يتم احتساب كل من (d, hkl, 2θ) وبمقارنتها مع الجداول القياسية لبطاقات (ICDD) (International Center for Diffraction Data)، يمكن تشخيص نوع التركيب البلوري للمادة المستخدمة وأبعاد وحدة الخلية.

### (2-9-3) قياسات مجهر القوة الذرية (AFM):

#### Atomic Force Microscop Measurements

تضمن هذه التقنية تكبير صورة الغشاء السطحية بطرائق حديثة جداً، ويمتاز مجهر القوة الذرية (Atomic force microscopy) بقدرات تحليل عالية تصل لحد (0.1-1.0 nm)، وقوة تكبيرية تقدر بـ ( $10^8 - 5 \times 10^2$ ) مع قدرة تشغيل ضمن الضغط الجوي الاعتيادي [33].

ولدراسة تأثير درجة حرارة التلدين ونسب التشويب في طوبوغرافية سطوح الأغشية المحضرة استخدمنا تقنية (AFM)، وذلك باستعمال جهاز نوع (SPM-AA3000 contact mode spectrometer) المصنع من شركة (Advanced Inc. Com. USA)، إذ يُؤمن هذا الجهاز الحصول على صور عالية الدقة ثنائية وثلاثية الأبعاد تصف السطح من جهة معامل الخشونة (Roughness) وحجم الحبيبة (grain Size) ومربع متوسط الخشونة (The average square roughness).

#### Optical Measurements

### (10-3) القياسات البصرية:

قيست الخصائص البصرية التي تتضمن الامتصاصية (A) والنفاذية (T)، وذلك باستخدام جهاز مطياف إنجليزي الصنع نوع (UV-Visible 1800 spectra-photometer)، يستخدم هذا الجهاز لقياس الامتصاصية كدالة الأطوال الموجية ضمن المدى (300-1100) nm، ومن الطيف المسجل (الامتصاصية) يمكن إيجاد الثوابت البصرية الأخرى مثل (النفاذية ومعامل الامتصاص ومعامل الخمود وفجوة الطاقة).

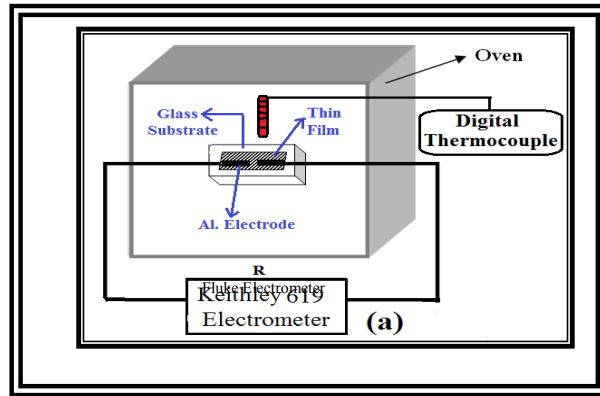
## Electrical Measurements

### (11-3) القياسات الكهربائية:

#### (1-11-3) قياس التوصيلية الكهربائية المستمرة:

### D.C Electrical Conductivity Measurement

اعتمدنا الدائرة المبينة في الشكل (3-5) لقياس التوصيلية الكهربائية المستمرة لأغشية (ZnTe) و (ZnTe:Cu) وذلك عن طريق دراسة تغير مقاومة الغشاء مع تغير درجة الحرارة، إذ توصل أقطاب الألمنيوم المُرسبة على عينات الاغشية، باستعمال القناع كما في الشكل (3-4-b)، بأسلاك توصيل إلى طرفي جهاز الملتيميتر (Fluke 8846A Digital Electrometer) بعد وضع العينة في فرن كهربائي يتم تسجيل مقدار التغير في مقاومة الغشاء كدالة لتغير درجة الحرارة إذ تسجل المقاومة لكل (10) درجات لمدى درجة الحرارة  $^{\circ}\text{C}$  (200-28)، عندها يمكن حساب التوصيلية الكهربائية المستمرة ( $\sigma_{dc}$ ) عن طريق معرفة قيمة المقاومة ( $\rho$ ) اعتماداً على المعادلات المبينة في الفصل الثاني. وتحسب طاقة التنشيط لجميع الأغشية المحضرة باعتماد المعادلة (2-18) بعد رسم العلاقة بين ( $\ln\sigma$ ) كدالة لـ  $(1000/T)$ :



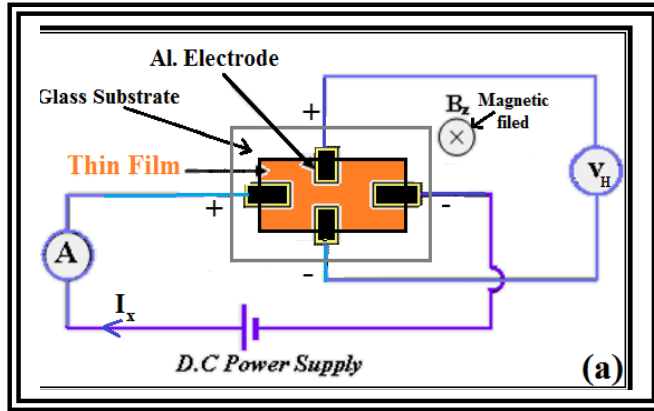
الشكل (3-5) رسم الدائرة الكهربائية المستخدمة لقياس التوصيلية المستمرة

### Hall Effect

### (2-11-3) تأثير هول:

تستخدم قياسات تأثير هول لأغشية (ZnTe) و (ZnTe:Cu) للتعرف الى نوع حامل الشحنة، وكذلك لحساب معامل هول وتركيز وتحركية الحاملات، عن طريق استعمال الدائرة الكهربائية المبينة بالشكل (3-6) بعد ترسيب أقطاب الألمنيوم على الأغشية وبعتماد القناع المبين بالشكل (3-3-b)، إذ

يربط قطبا الغشاء بأسلاك التوصيل الى طرفي مجهز قدرة مستمر نوع (E350)، ويربط على التوالي معهما جهاز الأميتر من نوع (Fluke 8846A Digital Electrometer)، ويربط القطبان الآخران من الغشاء مع جهاز فولتميتر من نوع (MT-1820). وأستعمل مغناطيس ثابت يعطي مجالاً مغناطيسياً منتظم شدته (50 mT) يتم تسجيل التيار المار بالغشاء (I) عبر الأميتر كدالة لتغير فولتية مجهز القدرة وبالتالي تسجيل فولتية هول ( $V_H$ ).



الشكل (3-6): مخطط الدائرة الكهربائية المستعملة لقياس تأثير هول.

وبرسم علاقة بيانية بين التيار المار بالغشاء وفولتية هول يمكن تحديد نوع حامل الشحنة، فإذا كانت العلاقة طردية أي أن ( $V_H$ ) يزداد مع ( $I$ ) فان شبه الموصل من النوع الموجب (p-type)، أما إذا كانت العلاقة عكسية فان الغشاء يكون من النوع السالب (n-type)، علماً إن قياسات تأثير هول أجريت عند RT .

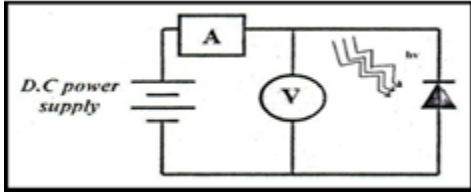
### (3-11-3) قياسات خصائص (التيار – فولتية) تحت الإضاءة:

#### (I-V) Characteristics Measurement in the Illumination

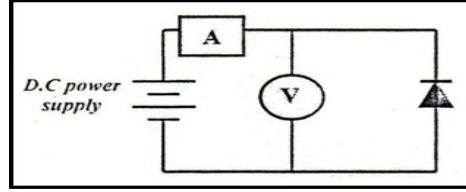
باستخدام الدائرة المبينة في الشكل (a-7-3) جري قياس خصائص (فولتية- تيار) بحالتين تحت الإضاءة (Illumination) وللانحيازات الأمامي (forward) والعكسي (reverse)، إذ تم تشييع المفرق المحضر بضوء مصباح الهالوجين نوع (Philips)، بكثافة قدرة ضوئية ( $200 \text{ mW/cm}^2$ ) مع

تسليط جهد خارجي. ومن رسم العلاقة بين الفولتية والتيار تم تحديد تيار دائرة القصر ( $I_{sc}$ ) وفولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ ).

a: Illumination



b: Dark



الشكل (7-3) الدائرة الكهربائية لقياس (فولتية-تيار)

### (4-11-3) قياسات خصائص (التيار- فولتية) في الظلام

#### (I-V) Characteristics Measurement in the Dark

يجرى قياس خصائص (I-V) في حالة الظلام إذ توضع الخلية داخل حجرة مظلمة وتوصل بالدائرة الموضحة في الشكل (b-7-3)، ويكون قياس تيار الانحياز الأمامي (ربط جزء الخلية السالب (المانح) بالجهد السالب لمجهز القدرة المستمر، وربط جزء الخلية الموجب (القابل) بالجهد الموجب لمجهز القدرة المستمر عند جهد انحياز على مدى يتراوح Volt (0.01-8)، ونقرأ قيمة التيار بواسطة مقياس التيار الرقمي نوع (Fluke 8864A Digital Electrometer)، وكذلك يكون قياس تيار الانحياز العكسي بربط جزء الخلية السالب بالجهد الموجب لمجهز القدرة وربط جزء الخلية الموجب بالجهد السالب لمجهز القدرة عند جهد انحياز على مدى يتراوح من Volt (0.01-8)، أيضاً، ومن العلاقة بين تيار الانحياز الأمامي وجهد الانحياز يتم تحديد معامل المثالية ( $\beta$  Ideality factor).



## (5-11-3) قياسات خصائص سعة – فولتية

## (C-V) Characteristic Measurement

يكون قياس (سعة – جهد) للمفرق المصنع تحت جهد الانحياز العكسي الذي يتراوح ما بين (-0.1 V) وعند تردد (10,100) kHz باستعمال جهاز (LCR) نوع (LCR meter (GWinstek (8105G) المبينة صورته في الشكل (3-8). ويُعد قياس (سعة – جهد) مهماً في تحديد جهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) وعرض منطقة الاستنزاف (W) ، وتركيز الحاملات (N) ونحصل على قيمة جهد البناء الداخلي عملياً برسم العلاقة بين ( $1/C^2$ ) وجهد الانحياز العكسي ومن تقاطع امتداد الخط المستقيم مع محور الجهد يمكن تحديد جهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ). ومن تقاطعه مع محور ( $1/C^2$ ) أي عند ( $V = 0$ ) تم تحديد ( $C_0$ ) وبعد ذلك يمكن حساب عرض منطقة النضوب (W) من المعادلة (2-42) ومن حساب ميل المستقيم والتعويض بالمعادلة (2-41) يمكن إيجاد تركيز الحاملات .



الشكل (3-8) جهاز (LRC) نوع (GW instek 8105G) LCR meter

# الفصل الرابع

## النتائج والمناقشة

## Introduction

## (1-4) المقدمة:

يتناول هذا الفصل نتائج الفحوصات التركيبية باعتماد تقانة حيود الأشعة السينية لسبيكة المركب الثنائي ولاغشية تليرايد الخارصين (ZnTe) الرقيقة النقية والملدنة بدرجات حرارة  $(100,300)^\circ\text{C}$ ، والمشوبة بالنحاس بنسب  $(3,5,7)\%$ ، والمرسبة على قواعد من الزجاج والسيلكون بطريقة التبخير الحراري الثنائي في الفراغ بسماك  $(400 \pm 5) \text{nm}$ ، وبمعدل ترسيب  $0.55 \pm 0.05 \text{ nm / sec}$  ويتضمن هذا الفصل عرضاً لنتائج الخصائص التركيبية لمعرفة بنيتها البلورية من جهة، ودراسة خصائصها البصرية من جهة أخرى خلال قياس طيف النفاذية، وتم حساب معامل الامتصاص وفجوة الطاقة البصرية. أيضاً تم دراسة الخواص الكهربائية للاغشية المحضرة، كما تم تحليل خصائص المفارق الهجينة المحضرة (ZnTe/Si) النقي والمشوب بالنحاس (Cu:ZnTe/Si)، واهم التطبيقات العملية لهذه المفرق.

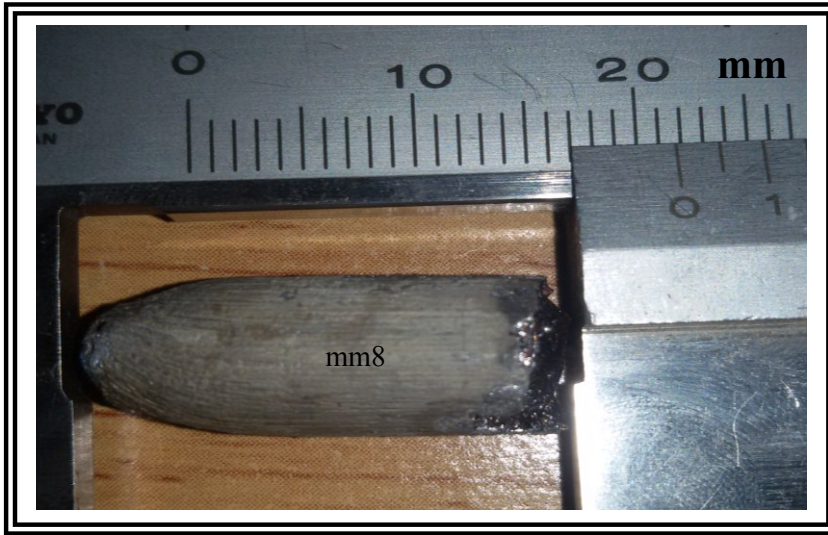
## Structural Properties

## (2-4) الخصائص التركيبية.

### (1-2-4) نتائج حيود الأشعة السينية لسبيكة (ZnTe)

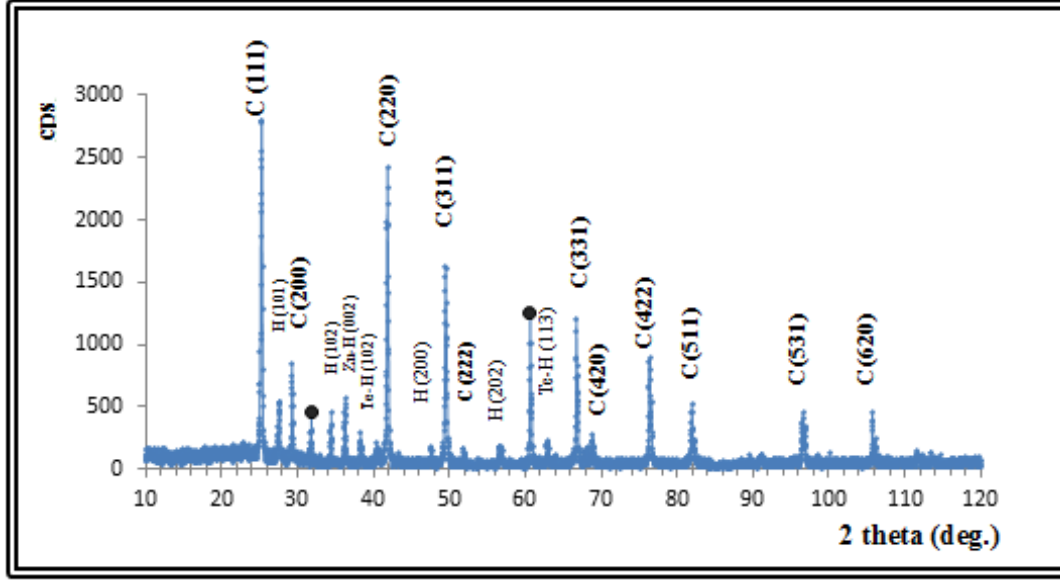
### Results of XRD of the (ZnTe) alloy

للتأكد من ان السبيكة المحضرة والمبينة في الشكل (1-4) مطابقة للمواصفات المعتمدة من قبل (International Center for Diffraction Data) (ICDD) يتم الاستعانة بقياسات XRD وايضا لمعرفة التركيب البلوري السائد اذ ان المركب (ZnTe) وكما بُين سابقا يتشكل بثلاث تراكيب بلورية بالاضافة الى معرفة ترتيب الذرات واتجاهاتها في المسحوق



الشكل (1-4) سبيكة (ZnTe) المحضرة

يلاحظ من الشكل (2-4) الذي يمثل نمط حيود الأشعة السينية لمسحوق سبيكة ZnTe انها ذات تركيب متعدد التبلور (polycrystalline) وان مواقع هذه القمم تم مقارنتها مع بطاقات الـ (ICDD) الخاصة بالمركب والعناصر المكونه له، فوجد ان المركب تشكل بطورين هما الطور المكعب (Cubic) والسداسي (Hexagonal) وباتجاهات بلورية مختلفة وحسب ما مؤشر فوق كل قمة. كذلك عند مقارنة عدد القمم وشداتها يمكن ان نستنتج ان الطور السائد هو الطور المكعبي وبتوجه (111). وبالاضافة الى ذلك نلاحظ ظهور قمم ضعيفة تعود للعناصر المكونة للمركب (Zn,Te) والذي قد يعزى الى عدم التجانس بسبب الفروقات الوزنية عند تحضير السبيكة ويمكن اعتباراً ضمن الاخطاء التجريبية.



الشكل (2-4) حيود الاشعة السينية لمسحوق سبيكة ZnTe المحضرة.

يوضح الجدول (1-4) الخواص التركيبية لسبيكة (ZnTe) والمتضمنة معلومات بطاقات (ICDD). يلاحظ من الجدول ان هنالك تطابق كبير لمواقع القمم بين السبيكة المحضرة وبطاقة المعلومات الخاصة للتركيب المكعبي، وان الحجم البلوري ( $C_S$ ) المحسوب بالاعتماد على معادلة شيرر ذات ابعاد نانوية وان اعظم شدة مقاسة عند الاتجاه (111) يقابل اقل حجم بلوري بحدود (35.8 nm) ولما كانت الشدة العالية لاي قمة تفسر على ان اغلب البلورات المتكونة تمتلك التوجه نفسه (hkl) (اي زيادة عدد البلورات ذات الاتجاه - hkl) بكونها تعكس جميعها الاشعة السينية بنفس الاتجاه لذا فان الحجم الحبيبي يزداد بزيادة الشدة وبتناقص قيمة عرض منتصف الشدة (FWHM).

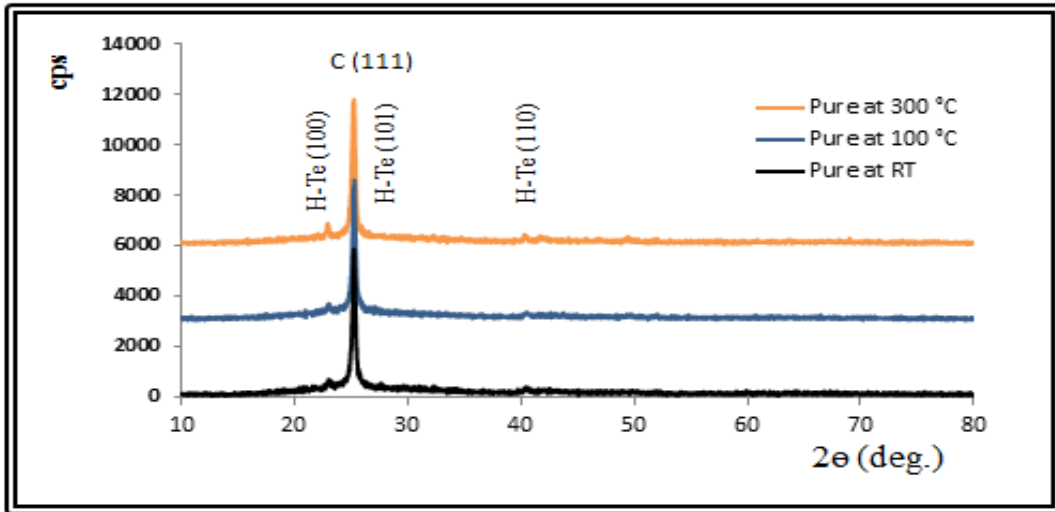
الجدول (1-4) النتائج المستحصلة من فحص XRD لمسحوق سبيكة ZnTe المحضرة.

	XRD				ICDD				
	2 theta (deg)	d(°A)	FWHM (deg)	Cs (nm)	2 theta (deg)	d(°A)	(hkl)	lattice const.(°A)	card No.
C-ZnTe	25.284	3.520	0.2273	35.822	25.259	3.523	(111)	6.103	15-0746
	41.867	2.156	0.2003	42.467	41.805	2.159	(220)		
	49.523	1.839	0.1991	43.942	49.496	1.840	(311)		
	66.774	1.400	0.1782	53.388	66.745	1.400	(331)		
H-ZnTe	27.597	3.230	0.2269	36.056	26.914	3.310	(101)	a=4.31 b=7.09	19-1482
	34.441	2.602	0.1540	54.011	34.854	2.572	(102)		
	56.652	1.623	0.2267	39.809	55.585	1.652	(202)		
	62.877	1.477	0.1600	58.192	63.540	1.463	(203)		
H-Te	38.287	2.349	0.3167	26.554	38.260	2.350	(102)	a=4.458 b=5.927	36-1452
	40.484	2.226	0.2600	32.568	40.445	2.228	(110)		
H-Zn	36.294	2.473	0.1792	46.655	36.296	2.473	(002)	a=2.67 b=4.95	4-831

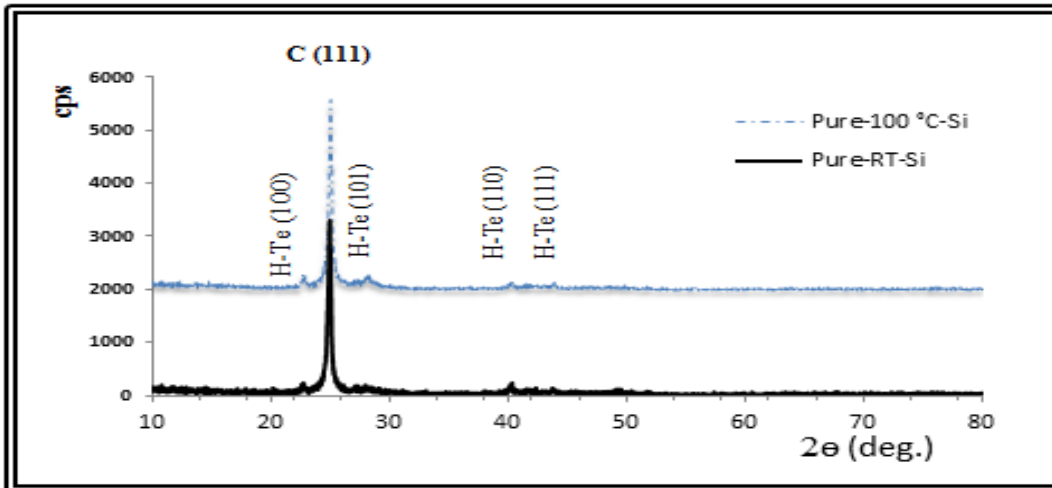
#### (2-2-4) نتائج حيود الأشعة السينية لأغشية (ZnTe)

##### The results of X-ray diffraction for (ZnTe)films:

يبين الشكل (3-4) فحص الـ (XRD) وتأثير درجة الحرارة قبل وبعد التلدين (تحت التفريغ) للأغشية المرسبة النقية على قواعد زجاجية عند درجة حرارة  $100,300^{\circ}\text{C}$  (الشكل (4-4)) فيبين تأثير التلدين عند درجة  $100^{\circ}\text{C}$  للأغشية النقية المرسبة على قواعد السيلكون ولمدة ساعة. نلاحظ أن جميع الأغشية المحضرة تقترب من التركيب احادي التبلور (single crystalline) من النوع المكعب وعند اتجاهية تبلور (111) وبشدة عالية مع تلاشي الطور السداسي. ان غياب الاتجاهات البلورية المختلفة الموجودة بالسبيكة والابقاء على نمو بلوري واحد يسبب انتظامية كبيرة وتناقص العيوب البلورية التركيبية للأغشية المرسبة بالاضافة الى تناقص الحجم البلوري وزيادة شدة الحيود بتأثير التلدين مما يعني زيادة بالحجم الحبيبي وكما موضح بالجدول (2-4). كذلك نلاحظ ظهور قمم ضعيفة تعود لعنصر التيلوريوم (Te) عند زوايا الحيود (20) (40.34, 27.78, 22.77, 43.32), كما موضح بالشكل (3-4) و(4-4) وهذا ما يفسر التوصيلية الموجبة (p-type) لأغشية (ZnTe) لوجود العيب الفراغي (vacancy) لعنصر الخارصين (Zn) في الهيكل التركيبي لـ (ZnTe) وهذا ما يتفق مع الباحث [18] [20] [22].



الشكل (3-4) حيود (XRD) لاغشية ZnTe/glass قبل وبعد التلدين وعند سمك 400 nm

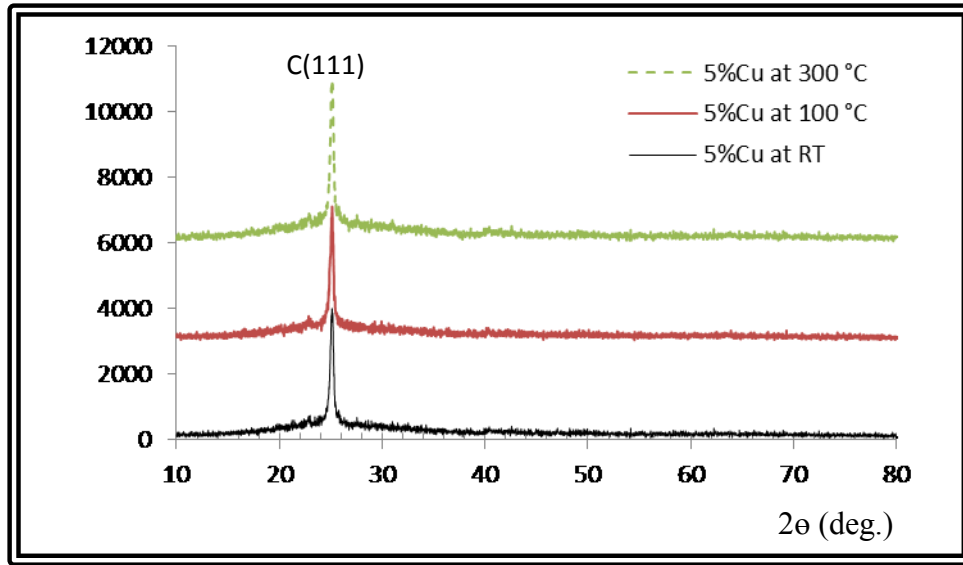


الشكل (4-4) حيود (XRD) لاغشية ZnTe/Si قبل وبعد التلدين وعند سمك 400 nm

الجدول (2-4) قيم الشدة العظمى لاغشية ZnTe المحضرة.

substrate	T (°C)	2Theta (deg)	d(°A)	FWHM (deg)	hkl	Cs (nm)
glass	RT	25.267	3.522	0.315	111	25.84
	100	25.271	3.521	0.316	111	25.75
	300	25.235	3.526	0.379	111	21.47
Si	RT	24.996	3.559	0.296	111	27.49
	100	24.998	3.560	0.307	111	26.50

اما الشكل (4-5) فيوضح تاثير التلدين على الاغشية المشوبة بالنحاس بنسبة (5%) قبل وبعد التلدين عند درجة حرارة  $^{\circ}\text{C}$  (100 و 300) فنلاحظ كما هو الحال في الاغشية النقية اقتراب الاغشية المرسبة من الحالة احادية التبلور مع انخفاض في درجة التبلور بسبب نقصان شدة القمة (111) وقد يعزى ذلك الى ان المادة الشائبة (ذرات النحاس) اصبحت ايون موجب ( $\text{Cu}^+$ ) وحل محل ايون الخارصين الثنائي ( $\text{Zn}^{+2}$ ) كأيون مانح (donor ion) مما ولد او تم استحداث مستويات ذرية مانحة داخل شبكية بلورة المادة المضيفة ( $\text{ZnTe}$ ) اي بين فجوة الطاقة المحصورة وبالتالي فإن تشتت الأشعة السينية الساقطة على المستويات الذرية لكل من الايون المانح والمادة المضيفة سوف لن يكون بالطور نفسه ، وهذا يسبب تداخلا اتلافيا جزئيا بين الاشعة المتشتتة من هذه المستويات وهذا ما يتفق مع الباحث [20].



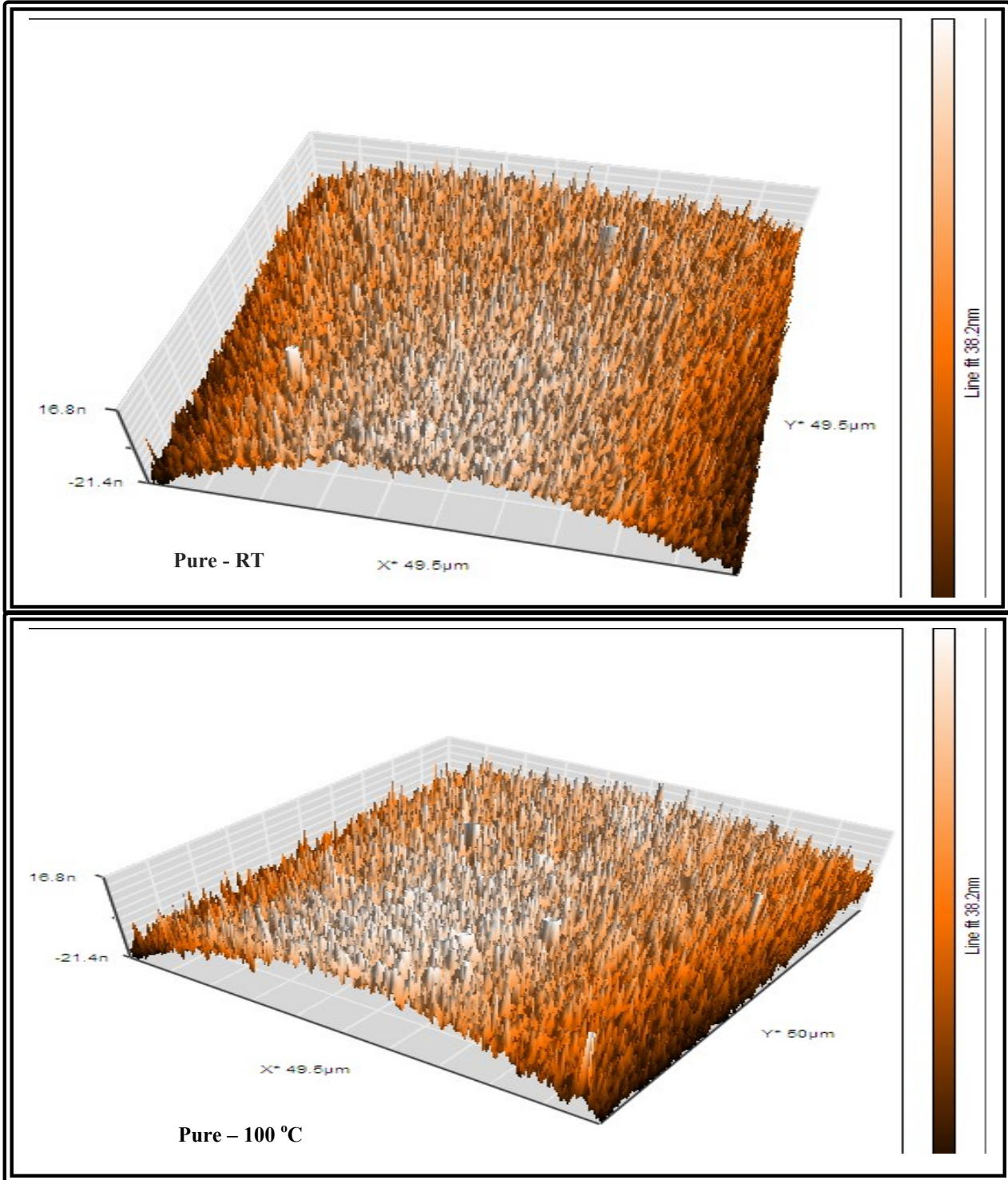
الشكل (4-5) حيود (XRD) لاغشية المشوبة ZnTe:Cu/glass قبل وبعد التلدين وعند سمك 400 nm

كذلك احتوت الاغشية المشوبة على قمم ضعيفة جدا لعنصر التيلوريوم (Te) مع تناقص بالحجم البلوري وكلما زادت درجة حرارة التلدين تخفتي تماما عند درجة حرارة تلدين  $^{\circ}\text{C}$  (300) وقد يعزى ذلك على ان زيادة درجة الحرارة عملت على تحويل أيون النحاس من احادي التكافؤ ( $\text{Cu}^+$ ) الى ثنائي التكافؤ ( $\text{Cu}^{+2}$ ) مكون بذلك مع ايون التيلوريوم ( $\text{Te}^{+2}$ ) المركب  $\text{CuTe}$  اما عدم ظهوره بحيود الاشعة السينية لامتلاكه على قمة حيود (111) عند زاوية حيود مقارنة لنظيرتها  $\text{ZnTe}$ .



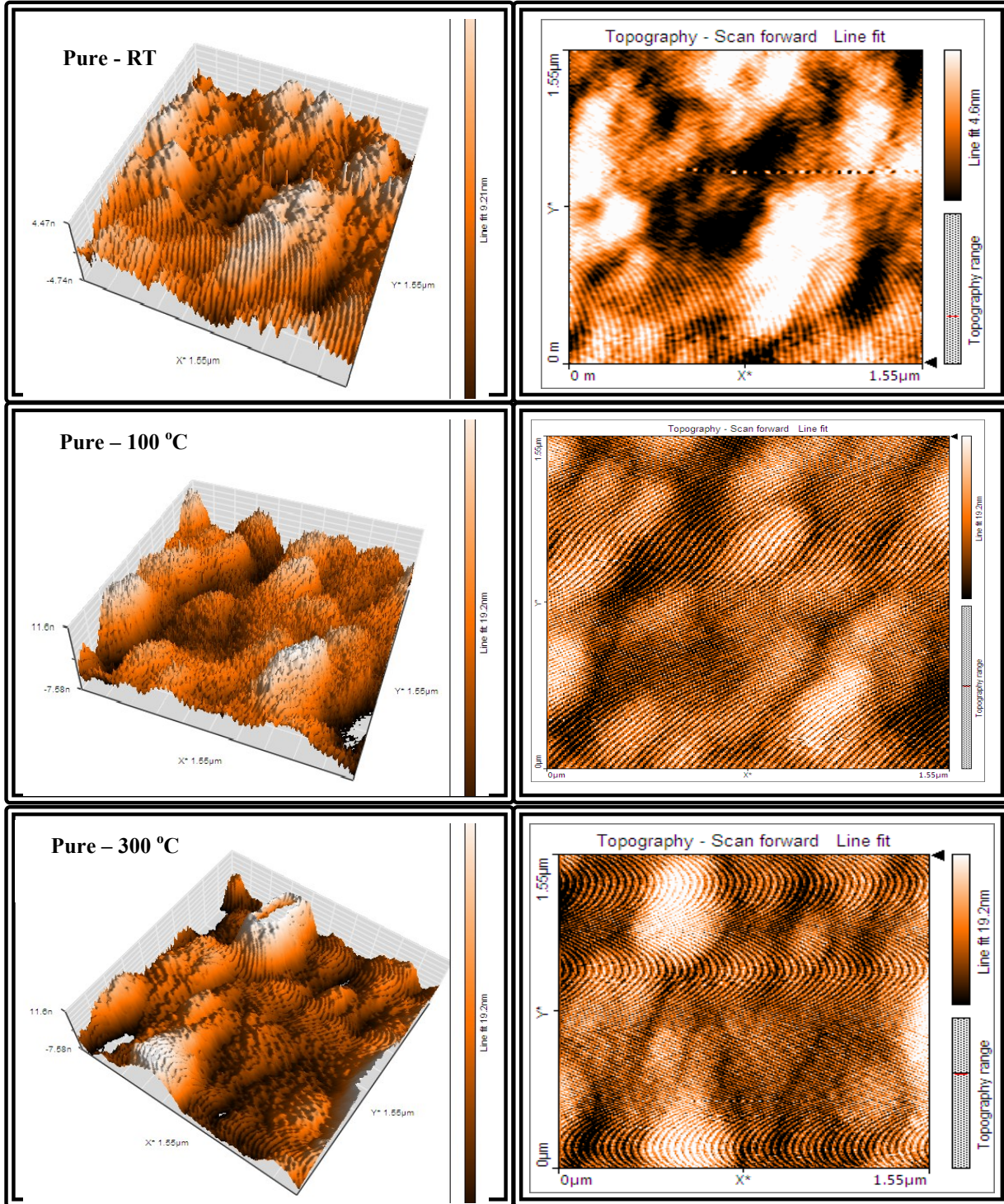
### (3-2-4) نتائج مجهر القوة الذرية (AFM): The results of (AFM)

استعمل مجهر القوة الذرية (AFM) لدراسة مقدار خشونة سطوح الأغشية المرسبة ومدى تأثير نسبة التشويب ودرجة حرارة التلدين على تجانس وانتظامية سطوح الاغشية المرسبة. فضلا عن ان له

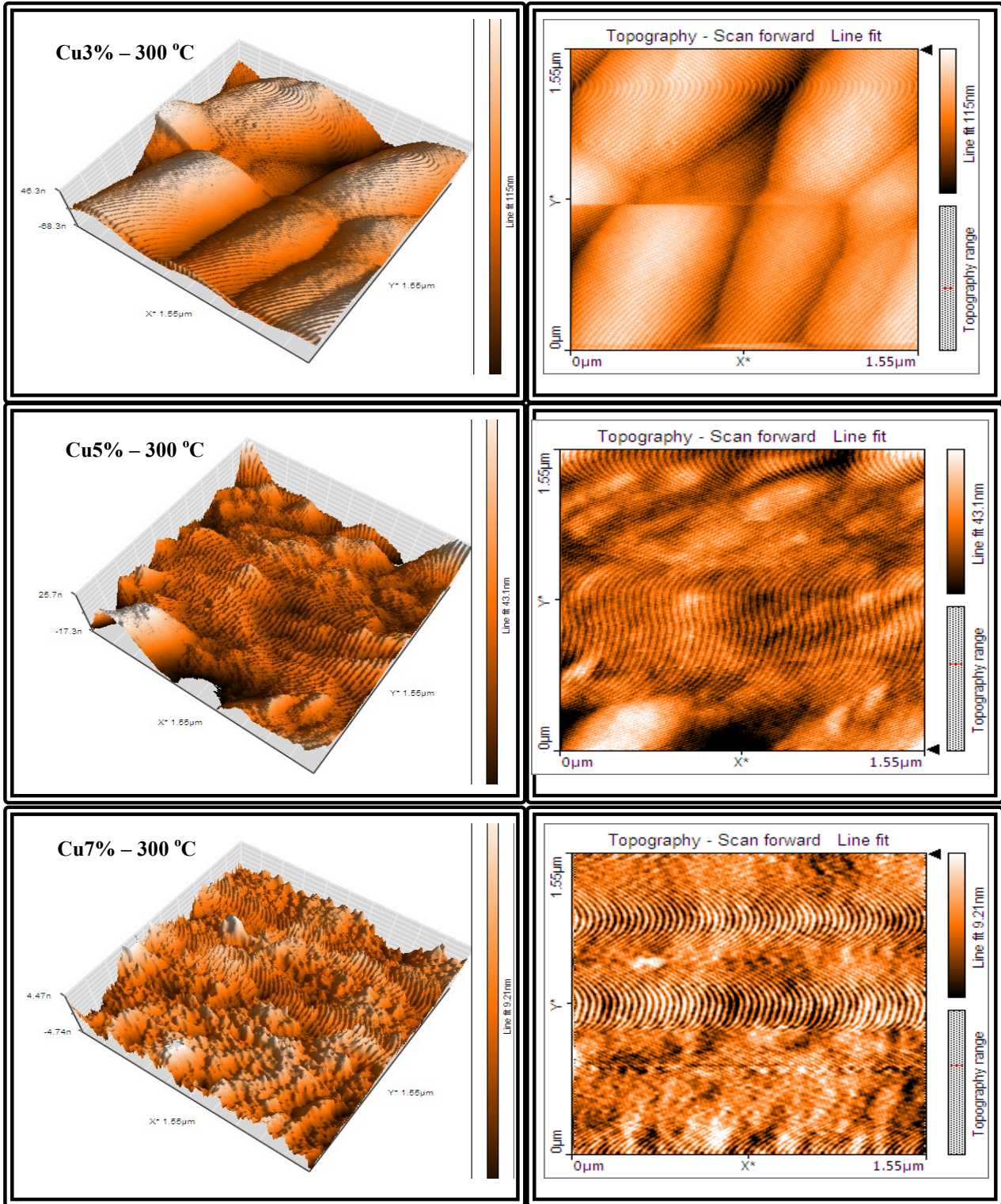


الشكل (6-4) صور AFM للغشاء ZnTe النقي المرسب على الزجاج عند درجة R.T. وتلدين 100 °C للسمك 400 nm وابعاد مسح (50μm×50μm)

القدرة على تصوير سطوح الأغشية وتحليلها وإعطاء قيم إحصائية دقيقة عن معدل حجم الحبيبات وخشونة السطح (Roughness) اعتماداً على الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة (Root Mean Square - r.m.s)، إذ يوضح الشكل (6-4) صور (AFM) ثلاثية الأبعاد للأغشية النقية الملدنة بدرجة (100 °C) وغير الملدنة، ويلاحظ تكوّن تراكيب ابرية نانوية بعض منها مجوفة ذات ارتفاعات متجانسة وبعود (38 nm).



الشكل (7-4) يمثل صورة AFM للأغشية النقية عند درجة حرارة الغرفة RT والملدنة عند (100,300) °C



الشكل (8-4) يمثل صورة AFM للأغشية المشوية (Cu) بالنسب (3,5,7)% والملدنة عند 300 °C

يوضح الشكل (7-4) والشكل (8-4) صور AFM ذات البعدين وثلاثة ابعاد للاغشية النقية المحضرة عند درجة حرارة الغرفة RT والملدنة بدرجة  $^{\circ}\text{C}$  (100,300) وايضا الاغشية المشوبة بالنسب المختلفة والملدنة بدرجة  $^{\circ}\text{C}$  300 وبمعدل مسح للسطح بمساحة  $(1.55\mu\text{m}\times 1.55\mu\text{m})$  نلاحظ ان الحجم الحبيبي المقاس بهذه التقنية بالنسبة للشكل (7-4) ثابت تقريبا وبحدود (46 nm) رغم اجراء عملية التلدين مع زيادة بعامل الخشونة من (1.39 nm) للاغشية النقية عند RT الى (3.45 nm) للاغشية النقية الملدنة عند ( $^{\circ}\text{C}$  300) وهو مقدار قليل، وان زاد يعدّ مؤشر على نعومة وتجانس الاغشية المحضرة . اما الشكل (8-4) فيبين تأثير التلدين والتشويب بالنسب المختلفة على تجانس و خشونة السطح. اذ ان اضافة النحاس وبنسبة 3% عمل على زيادة كبيرة بالحجم الحبيبي وبمعدل الخشونة وبزيادة التشويب اظهرت الاغشية تناقص بالحجم الحبيبي وكما موضح الجدول (3-4) .

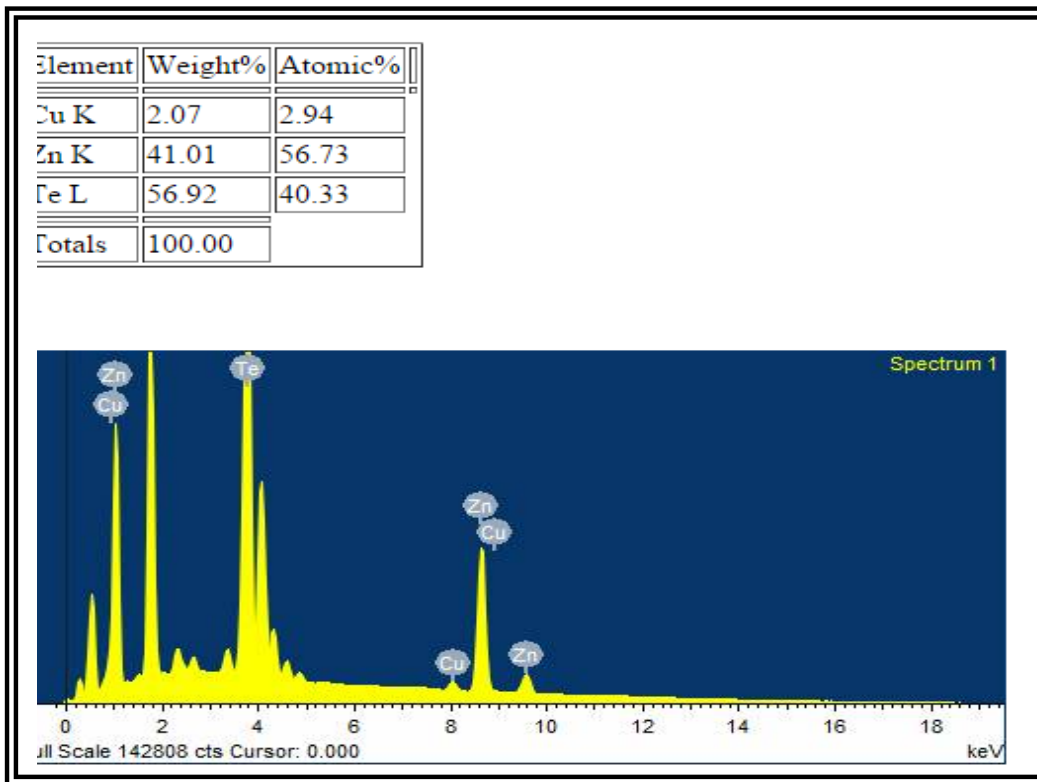
الجدول (3-4) يبين نتائج فحوصات مجهر القوة الذري (AFM) لاغشية ZnTe و ZnTe:Cu

Samp.	Roughness Avg. (nm)	Root mean square (nm)	G.S (nm)
Pure-RT	1.39	1.7	46
Pure-100 $^{\circ}\text{C}$	3	3.81	38
Pure-300 $^{\circ}\text{C}$	3.45	4.49	46
Cu 3%-300 $^{\circ}\text{C}$	19.19	20.92	305
Cu 5%-300 $^{\circ}\text{C}$	5.25	7.43	157
Cu 7%-300 $^{\circ}\text{C}$	1.21	1.55	41

#### (4-2-4) نتائج التحليل الطيفي لتفريق الطاقات للأشعة السينية-EDAX

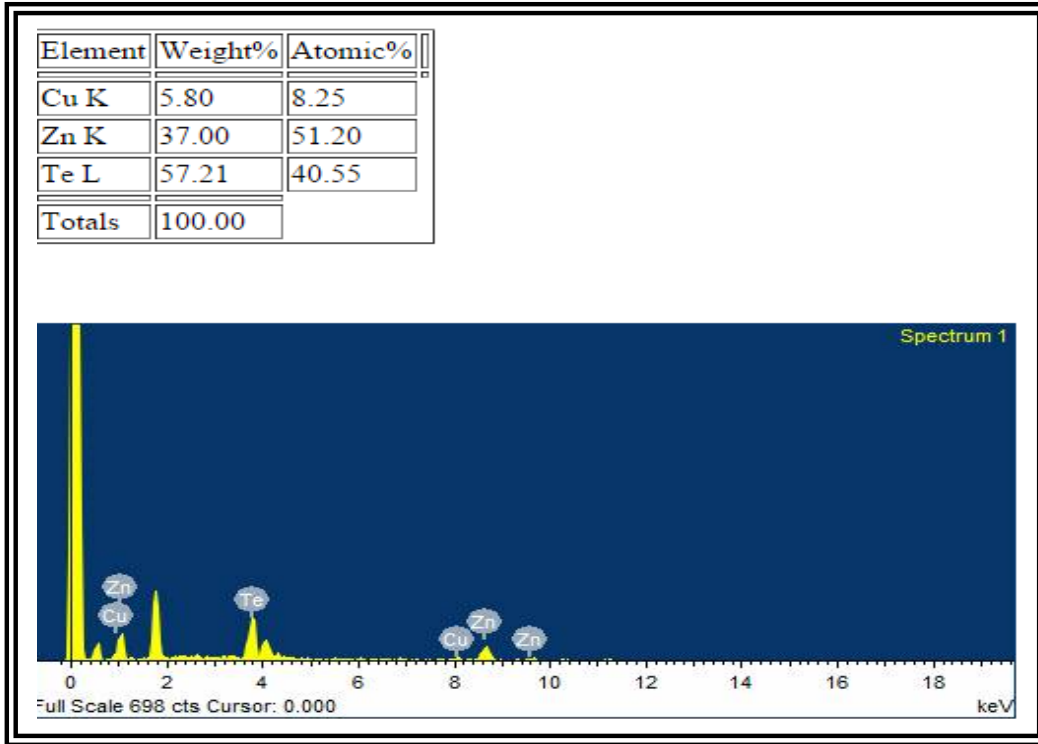
### Results of Energy dispersive analysis of X-rays

استخدمت تقنية فلورة الاشعة السينية (XRF) ومقياس طيف التشتت (EDX) لأجل التأكد من أن نسب الخلط الوزنية والذرية للاغشية المشوبة صحيحة فكانت النتائج المبينة في الأشكال (9-4) و(4-10) و(10) و(11-4) والجدول المرفق مع كل شكل.

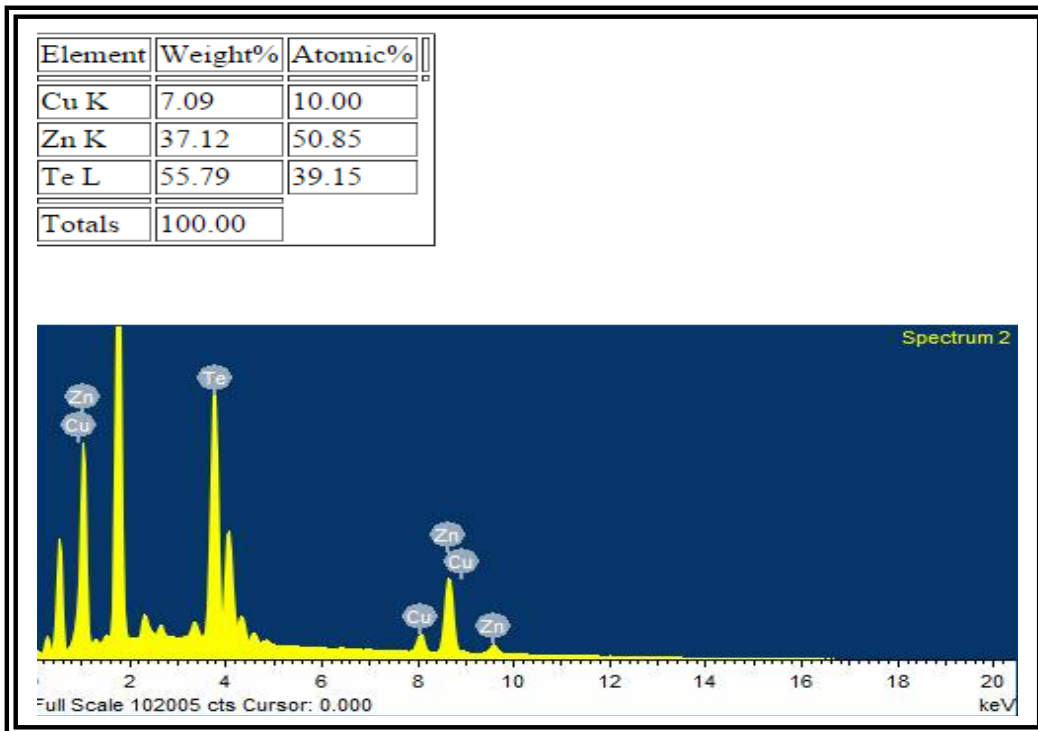


الشكل (9-4) مخطط (EDAX) لاغشية ZnTe المشوبة بالنحاس بنسبة 3%.

نلاحظ من مخططات طيف تفريق الطاقات للأشعة السينية والجدول المرفقة ان نسب التشويب والعناصر المكونة للاغشية ذات نسب صحيحة عدا الاغشية المشوبة بنسبة 3% فقد سجلت قيمة اقل (2.07%) وذلك بسبب بقاء جزء من مادة التشويب في حويض التبخير الامر الذي تم تلافيه بالنسب الاخرى وذلك بزيادة فترة التبخير.



الشكل (10-4) مخطط (EDAX) لاغشية ZnTe المشوبة بالنحاس بنسبة 5%.



الشكل (11-4) مخطط (EDAX) لاغشية ZnTe المشوبة بالنحاس بنسبة 7%.

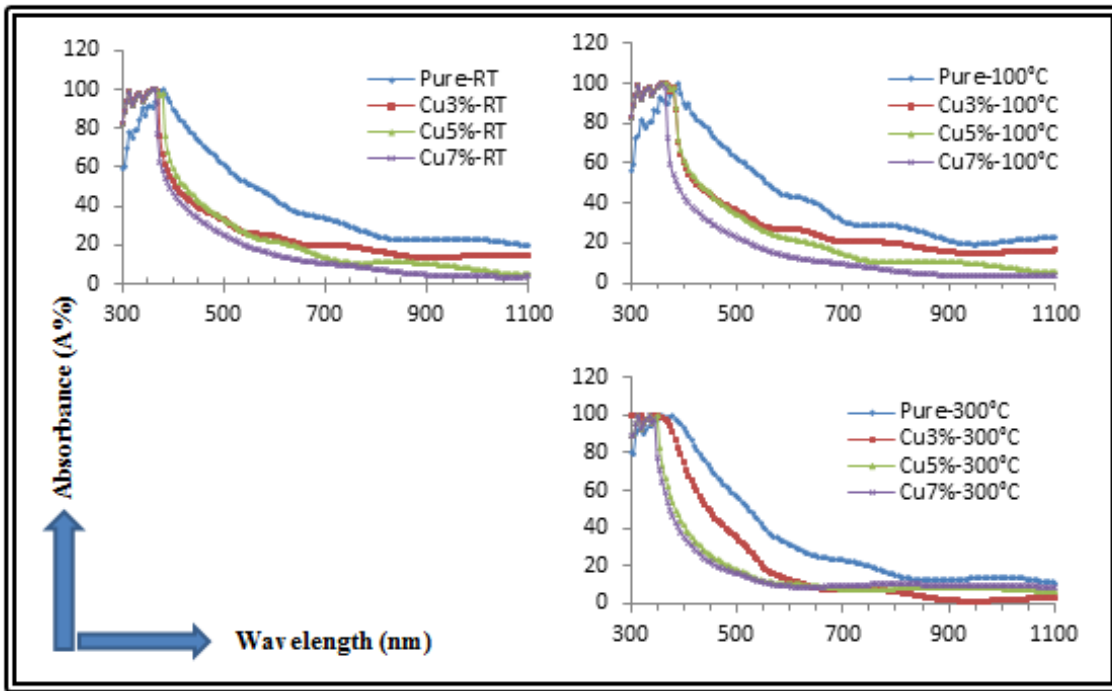
## Optical Properties

## (3-4) الخصائص البصرية:

## (1-3-4) طيف الامتصاصية والنفذية:

## Absorbance and Transmittance Spectrum

من طيف الامتصاصية والنفذية لأغشية (ZnTe) يمكن حساب الثوابت البصرية، لذلك تم قياس طيف الامتصاصية والنفذية كدالة للطول الموجي في المنطقة الطيفية (300-1100) nm عند سمك (400) nm قبل التشويب وبعد التشويب بالنحاس بالنسب (3,5,7)% عند درجة حرارة الغرفة بالإضافة للأغشية الملدنة بدرجة °C (100,300) ولمدة ساعة في فرن مفرغ من الهواء كما موضح في الشكل (12-4) والشكل (13-4).



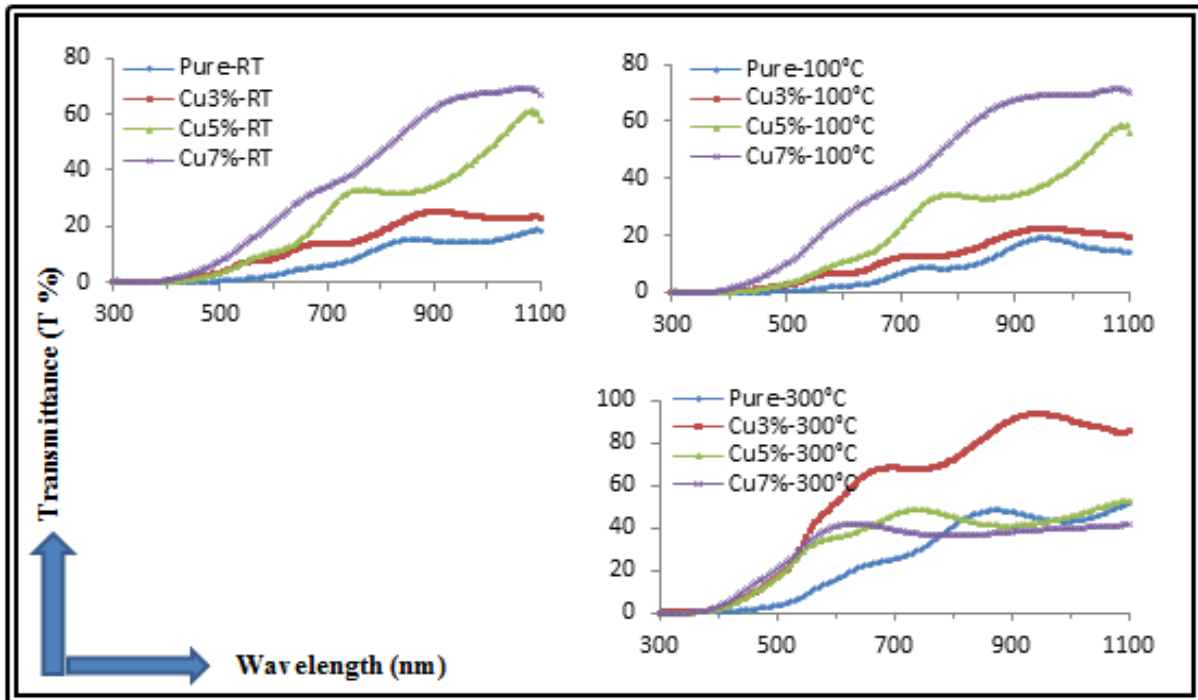
الشكل (12-4) تغير الامتصاصية للأغشية النقية والمشوبة كدالة للطول الموجي عند درجة حرارة الغرفة (R.T) ودرجة حرارة التلدين °C (100,300) .

نلاحظ من الشكل تأثير زيادة التشويب على الأغشية المحضرة عند درجة حرارة الغرفة من خلال الهبوط الحاد بمنحني الامتصاصية في منطقة الامتصاص الاسي نسبة للغشاء النقي الامر الذي يؤثر

## الفصل الرابع الناتج والمناقشة

على زيادة الانتظامية والتجانس عند التحضير وانخفاض العيوب وتحسن الترتيب البلوري كما ورد ذكره عند دراسة الخصائص التركيبية، فضلا عن حدوث ازاحة بطيف الامتصاصية نحو الاطوال الموجية القصيرة اي زيادة فجوة الطاقة والذي سبب تناقص الامتصاصية للارتباط الوثيق بين كثافة الانتقالات الالكترونية المسببة للامتصاص وفجوة الطاقة فكلما زادت فجوة الطاقة تناقصت الكثافة الالكترونية المنقلة من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل وبالتالي تناقصت الامتصاصية، وهذا ينطبق على الاغشية المدنة.

اما بالنسبة للشكل (4-13) الذي يمثل طيف النفاذية فيلاحظ انه لجميع الأغشية النقية والمشوبة هنالك ارتفاع في قيمة النفاذية عند زيادة الطول الموجي بعد (500 nm) تقريبا ويزداد عند المنطقة القريبة من تحت الحمراء (IR) من الطيف الكهرومغناطيسي، وهذا يؤشر الى إمكانية استعمال هذه الأغشية كنافذة في هذه المنطقة من الطيف الكهرومغناطيسي ومن ناحية اخرى تزداد النفاذية للأغشية المشوبة بصورة ملحوظة عن الاغشية النقية وتصل الى اعلى مقدار عند نسبة تشويب 7% باستثناء الاغشية المدنة عند (300°C).



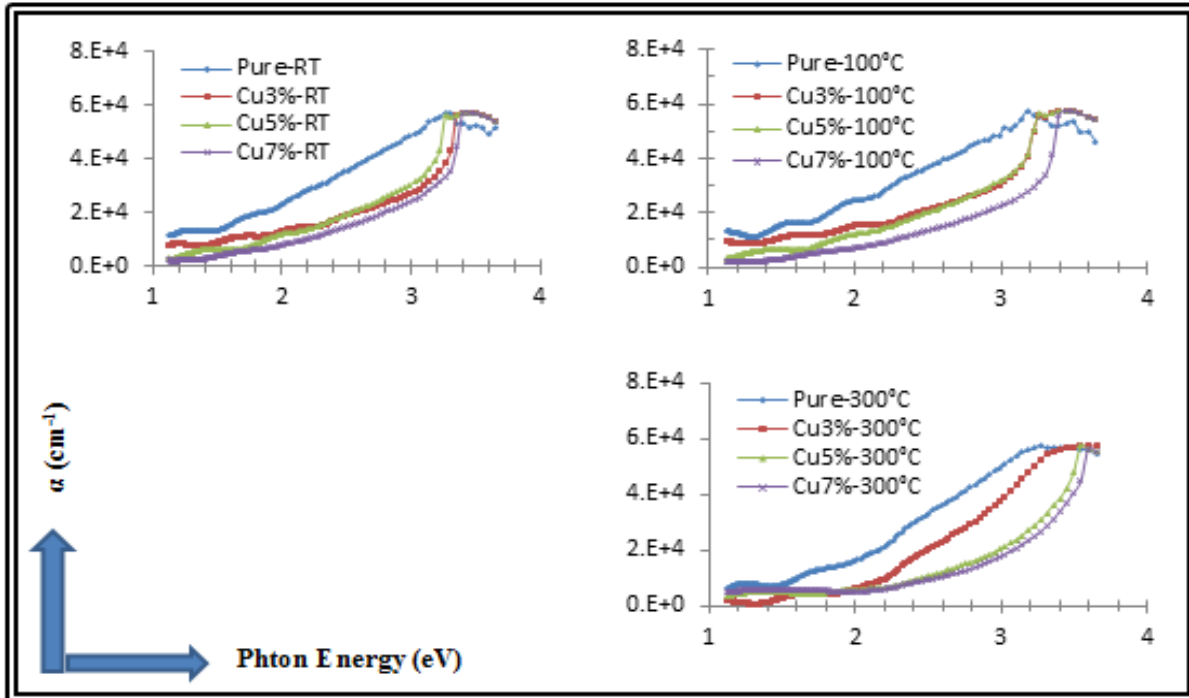
الشكل (4-13) تغير النفاذية للأغشية النقية والمشوبة كدالة للطول الموجي عند درجة حرارة الغرفة (R.T) ودرجة حرارة التلدين (100,300) °C .



**Absorption Coefficient Calculation : حساب معامل الامتصاص (2-3-4)**

يعبر عن قابلية المادة على امتصاص الضوء بمعامل الامتصاص وهو دالة لطاقة الفوتون الساقط ( $h\nu$ ) وفجوة الطاقة ( $E_g$ ) اذ يعتمد معامل الامتصاص ( $\alpha$ ) على طيف الامتصاصية وسمك الغشاء وحسب العلاقة (12-2) لذا نلاحظ من الشكل (14-4) التناظر الواضح بينه وبين طيف الامتصاصية. يستفاد من حساب معامل الامتصاص على تحديد ومعرفة نوع الانتقالات الالكترونية اذ نلاحظ أن جميع الأغشية المحضرة النقية والمشوبة والملدنة وغير الملدنة تمتلك قيم عالية لمعامل الامتصاص ( $10^4 \text{ cm}^{-1}$ ) مما يشير الى حدوث انتقالات إلكترونية مباشرة ولمدى الطاقة من  $3.8 \text{ eV}$  الى  $1.5 \text{ eV}$ . وهذا يتفق مع البحث [18] [26].

كذلك حدوث تناقص حاد بقيمة معامل الامتصاص عند التشويب الامر الذي قد يعزى الى اتخاذ ذرات النحاس الشائبة مواضع استبدالية او تعويضية (substitution) عن ذرات الخارصين في الهيكل البلوري لـ (ZnTe) مما عمل على تقارب مستويات الطاقة بسبب قوة التجاذب للباب نواة الذرات المضافة مسببة زيادة فجوة الطاقة كما سيبين لاحقاً.

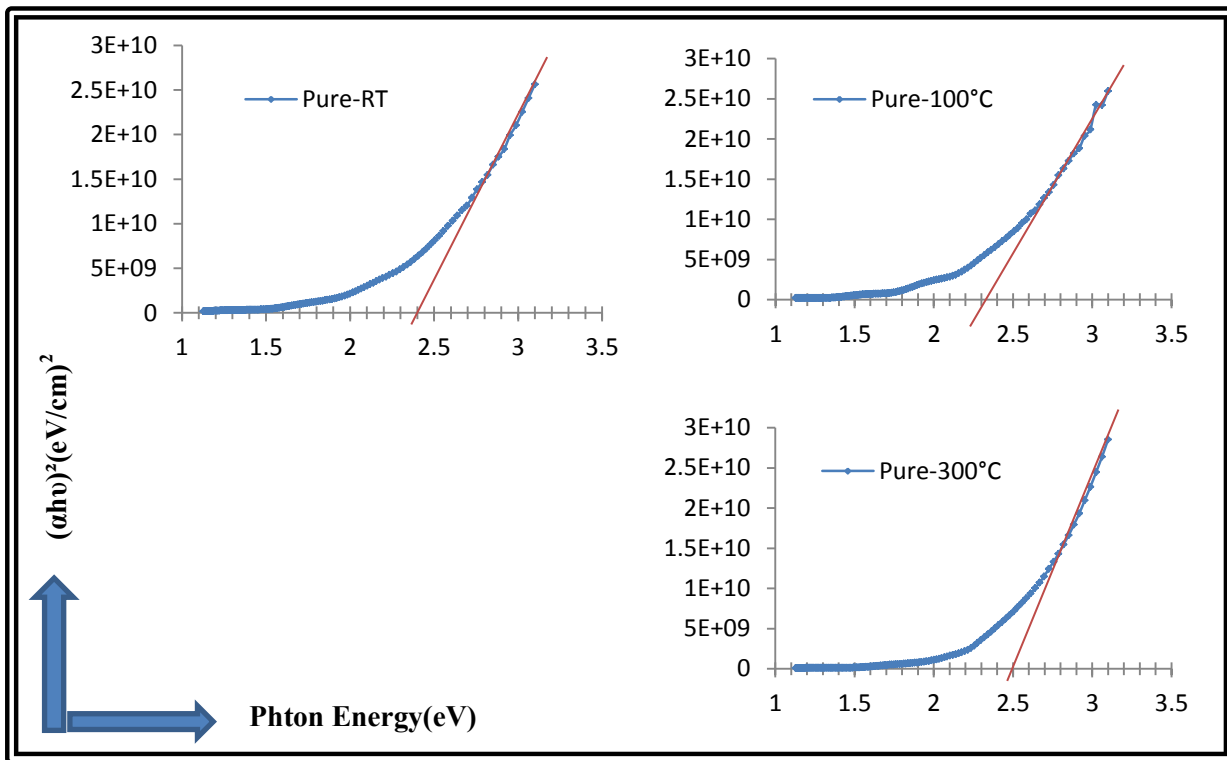


الشكل (14-4) تغير معامل الامتصاصية للأغشية النقية والمشوبة كدالة لطاقة الفوتون عند درجة حرارة الغرفة (R.T) ودرجة حرارة التلدين  $100,300^\circ\text{C}$

## Energy Gap Calculation

## (3-3-4) حساب فجوة الطاقة البصرية

تُرسَم العلاقة بين مربع حاصل ضرب معامل الامتصاص في طاقة الفوتون  $(\alpha h\nu)^2$  وطاقة الفوتونات الساقطة على الغشاء وباخذ المماس للمنحنى وعند  $(\alpha=0)$  يمكن تحديد فجوة الطاقة البصرية وكما يبين الشكل (4-15) هذه العلاقة للاغشية النقية الغير ملدنة والشكل (4-16) للاغشية المشوبة الملدنة وغير الملدنة. فبالنسبة لتأثير التلدين نلاحظ وبصورة عامة تزايد فجوة الطاقة عند المعاملة الحرارية من (2.4eV) للاغشية النقية الغير ملدنة الى (2.5 eV) للاغشية النقية الملدنة بدرجة (300 °C) وللأغشية المشوبة بنسبة (Cu3%) من (2.55eV) الى (2.7eV) عند التلدين بدرجة (300 °C).

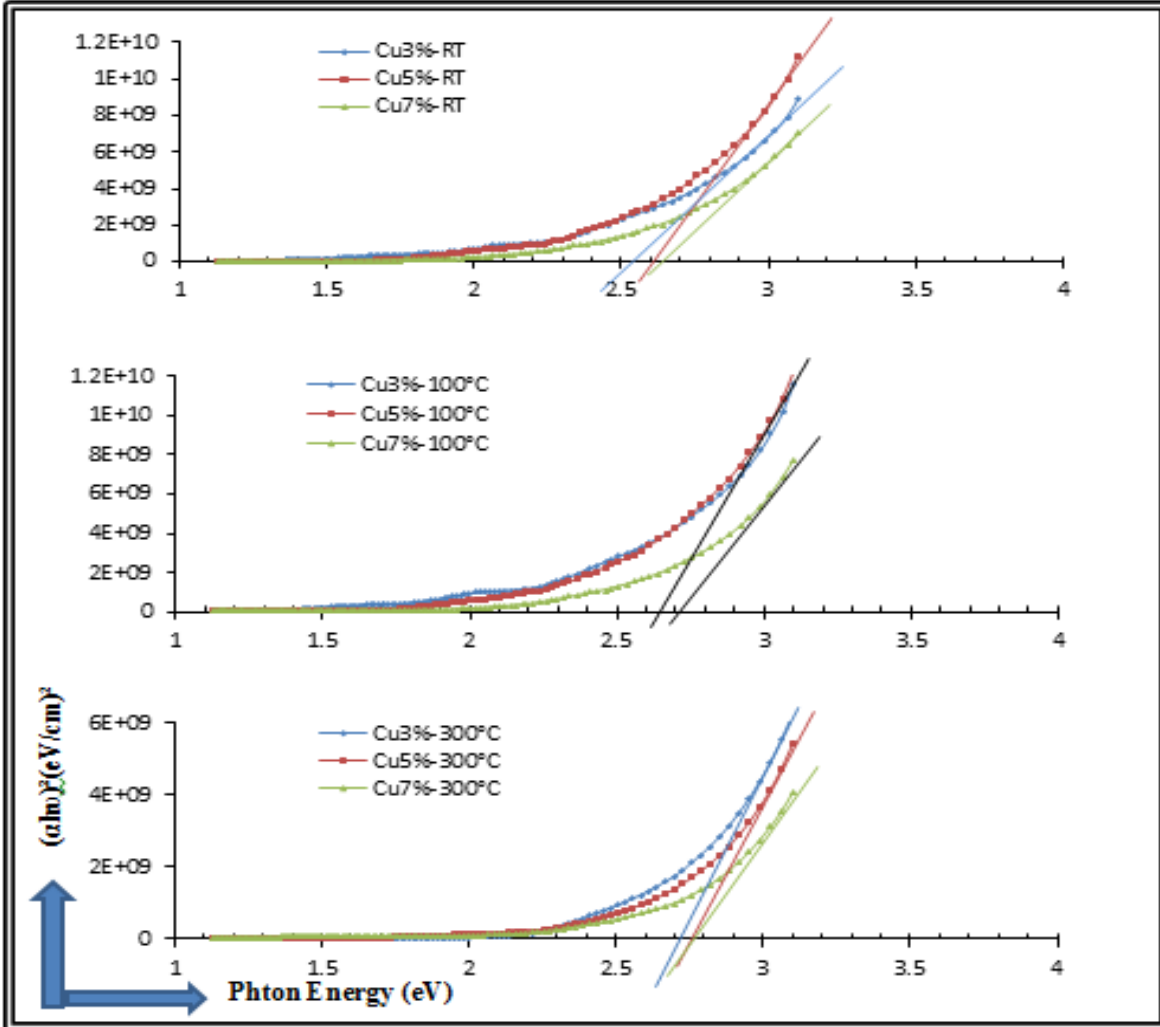


الشكل (4-15) تغير فجوة الطاقة البصرية ( $E_g$ ) لأغشية ZnTe النقية عند درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة التلدين (100,300)°C

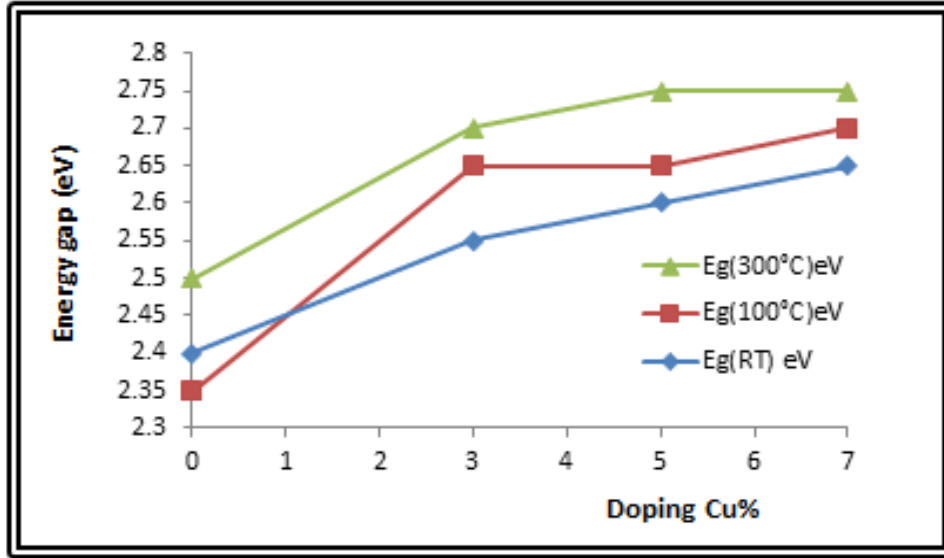
كما موضح بالشكل (4-17) وقد يعزى السبب الى ان التلدين قد حسّن التركيب البلوري وقلل العيوب التركيبية والمتمثلة بازالة المستويات الموضعية مما عمل على زيادة فجوة الطاقة. اما بالنسبة لتأثير التشويب فنلاحظ من الشكل ايضا هنالك زيادة بفجوة الطاقة بزيادة التشويب والسبب قد يكون ان فراغات ذرات الخارصين الموجودة في الاغشية النقية عملت على خلق مستويات قابلة (accepter) لايونات التليوريوم ( $Te^{-2}$ ) قرب حزمة التكافؤ (لذا تصنف مادة تليرايد الخارصين من النوع الموجب ذاتيا) فاضافة ذرات النحاس عمل على ازالة هذه المستويات بالتدرج وكما موضح بفحوصات الـXRD

## الفصل الرابع النتائج والمناقشة

مما أدى الى زيادة فجوة الطاقة او اعتقد ان ذرات المادة الشائبة وبسبب كهروسالبيتها الاكثر من الخارصين بحدود (1.9) و(1.65) على التوالي تعمل على جذب اكبر لالكتروناتها التكافؤية فتزداد فجوة الطاقة.



الشكل (4-16) تغير فجوة الطاقة البصرية ( $E_g$ ) لأغشية ZnTe:Cu المشوبة بالنسب (3,5,7) % عند درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة التلدين  $(100,300)^\circ\text{C}$ .



الشكل (4-17) تأثير التشويب والتلدين على فجوة الطاقة البصرية للاغشية المحضرة.

## Electrical Measurement

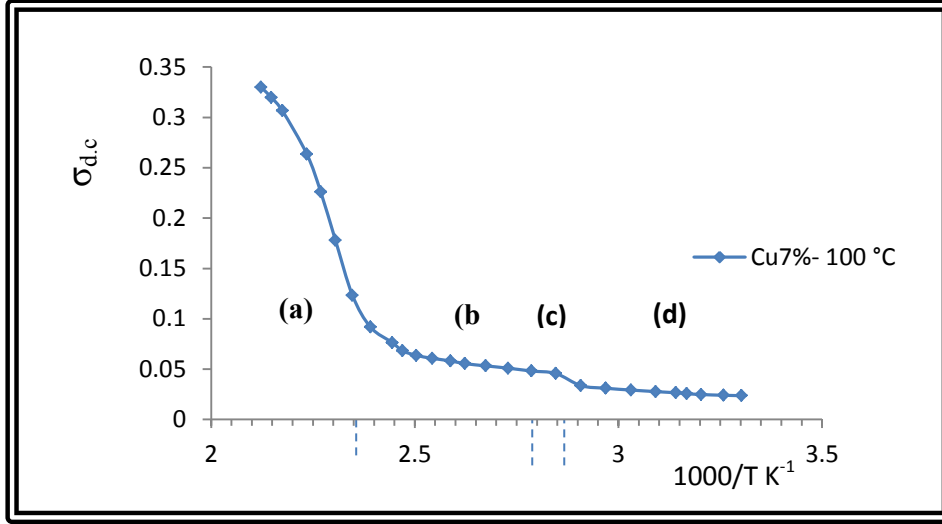
## (4-4) القياسات الكهربائية:

### (1-4-4) التوصيلية الكهربائية المستمرة وطاقات التنشيط:

### D.C Electrical Conductivity and Activation Energies:

قبل تحديد طاقات التنشيط للاغشية المحضرة ومعرفة طبيعة ميكانيكية التوصيل يجب التعرف اولاً على مناطق التوصيلية الكهربائية. يوضح الشكل (4-18) التوصيلية الكهربائية المستمرة كدالة لمقلوب درجة الحرارة ( $10^3/T$ ) للغشاء المشوب بالنحاس بنسبة 7% والملدن بدرجة  $100^\circ\text{C}$  نلاحظ من الشكل انه عند درجات الحرارة العالية (منطقة (a)) وللمدى  $(145-200)^\circ\text{C}$  يمتلك الغشاء توصيلية كهربائية ذاتية (intrinsic conductivity) بسبب ان تركيز الحاملات الاغلبية (الذاتية) تنهيج حرارياً وتعبر فجوة الطاقة ( $E_g$ ) التي تفصل حزمي التكافؤ والتوصيل ولما كانت طاقة التنشيط كبيرة وتساوي ( $E_g/2$ ) وهي بحدود (1.3 eV) لاغشية ZnTe:Cu لذلك فان اغلب الفجوات الذاتية تنخفض بشدة عند تناقص درجة الحرارة (اي تقل التوصيلية بشدة عند زيادة  $10^3/T$ ) بمعنى اخر ان تناقص درجة الحرارة عند حد ما يصبح تركيز الفجوات الذاتية اقل من مساهمة تركيز حاملات الشوائب (Cu) لذا وكما سنلاحظ لاحقاً ان طاقة التنشيط في هذه المنطقة كانت لها اكبر مقدار، وتدعى منطقة (a) بمنطقة التوصيل الذاتي (intrinsic region). بعد هذه المنطقة وللمدى  $(28-145)^\circ\text{C}$  تعتمد التوصيلية كلياً على نوع وتركيز

الشوائب المضافة لذا تدعى بمنطقة التوصيل الغير ذاتي (extrinsic region) وتقسم الى ثلاث مناطق [86](b,c,d)

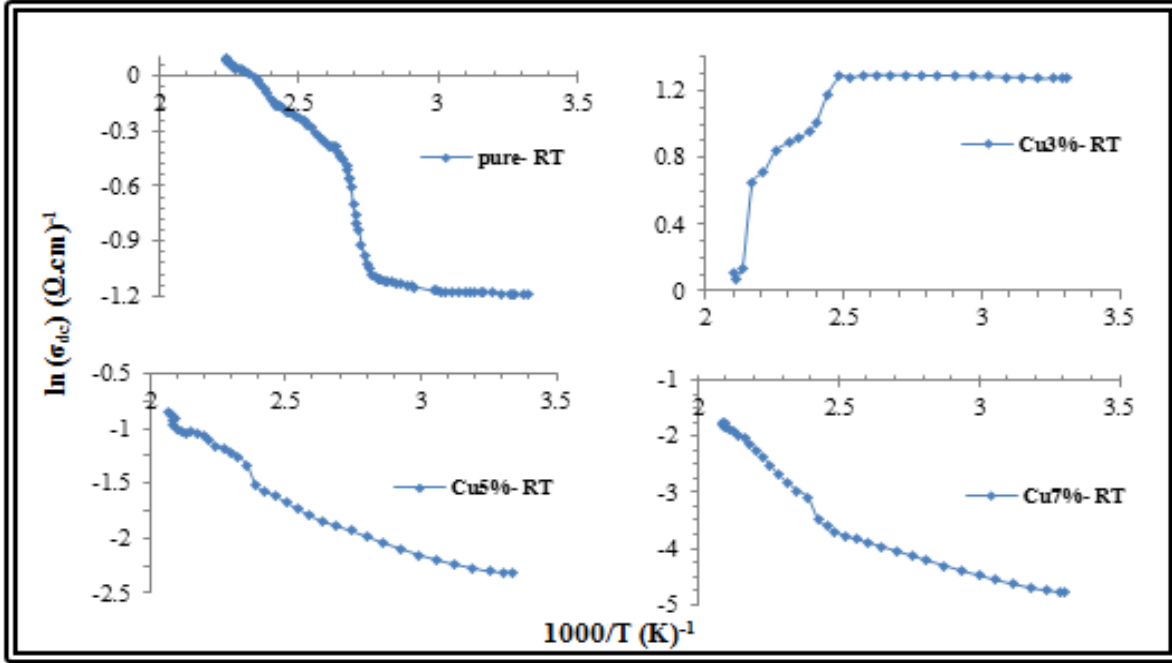


الشكل (18-4) التوصيلية الكهربائية كدالة لمقلوب درجة الحرارة

تمتد المنطقة (b) من مدى درجات الحرارة °C (80 - 145) وفيها تكون التوصيلية تقريبا ثابتة ولا تعتمد على درجة الحرارة وتكون الشوائب كلها متاينة وتدعى بمدى التشبع (saturation range) وعند انخفاض درجة الحرارة للمدى °C (70-80) اي المنطقة (c) تبدء فجوات المستويات المانحة الشائبة بالتجمد تدريجيا وهذه المنطقة تكون واضحة في الاغشية الاخرى كما سيبين لاحقا عند حساب طاقات التنشيط ، في هذه المنطقة وما بعدها تكون الية التوصيل تعتمد مباشرة على التنشط بين مستويات التشويب المانحة دون الانتقال الى حزمة التكافؤ.

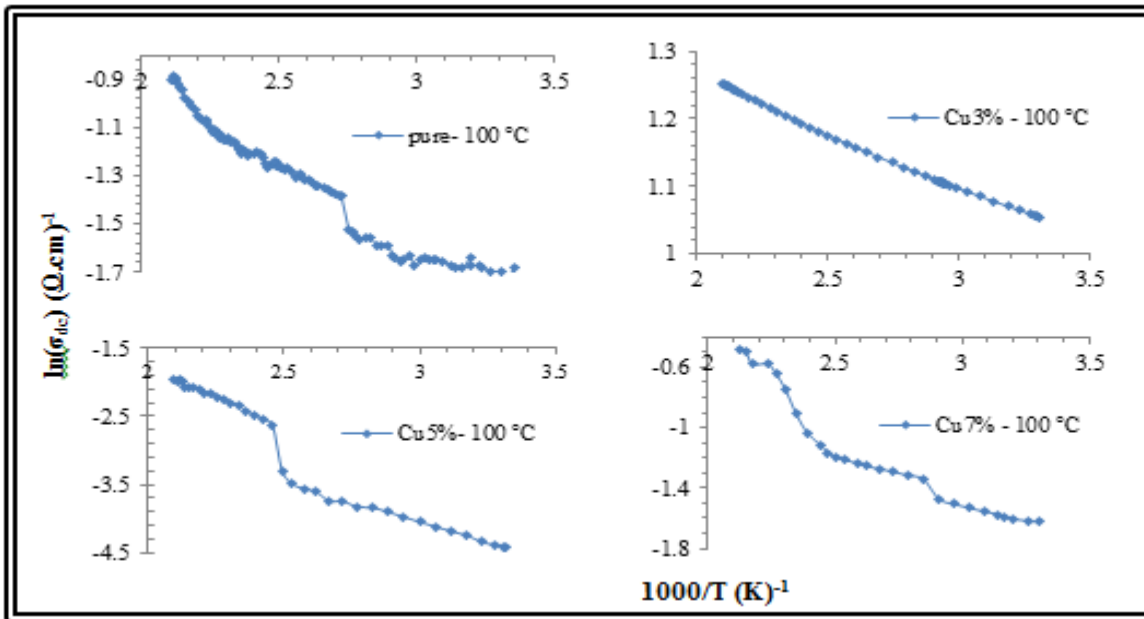
تم حساب طاقتي التنشيط وذلك برسم العلاقة بين  $\ln(\sigma_{d.c})$  كدالة ( $10^3/T$ ) للأغشية المحضرة (ZnTe) عند سمك (400 nm) لدرجة حرارة (R.T) ودرجة حرارة التلدين °C (100,300) ولنسب تشويب بالنحاس % (3,5,7) كما في الاشكال (19-4) الى (21-4) ضمن المدى الحراري °C (28-200) وبالاتماد على العلاقة (19-2) تم الحصول على قيمتين لطاقة التنشيط لمعظم للأغشية المحضرة  $E_a$  التي تمثل الفرق بين طاقة حزمة التكافؤ ( $E_v$ ) وطاقة مستوى فيرمي ( $E_F$ ) أي أن ( $E_a = E_F - E_v$ ) [29]. وكما مبين في الجدول (4-4). نلاحظ من الشكل (19-4) وبالتحديد عند التشويب 3% ان سلوك التوصيلية تختلف تماما عن باقي النسب اذ عند الدرجات الحرارية العالية تنخفض التوصيلية اي يسلك الغشاء سلوك الموصل وقد يعزى السبب الى تغير ظرف التحضير لهذه النسبة اذ تم اكمال التشويب على مرحلتين اثناء تبخير المادة وبعد التبخير لذا كانت قيمة  $E_{a1}$  بحدود 6 meV اي مستوى تشويب ضحلا

لمستوى التكافؤ اما عند التلدين بدرجة  $^{\circ}C (100,300)$  كما في الشكل (4-20) و(2-21) اذ حدث انتشار للمادة الشائبة لذا تحسنت التوصيلية عند المديات الحرارية العالية.

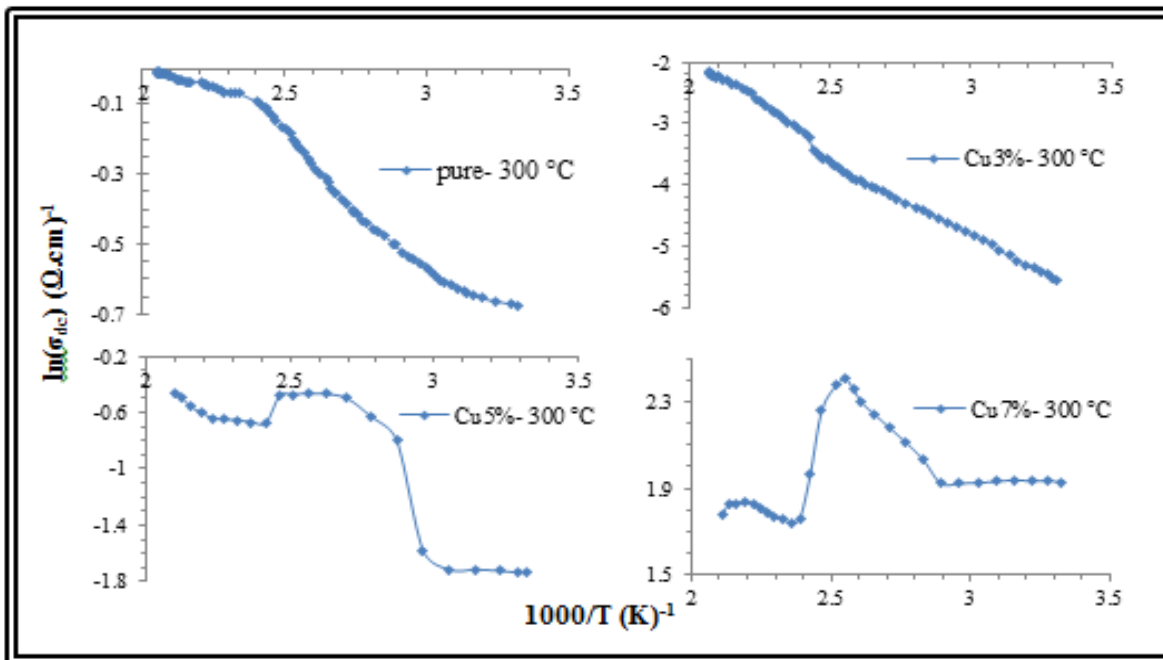


الشكل (4-19) تغير  $(\ln\sigma)$  كدالة لـ  $(1000/T)$  للاغشية النقية والمشوبة بالنسب % (3,5,7) عند درجة حرارة (R.T)

ايضا نلاحظ من الجدول في ادناه ان قيم طاقة التنشيط عند الدرجات الحرارية المتوسطة عند حدود  $200\text{meV}$  وهي مقاربة لطاقة التاين للنحاس  $150\text{meV}$  اي ان اغلب الشوائب تتاين عند درجة حرارة الغرفة او اعلى منها. اما الاغشية المشوبة بنسبة  $7\%$  والملدنة عند  $100^{\circ}C$  فقد اظهر مستوى تشويب عميق في فجوة الطاقة اذ كانت طاقة التنشيط بحدود  $519\text{meV}$ .



الشكل (20-4) تغير  $\ln(\sigma)$  كدالة لـ  $(1000/T)$  للاغشية النقية والمشوبة بالنسب % (3,5,7) والمعدنة  $100^\circ\text{C}$



الشكل (21-4) تغير  $\ln(\sigma)$  كدالة لـ  $(1000/T)$  للاغشية النقية والمشوبة بالنسب % (3,5,7) والمعدنة  $300^\circ\text{C}$

الجدول (4-4) طاقات التنشيط للاغشية ZnTe المحضرة

Cu %	T (°C)	Temp. range (°C)	Ea <sub>1</sub> (eV)	Temp. range (°C)	Ea <sub>2</sub> (eV)
0	RT	(28-85)	0.029	(103-175)	0.253
3	RT	(29-110)	0.006	-	-
5	RT	(27-133)	0.157	(162-202)	0.218
7	RT	(27-134)	0.119	(152-204)	0.211
0	100	(25-85)	0.044	(94-180)	0.120
3	100	(29-200)	0.030	-	-
5	100	(28-109)	0.097	(140-204)	0.149
7	100	(30-71)	0.078	(132-175)	0.519
0	300	(28-136)	0.136	(140-213)	0.045
3	300	(29-129)	0.202	(150-209)	0.252
5	300	(28-45)	0.027	(141-191)	0.077
7	300	-	-	-	-

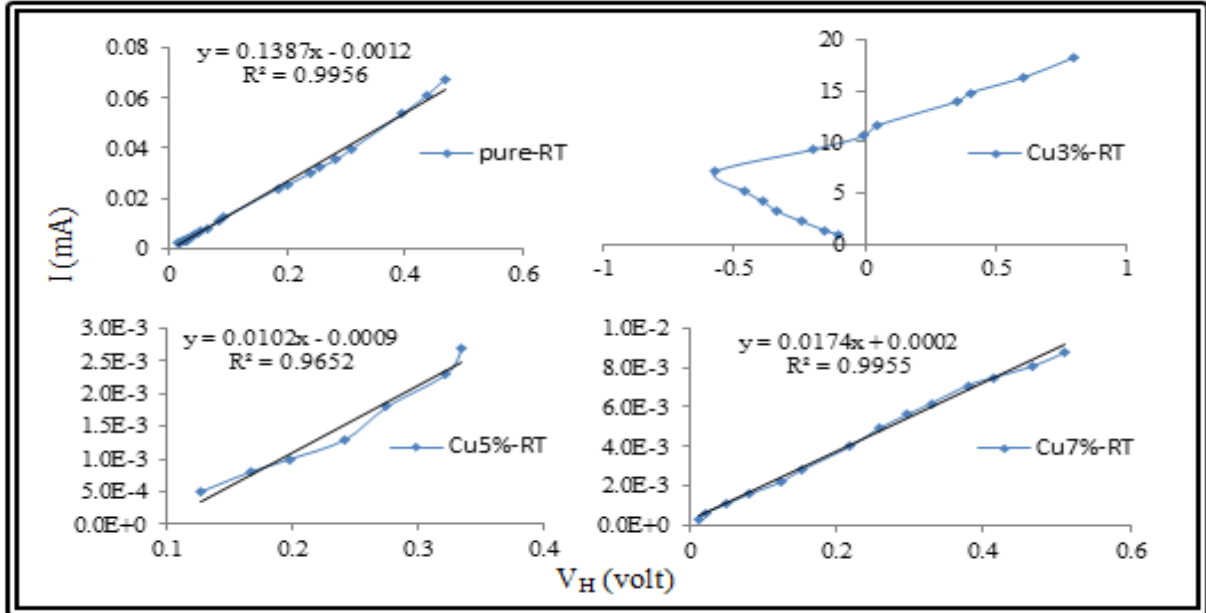
#### (2-4-4) تأثير هول

#### Hall Effect

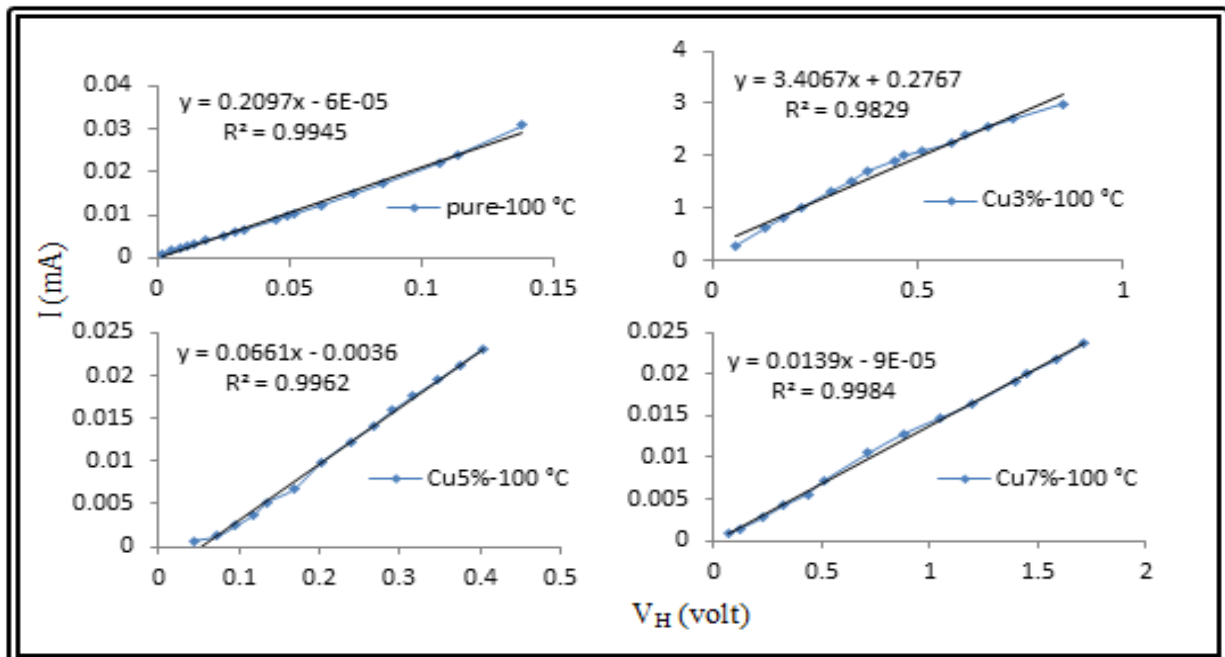
توضح الاشكال (22-4) و (23-4) و (24-4) المبينة في ادناه العلاقة الخطية بين فولتية هول ( $V_H$ ) الناتجة بتاثير المجال المغناطيسي المسلط على الاغشية المحضرة والتيار (I) المار بالغشاء تحت الفحص نتيجة لتسليط فرق جهد خارجي للمدى Volt (0-30) تقريبا . اذ نلاحظ لجميع الاغشية النقية والمشوبة والملدنة وغير الملدنة ان هنالك تناسباً طردياً بين فولتية هول والتيار المار وهذا يؤشر ان حاملات الشحنة الاغلبية من النوع الموجب (p-type) وهذا يتفق مع جميع البحوث المنشورة التي تناولت هذه المادة [17, 22, 26] عدا الاغشية المشوبة بنسبة 3% وغير ملدنة (الشكل (22-4)) اذ ابدت سلوك مغاير فعند الفولتية من (0-15) فولت سجلت تناسبا عكسيا اي ان نوع الشحنة سالبة (n-type) اما بعد هذه الفولتية وحتى (30) فولت اصبح حامل الشحنة من النوع الموجب وقد يرجع السبب الى عدم الانتشار



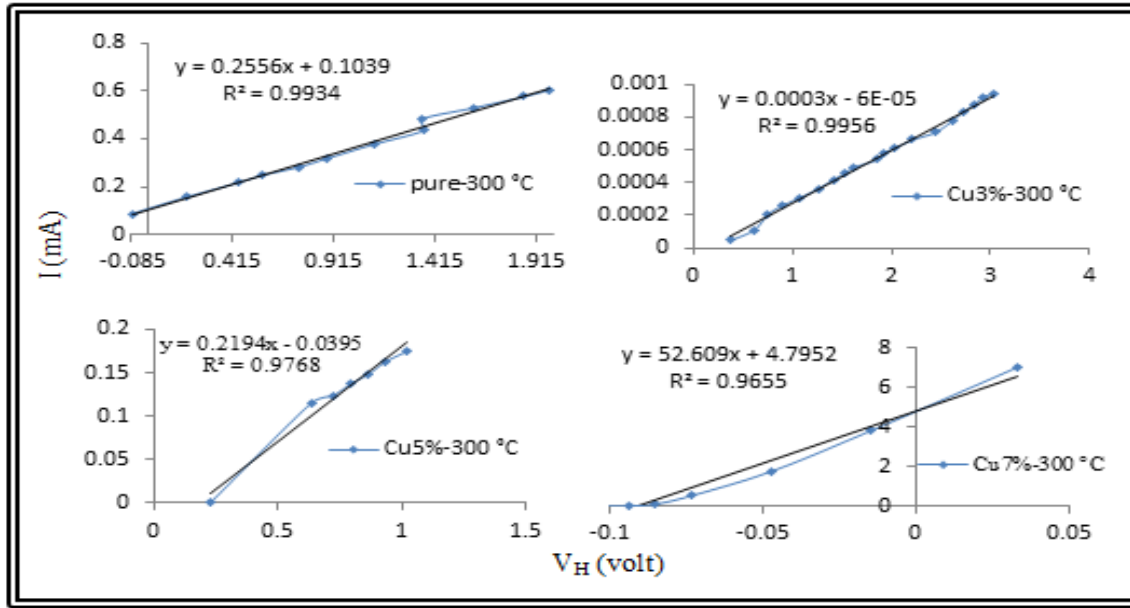
التام للشائبة المضافة نتيجة اختلاف الية التحضير لهذه الاغشية وكما موضح عند دراسة التوصيلية، اذ اظهرت تأثير هول سلوك الموصل للشائبة المضافة وبزيادة المجال الكهربائي المسلط ظهر تاثير الفجوات للغشاء شبة الموصل وان التلدين لهذه الاغشية عمل على انتشار ذرات النحاس في التركيب البلوري وازالة تاثير طبقة الغشاء الموصل لمعدن النحاس.



الشكل (22-4) علاقة فولتية هول والتيار المار بالاغشية النقية والمشوبة بالنحاس والمحضرة بدرجة حرارة الغرفة RT



الشكل (23-4) علاقة فولتية هول والتيار المار بالاغشية النقية والمشوبة بالنحاس والمعدنة بدرجة حرارة 100 °C



الشكل (24-4) علاقة فولتية هول والتيار المار بالاغشية النقية والمشوبة بالنحاس والملدنة بدرجة حرارة  $300\text{ }^\circ\text{C}$

الجدول (5-4) نتائج تأثير هول للنماذج المحضرة.

samp.	$\sigma$ ( $\Omega.m$ ) <sup>-1</sup>	$\mu_H$ ( $m^2/V.s$ )	$R_H$ ( $m^3C^{-1}$ )	$N_A$ ( $m^{-3}$ )
pure-RT	8.021	0.463	0.058	1.1E+20
Cu3%-RT	1994.7	1.902	0.001	6.6E+21
	1705.4	1.157	-0.001	-9.2E+21
Cu5%-RT	0.678	0.532	0.784	8.0E+18
Cu7%-RT	1.021	0.469	0.460	1.4E+19
pure-100 C	22.13	0.844	0.038	1.6E+20
Cu3%-100 C	1278.7	2.248	0.002	3.6E+21
Cu5%-100 C	1.590	0.192	0.121	5.2E+19
Cu7%-100 C	2.203	1.268	0.576	1.1E+19
pure-300 C	33.98	1.064	0.031	2.0E+20
Cu3%-300 C	2.949	72.05	24.435	2.6E+17
Cu5%-300 C	1.700	0.062	0.036	1.7E+20
Cu7%-300 C	278.4	0.042	0.0002	4.1E+22

ولحساب معامل هول ( $R_H$ ) تم اخذ المماس للقيم المرسومة بالاستعانة ببرنامج الاكسل ومن خلال المعادلة المثبتة على كل رسم قمنا بحساب الميل بين فولتية هول ( $V_H$ ) والتيار العشاء ( $I$ ) ويساوي (مقلوب مقدار الميل بالمعادلة مضروبا بـ 1000) وبالاستعانة بالعلاقة (2-22) تم حساب معامل هول والمثبت بالجدول (4-5) ومنه تم حساب كلا من تحركية الحاملات ( $\mu_H$ ) وتركيز القابلات ( $N_A$ ) وحسب العلاقة (2-21) والعلاقة (2-20) على التوالي.

نلاحظ من الجدول (4-5) ان تركيز القابلات للاغشية النقية تزداد بزيادة درجة الحرارة التلدين وقد يعزى ذلك الى ان التلدين يعمل على تقليل الاجهادات والعيوب البلورية وبالتالي زيادة التبلور الامر الذي يؤدي الى زيادة التوصيلية وان زيادة الحجم البلوري من خلال زيادة شدة التبلور يعمل على تناقص الحدود الحبيبية التي تعمل كمراكز تشتت وبالتالي زيادة سرعة الحاملات وهذا ما يتطابق مع الفحوصات التركيبية. وبصورة عامة ان اضافة النحاس كشائبة يعمل على تناقص تركيز الحاملات الذاتية (للاغشية النقية) بسبب اتخاذ الشائبة مواضع تعويضية في التركيب الشبكي لـ ( $ZnTe$ ) كما هو موضح عند مناقشة فحوصات الـ (XRD).

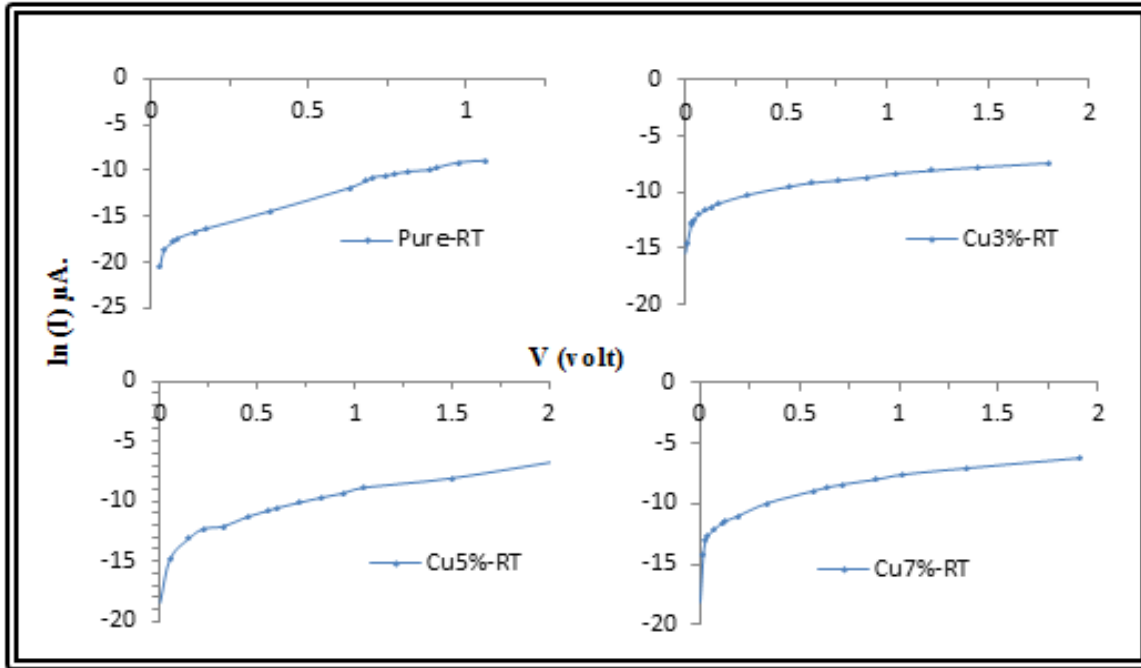
#### (4-5) خصائص المفرك الهجين:

### Characteristics of Heterojunction

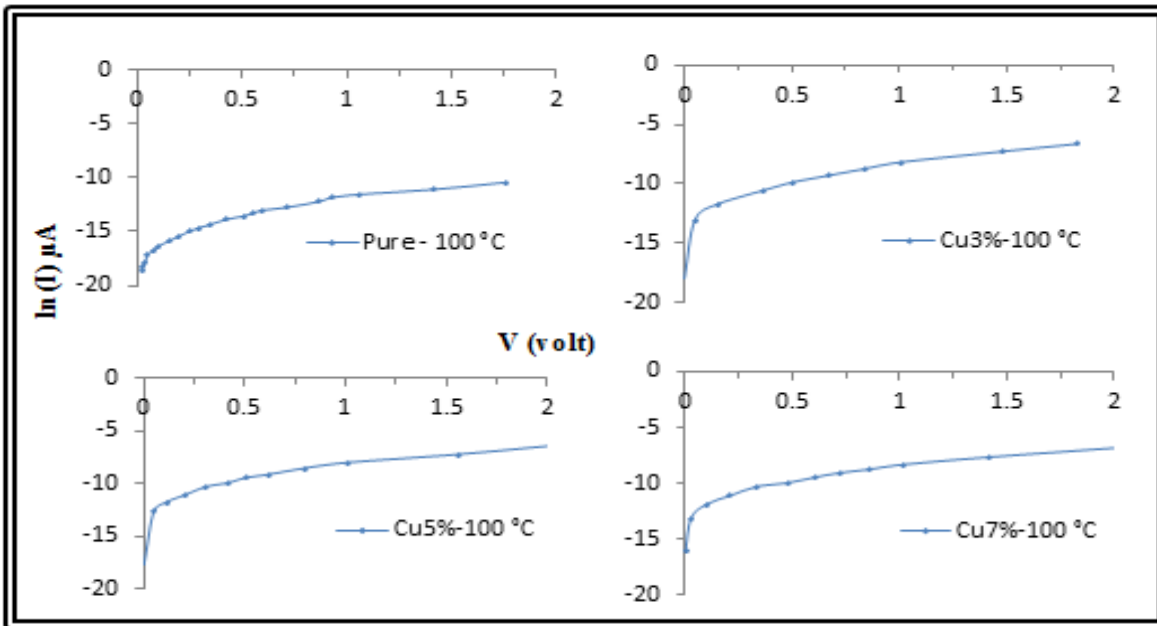
#### (4-5-1) عامل المثالية والتيار الاشباع:

#### Ideal Factor and Saturation Current

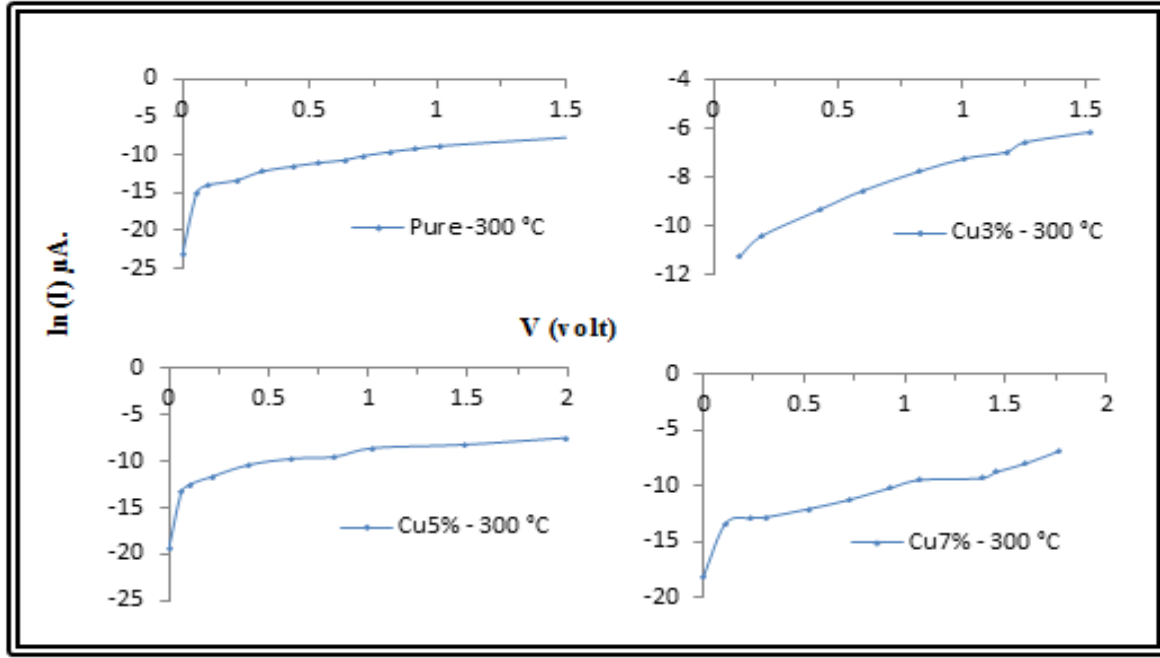
تم حساب كل من عامل المثالية ( $\beta$ ) والتيار الإشباع ( $I_s$ ) للمفرك الهجين (p-ZnTe/n-Si) استنادا للمعادلتين (2-35) و(2-36)، وذلك برسم العلاقة بين اللوغارتم الطبيعي للتيار الامامي ( $\ln(I)$ ) على المحور الصادي والفولتية ( $V$ ) على المحور السيني في حالة الظلام كما موضح في الأشكال (4-25) الى (4-27) اذ حسب ميل الخط المستقيم في جميع الاشكال السابقة عند المدى ( $V < 0.4 Volts$ ) الخاص بمنطقة التغير الأسي بين الفولتية والتيار وقد أظهرت النتائج أن عامل المثالية يأخذ قيمة كبيرة ( $\beta > 1$ ) مما يؤكد وجود أكثر من ميكانيكية توصيل واحدة لنقل التيار وكما أكدته نتائج التوصيلية الكهربائية المستمرة.



الشكل (4-25) تغير قيم اللوغارتم الطبيعي لتيار الظلام الامامي كدالة لفولتية المفرق النقي والمشوب بالنحاس والمحضر عند درجة حرارة الغرفة.



الشكل (4-26) تغير قيم اللوغارتم الطبيعي لتيار الظلام الامامي كدالة لفولتية المفرق النقي والمشوب بالنحاس والمعدن عند 100 °C.



الشكل (4-27) تغير قيم اللوغارتم الطبيعي لتيار الظلام الامامي كدالة لفولتية المفروق النقي والمشوب بالنحاس والملدن عند  $300\text{ }^\circ\text{C}$

إذ يهيمن تيار إعادة الإتحاد عند قيم  $(\beta > 2)$  وهذا يعني أن كل إلكترونات المتهيجة تنتقل من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل سوف تعود وتتحد مرة أخرى مع فجوات موجودة في حزمة التكافؤ. الجدول (4-6) يبين نتائج عامل المثالية وكثافة تيار الأشباع للمفروق الهجين المحضرة ولجميع قيم التشويب للاغشية المدنة وغير المدنة، وكانت القيم لعامل المثالية تتراوح بين (1.97 و 3.18)، وعامل المثالية هو مقياس لمدى قرب المفروق لاتباع معادلة الدايدود المثالي  $(\beta=1)$  وهو أيضا يشير إلى معدلات إعادة الإتحاد التي تحدث عند السطح البيني وكذلك لوجود العيوب البينية (Interfacial States) الناشئة من عدم التماثل الشبكي  $(\Delta)$  لثابت الشبكة لمادتي المفروق الهجين، ويبين أيضا مقدار العيوب الموجودة في الدايدود التي تعتمد على طرق التحضير والمواد شبه الموصلة المكونة للدايدود، بينما قيم كثافة تيار الأشباع تتراوح بين  $(1\mu\text{A})$  و  $(5\text{nA})$  وهي تتناسب طرديا مع عدد حاملات الشحنة الاقلية الموجودة في المفروق.

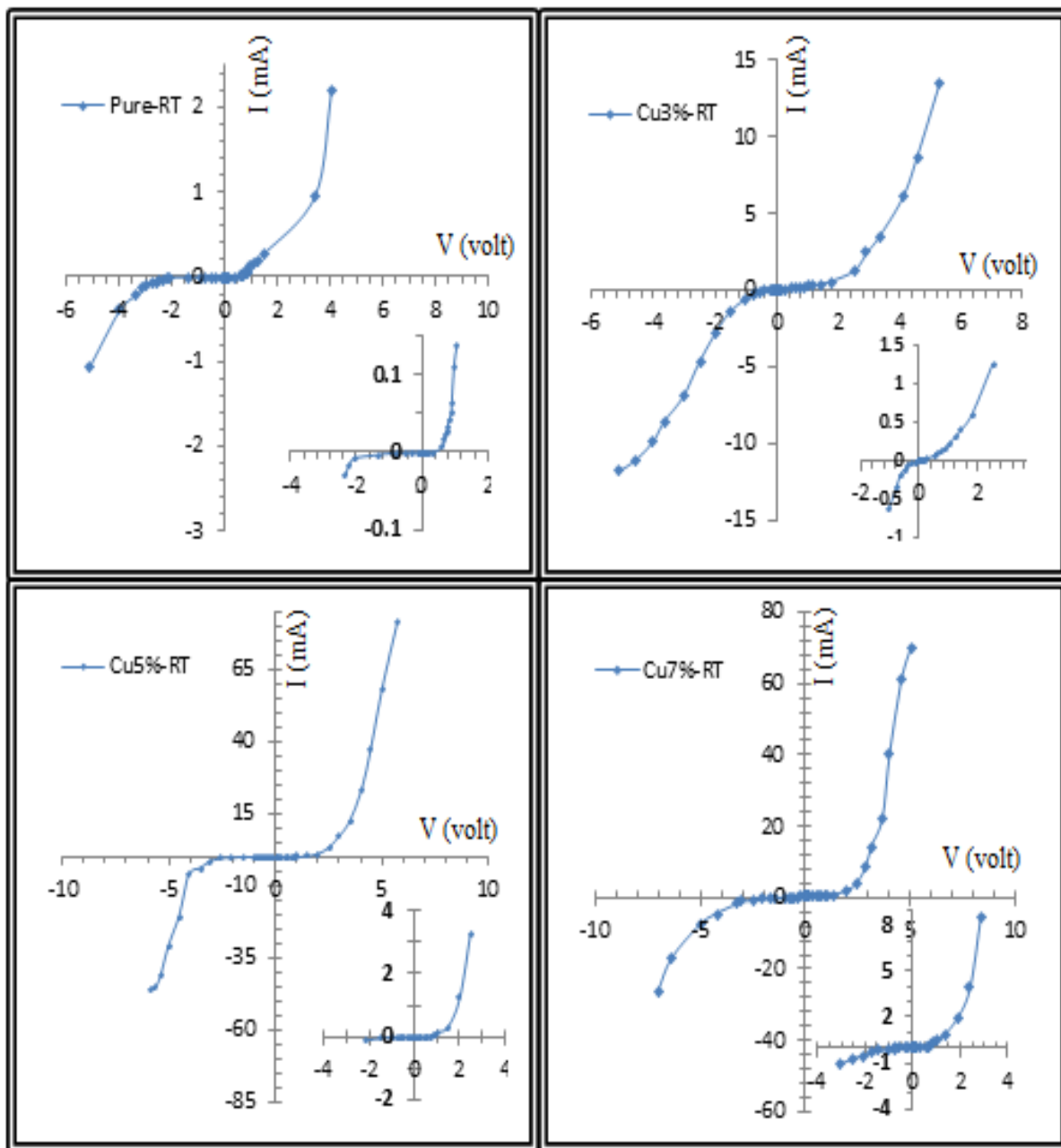
جدول (6-4) قيم عامل المثالية و تيار التشبع للمفروق (ZnTe/Si) مع تغير نسب التطعيم ودرجة حرارة التلدين .

doping	annealing	B	$I_s(10^{-8})$ A
Pure	RT	2.722	0.5
Cu 3%		2.712	100
Cu 5%		2.172	5
Cu 7%		2.351	60
Pure	100 °C	3.189	1
Cu 3%		2.393	20
Cu 5%		2.335	30
Cu 7%		2.726	50
Pure	300 °C	1.987	1
Cu 3%		2.306	20
Cu 5%		2.24	10
Cu 7%		2.461	5

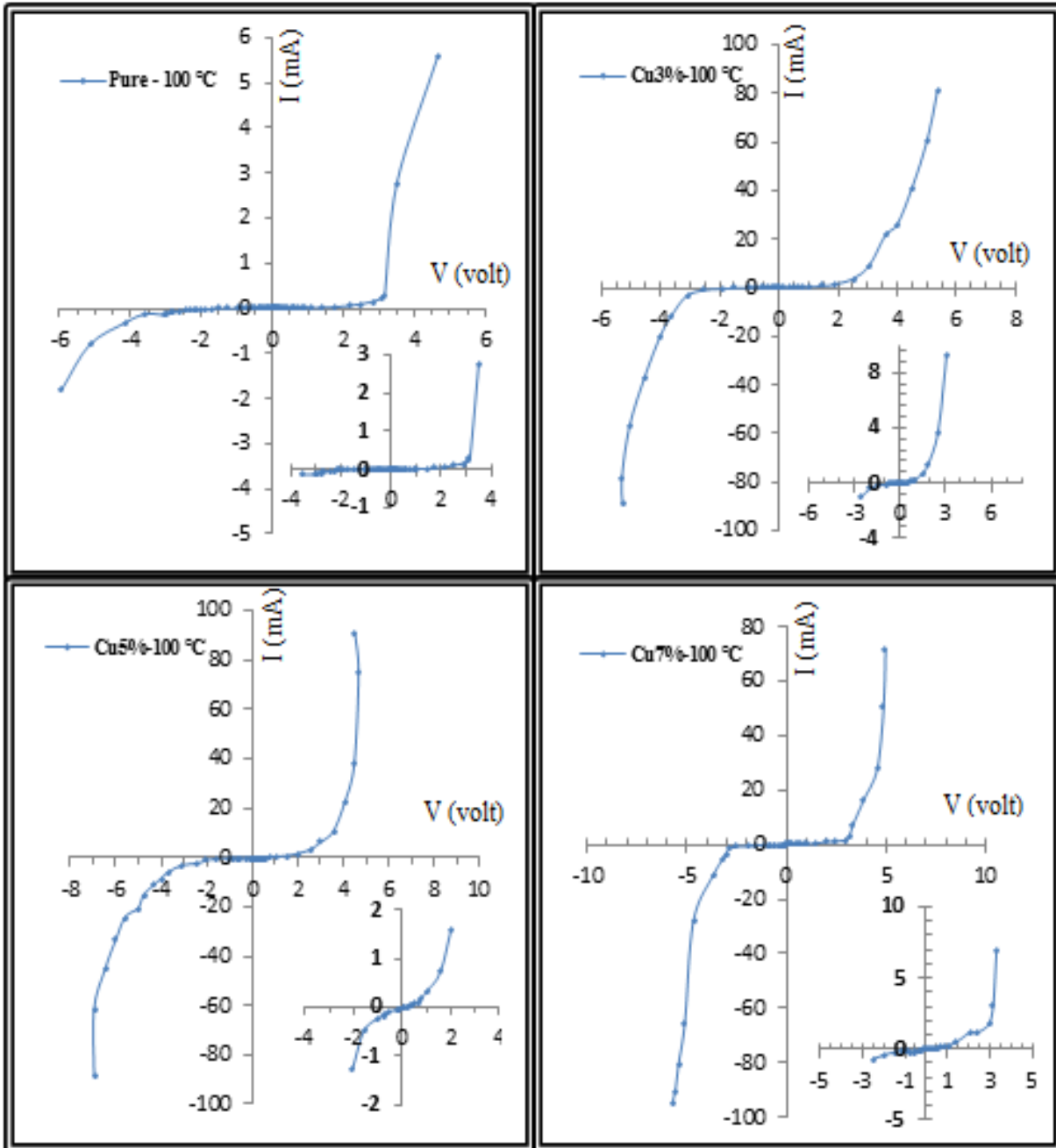
#### (2-5-4) خصائص (تيار-جهد) للمفروق الهجين في حالة الظلام:

#### (I-V) Characteristics of Heterojunction in the Dark Condition:

تُعد دراسة خصائص (تيار - جهد) من الخصائص الكهربائية الهامة في وصف الأداء للمفروق الهجين، وايضا في توضيح سلوك التيار مع الفولتية المجهزة للمفروق في حالة الإنحياز العكسي والأمامي [2]. وتوضح الاشكال (28-4) و (29-4) و (30-4) تغير تيار الظلام المُقاس كدالة لفولتية الإنحياز الأمامي والعكسي للمفارق الهجينة (p-ZnTe:Cu/n-Si) المُصنَّعة وتأثير كلا من إختلاف نسب التطعيم ودرجة حرارة التلدين على تيار الظلام في الإنحيازين.

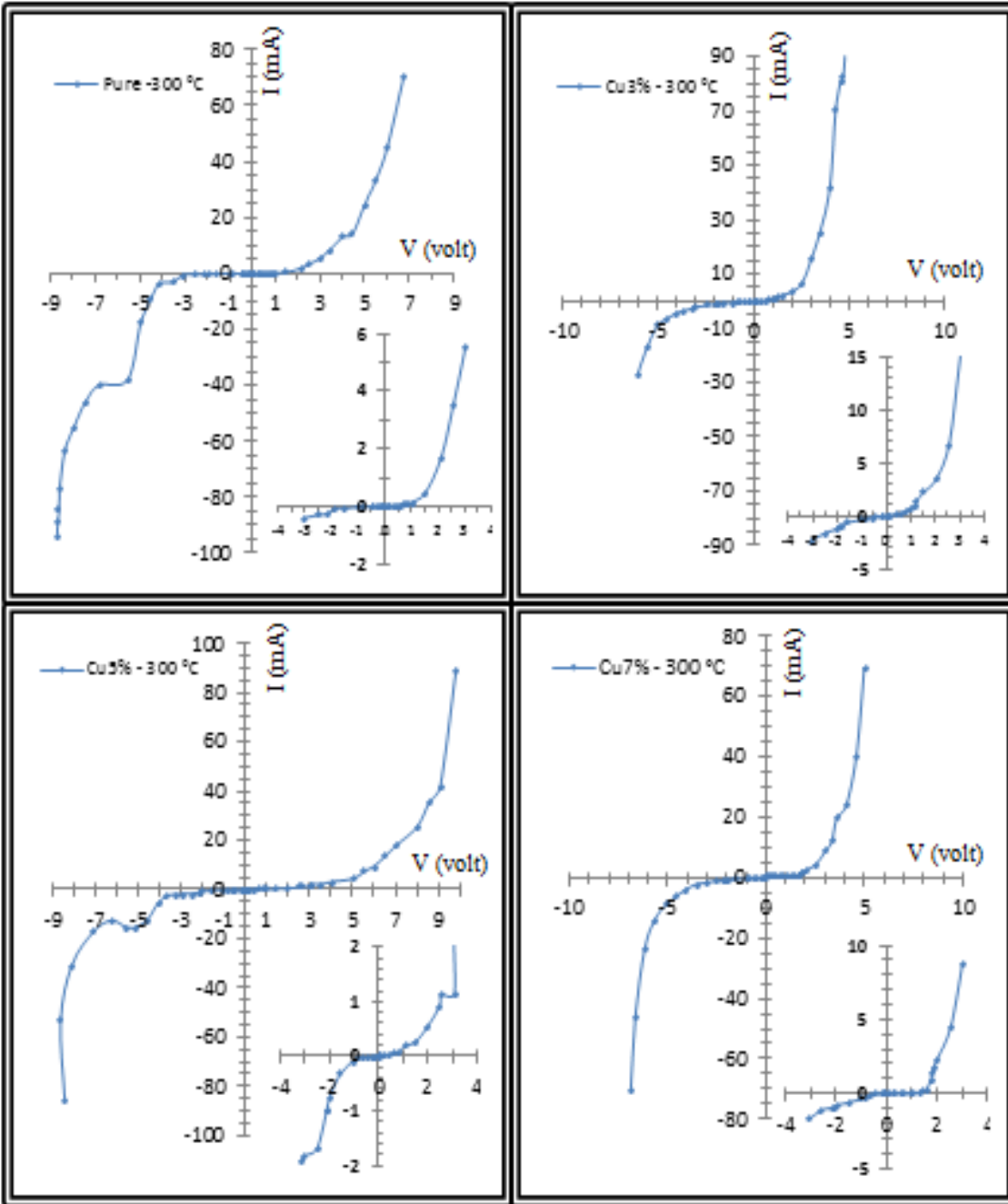


الشكل (28-4) خصائص I-V في حالة الظلام لمفرق هجين (ZnTe/Si) ولنسب تشويب مختلفة عند درجة حرارة الغرفة.



الشكل (29-4) خصائص I-V في حالة الظلام لمفروق هجين (ZnTe/Si) ولنسب تشويب مختلفة والملدن عند 100 °C.





الشكل (30-4) خصائص I-V في حالة الظلام لمفروق هجين (ZnTe/Si) ولنسب تشويب مختلفة والمعدل عند 300 °C.

نلاحظ من الاشكال السابقة تاثير التلدين على زيادة التيار الامامي والعكسي للمفارق الهجينة النقية وبشكل ملحوظ من (2 mA) قبل التلدين الى (15 mA) عند (4 volt) تقريبا للمفارق الهجين النقي والملدن عند (300 °C)، بالاضافة الى تاثير نسب التطعيم على قيمة التيار للمفارق المشوبة عن نظيراتها النقية بثبوت درجة الحرارة . كذلك نلاحظ ان جميع المفارق المحضرة لها سلوك متشابه عند الانحياز العكسي اذ يسلك التيار سلوك شبه خطي عند الفولتيات الواطئة تقريبا (وهي المنطقة التي يخضع الثنائي المصنع الى قانون اوم) ويزداد بصورة تدريجية مع جهد الانحياز العكسي حتى يصل الى زيادة حادة بالتيار ويعطي فولتية انهيار (Break down) عند الجهد يتراوح بين (5 Volts) الى (7 volt) تقريبا. الامر الذي ممكن عنده تصنيف المفارق المصنعة وحسب سلوك التيار ومقدار الفولتية التي يحدث بها الانهيار الى ثنائي مقوم (rectifier diode) وثنائي زينر (Zener diode) فاذا كانت فولتية الانهيار العكسي ( $V_R$ ) اكبر من فولتية الانحياز الامامي ( $V_F$ ) فان الثنائي يصلح كمقوم اما اذا كانت فولتية انهيار زينر ( $V_Z$ ) اقل من فولتية الانهيار العكسي ( $V_R$ ) فان الثنائي يعمل كمنظم زينر وكما سيثبت في الجدول (4-7) في الفقرة اللاحقة. اما في حالة الانحياز الامامي يلاحظ زيادة التيار المار في المفارق بشكل اسي مع زيادة جهد الانحياز الامامي المسلط إذ يعمل الجهد المسلط على حقن حاملات الاغلبية مما ينتج عنه انخفاض في قيمة جهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) وتتناقص عرض منطقة النضوب ( $W$ )، ويكون تركيز الحاملات الاغلبية والاقلية أكبر من تركيز الحاملات الذاتية أي إن ( $p_n > n_i^2$ ) لذا ينشأ تيار يحاول إعادة التوازن يسمى بتيار إعادة الاتحاد. ويحدث هذا التيار في منطقة الفولتيات الواطئة (اقل من 0.4 فولت) الذي ينتج عنه تيار قليل مع تغير الفولتية عن طريق تغير عرض منطقة النضوب وعند زيادة التيار بنحو متسارع مع زيادة الجهد الامامي يتغلب تيار الانجراف او تيار الانتشار ويكون في منطقة الفولتيات العالية (اكبر من 0.4 فولت). إذ إن زيادة المجال الكهربائي المسلط على المفارق يعمل على زيادة سرعة انجراف الحاملات، ويقلل من اصطياها، وبالتالي يكون سلوك التيار خطياً تقريباً مع فولتية الانحياز.

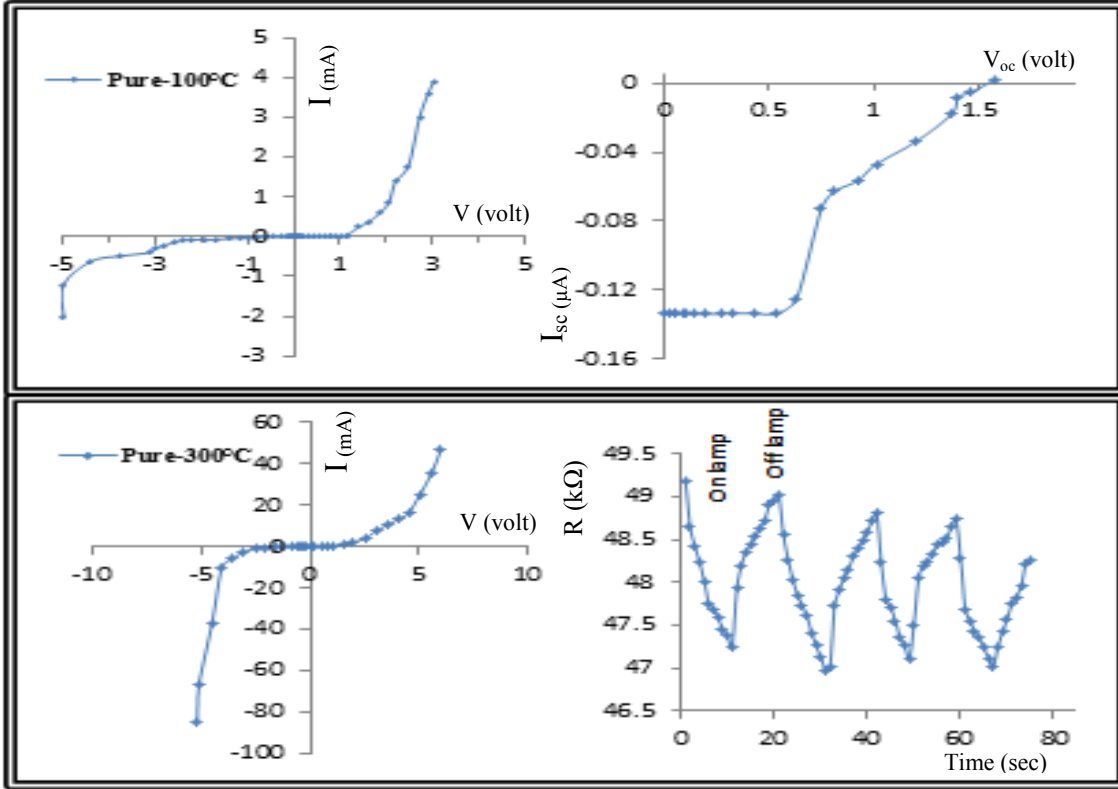
كذلك في حالة الانحياز العكسي فيظهر تيار الانحياز العكسي منطقتين الأولى منطقة الفولتيات القليلة والمتغلب فيها تيار التولد اذ يزداد عرض منطقة النضوب ويقل تركيز الحاملات عن حالة التوازن اذ ينشأ

تيار التولد لحصول التوازن والنتاج من حاملات الاقلية ، أما المنطقة الثانية فهي منطقة الفولتيات العالية والمتغلب فيها تيار الانتشار. ان حدوث التوصيلية العالية في هذه المنطقة رغم ارتفاع الجهد الحاجز للمفرق لا يفسر الا حسب الية الاختراق.

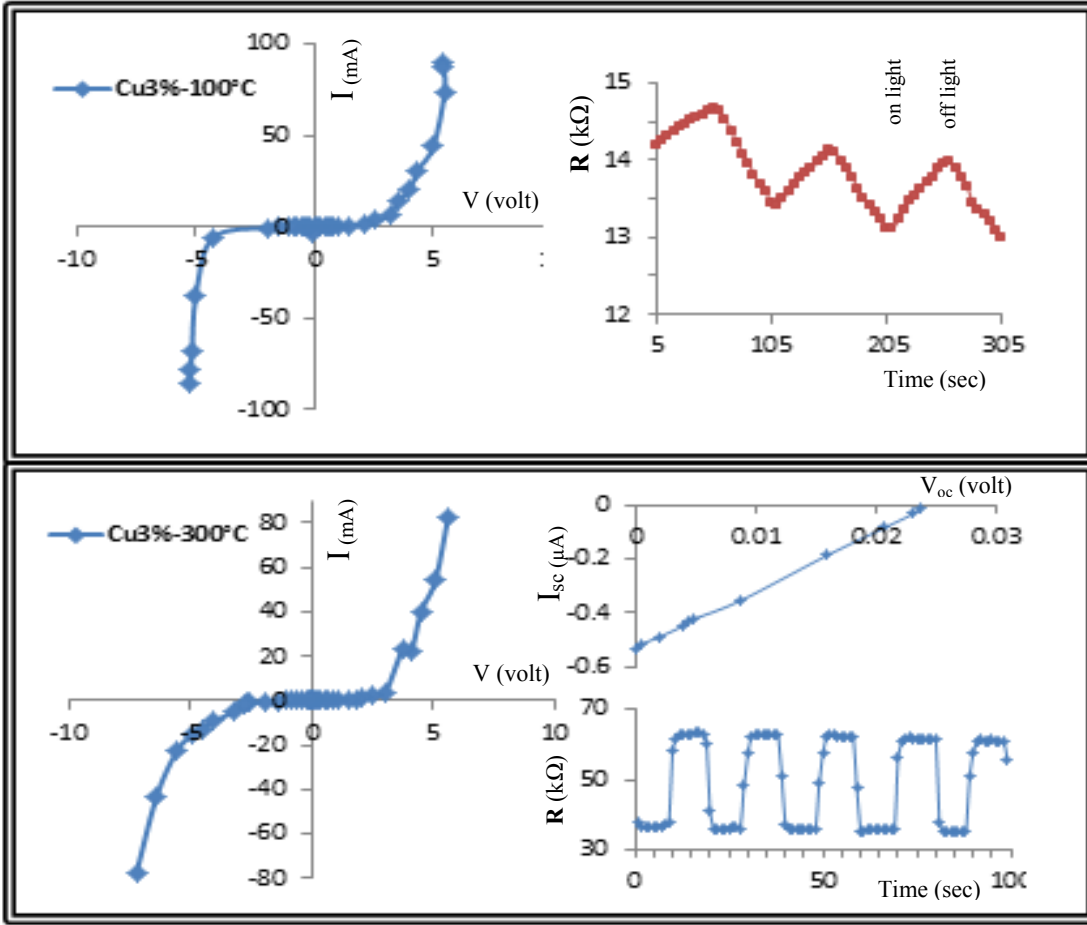
#### (3-5-4) خصائص (تيار-جهد) للمفرق الهجين في حالة الاضاءة: (I-V) Characteristics of Heterojunction in the illumination:

أستكمالاً لوصف أداء المفرق الهجين والتعرف الى التطبيقات العملية له تستخدم عادةً خواص (تيار-جهد) في حالة الاضاءة لتحديد قابلية المفرق على توليد تيار الاضاءة ومدى تأثره بشدات الاضاءة المختلفة. فقد تم تعريف المفرق المحضرة الى شدات مختلفة لضوء الهالوجين  $25$  و  $125$  و  $200$   $mW/cm^2$  وبالانحياز الامامي والعكسي فلم نلاحظ تغيير ملحوظ في قيمة التيار الضوئي المتولد عند الفولتيات العالية (اكبر من  $2$  volt) مقارنة مع تيار الظلام اما عند القيم الاقل من  $2$  volt فقد سجلت زيادة التيار الضوئي المتولد مع شدة الإضاءة  $200$   $mW/cm^2$  بالمقارنة مع باقي الشدات، لذا تم اعتماد الشدة الاعلى عند اضاءة المفرق المحضرة. يوضح الشكل (4-31) و(4-32) خواص الـ(I-V) تحت الاضاءة للاغشية النقية والمشوبة بنسبة (3% Cu) والملدنة بدرجة  $100,300$  °C اذ يمثل الجزء الذي على اليسار منحنى المفرق المضاء عند الانحياز الامامي والعكسي والذي على اليمين منحنى الـ ( $I_{sc}-V_{oc}$ ) ومنحنى الاستجابة بين مقاومة المفرق وزمن تعرض المفرق للاضاءة والظلام (بدون انحياز). اذ نلاحظ عدم وجود المفرق الغير ملدن النقي والمشوب لعدم وجود تحسس ضوئي لهذه المفرق بسبب ضعف التيار الضوئي المتولد ( $I_{ph}$ ) وبالتالي عدم تغير مقاومة المفرق مع زمن التعرض للاضاءة وقد يعزى ذلك الى ان ازواج (الكترن-فجوة) المتولدة قرب منطقة الاستنزاف نتيجة شدة الضوء الساقط ولزيادة جهد البناء الداخلي للمفرق المحضرة الامر الذي لا تستطيع به ازواج (الكترن-فجوة) عبور المفرق ونشوء تيار الاضاءة وبالتالي الى تغير مقاومة المفرق بين الاضاءة والظلام، وان تحسن ظروف التحضير من تلدين (زيادة التلدين) وتشويب عمل على تحسن اداء المفرق المحضرة، من خلال تناقص زمن الاستجابة من  $1981.8$  ms الى  $213.6$  ms للمفرق المحضر عند ظروف (3% at Cu

اذ تم حساب زمن الاستجابة (t-res) للكاشف او المتحسس الضوئي (photo sensor) المحضر باعتماد زمن النهوض (t-rise) من ( 10% الى 90%) للقيمة العظمى لاشارة المقاومة الخارجة من المتحسس وكما موضحة في الجدول (4- 8).

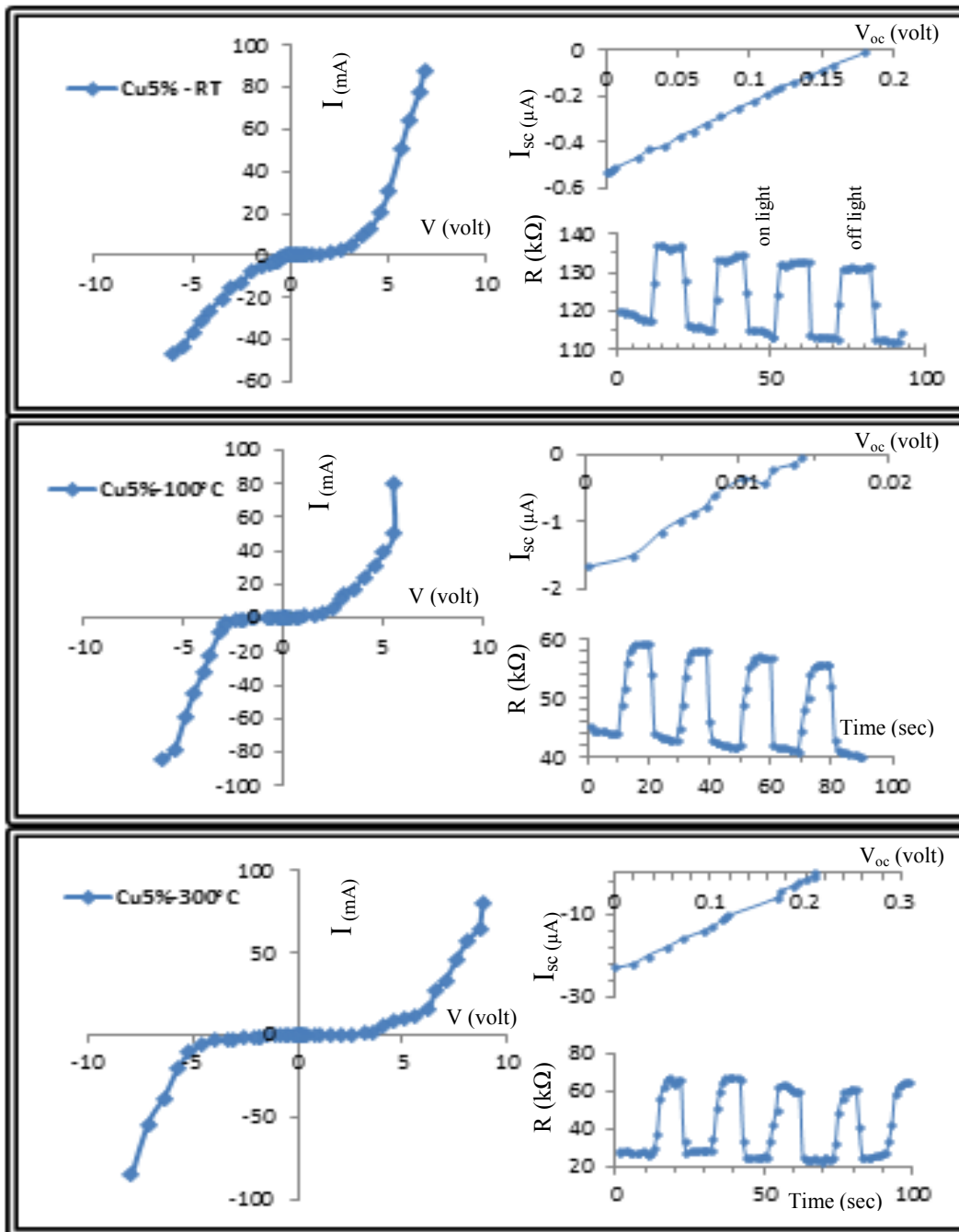


الشكل (4-31) خواص المفرق الهجين تحت الاضاءة بشدة ضوء (200 mW/cm<sup>2</sup>) بوجود وعدم وجود الانحياز ولاغشية ZnTe النقية والممدنة عند (100,300)°C

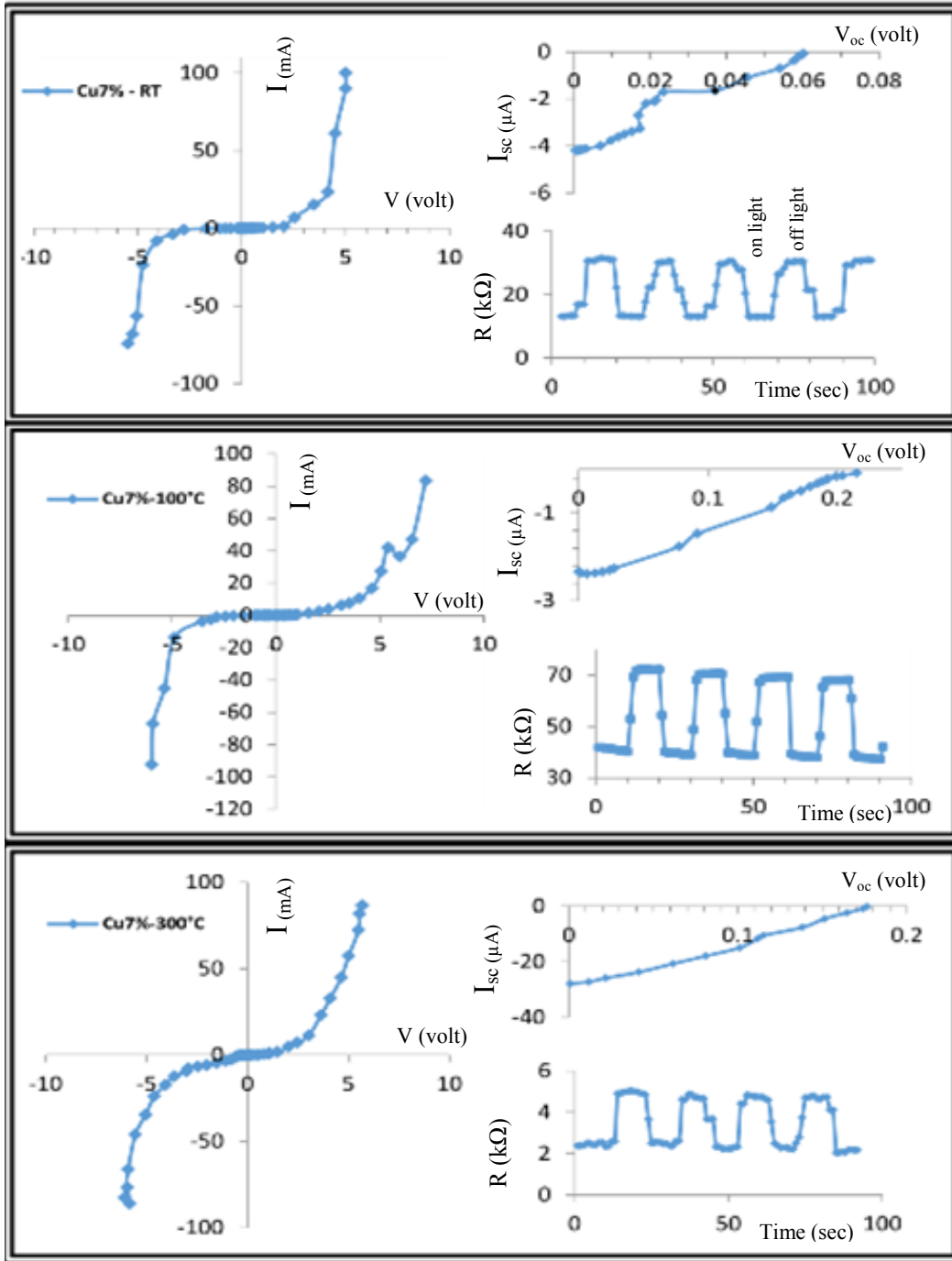


الشكل (4-32) خواص المفرق الهجين تحت الاضاءة بشدة ضوء ( $200 \text{ mW/cm}^2$ ) بوجود وعدم وجود الانحياز ولاغشية ZnTe المشوبة بالنحاس بنسبة 3% والملدنة عند  $(100,300)^\circ\text{C}$

كذلك يمثل الشكل (4-33) والشكل (4-34) خواص الـ (I-V) تحت الاضاءة للاغشية المشوبة بالنحاس بنسبة (7%, 5%) والملدنة بدرجة  $(100,300)^\circ\text{C}$  والغير ملدنة. اذ نلاحظ قلت قيم تيار دائرة القصر وقيم فولتية الدائرة المفتوحة واللذان ينتجان عن فصل المزدوجات المتولدة في منطقة النضوب بواسطة المجال الكهربائي الداخلي دون الحاجة إلى مجال كهربائي خارجي لذا تعدّ المفارق المحضرة ضعيفة الاداء كخلية ضوئية (photo cell) وان المفرق الهجين المحضر عند  $(\text{Cu } 5\% \text{ at } 100^\circ\text{C})$  سجل اقل زمن استجابة ( $68.2 \text{ ms}$ ) وكما موضح في الجدول اعلاه.



الشكل (4-33) خواص المفرك الهجين تحت الاضاءة بشدة ضوء ( $200 \text{ mW/cm}^2$ ) بوجود وعدم وجود الانحياز ولاغشية ZnTe المشوبة بالنحاس بنسبة 5% والغير ملدنة والملدنة عند  $(100,300)^\circ\text{C}$ .



الشكل (34-4) خواص المفرق الهجين تحت الاضاءة بشدة ضوء ( $200 \text{ mW/cm}^2$ ) بوجود وعدم وجود الانحياز ولاغشية ZnTe المشوبة بالنحاس بنسبة 7% والغير ملدنة والملدنة عند  $(100,300)^\circ\text{C}$ .

الجدول (8-4) نتائج (جهد-تيار) للمفارق المحضرة تحت الظلام والاضاءة.

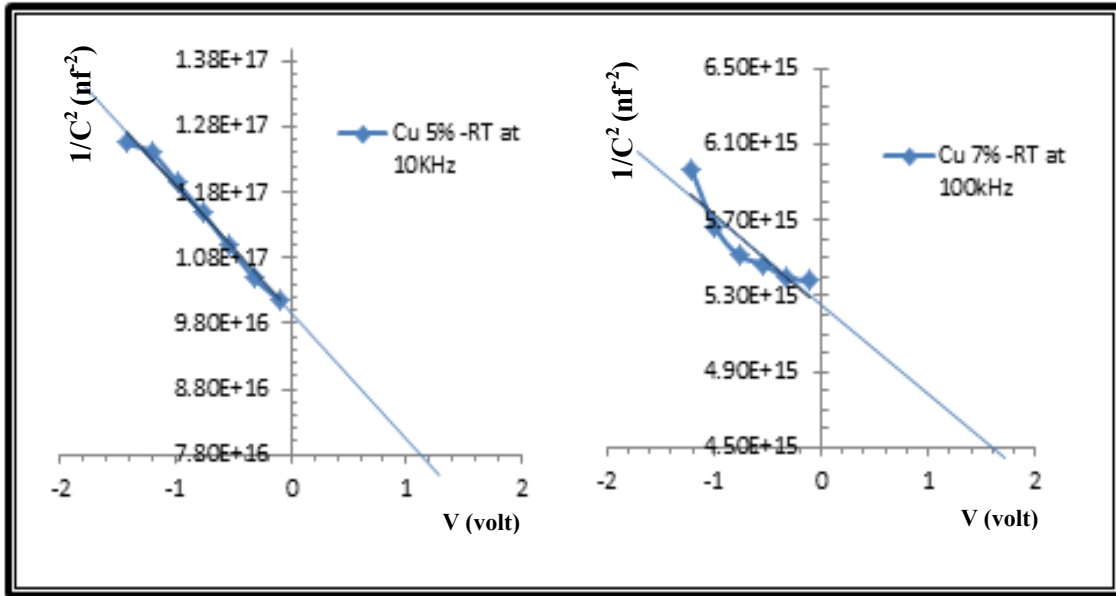
ظروف التحضير		خواص المفارق تحت الظلام	خواص المفارق تحت الاضاءة (بدون تحييز)			
doping (Cu) %	Temp. annealing (°C)	تصنيف المفارق	خواص الـ (I-V)		متحسس ضوئي (Poto sensor)	
			V <sub>oc</sub> (volt)	I <sub>sc</sub> (μA)	t-rise (ms)	t-resp.(ms)
Pure (0)%	RT	Diode-Rectifier	/	/	/	/
Pure (0)%	100	Diode-Rectifier	1.6	0.14	/	/
Pure (0)%	300	Diode-Rectifier	/	/	650	295.5
3%	RT	Diode-Zener	/	/	/	/
3%	100	Diode-Rectifier	/	/	4360	1981.8
3%	300	Diode-Rectifier	0.04	0.53	470	213.6
5%	RT	Diode-Rectifier	0.18	0.53	500	227.3
5%	100	Diode-Zener	0.015	1.7	150	68.2
5%	300	Diode-Zener	0.25	23	550	250
7%	RT	Diode-Rectifier	0.06	4.2	370	168.2
7%	100	Diode-Rectifier	0.24	2.4	500	227.3
7%	300	Diode-Rectifier	0.175	28	550	250



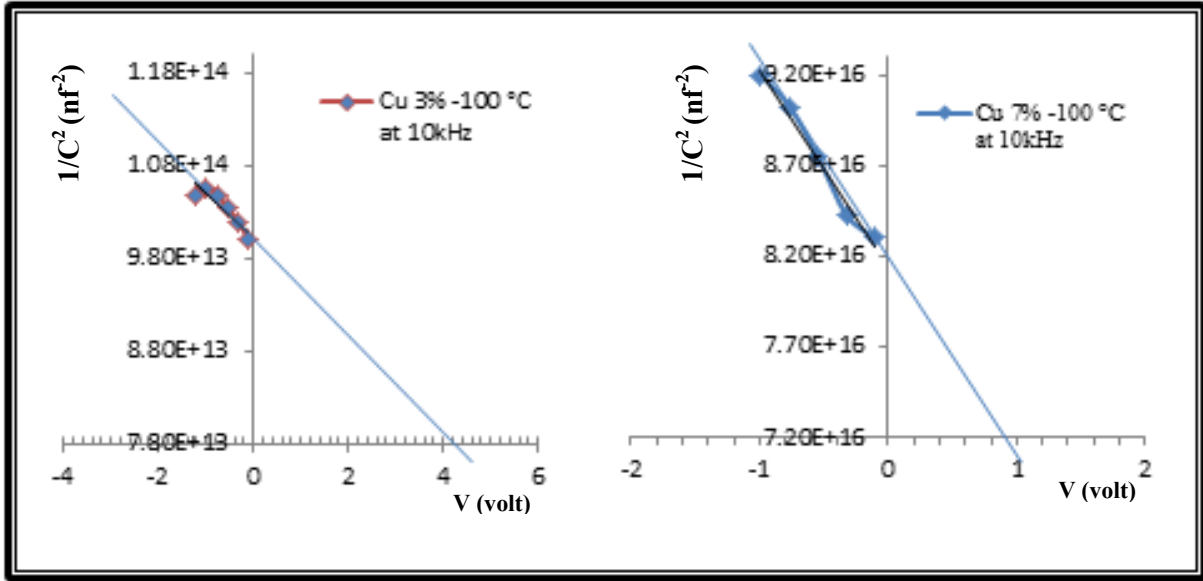
## (4-5-4) خصائص (سعة - جهد):

## (Capacitance–Voltage) Characterization

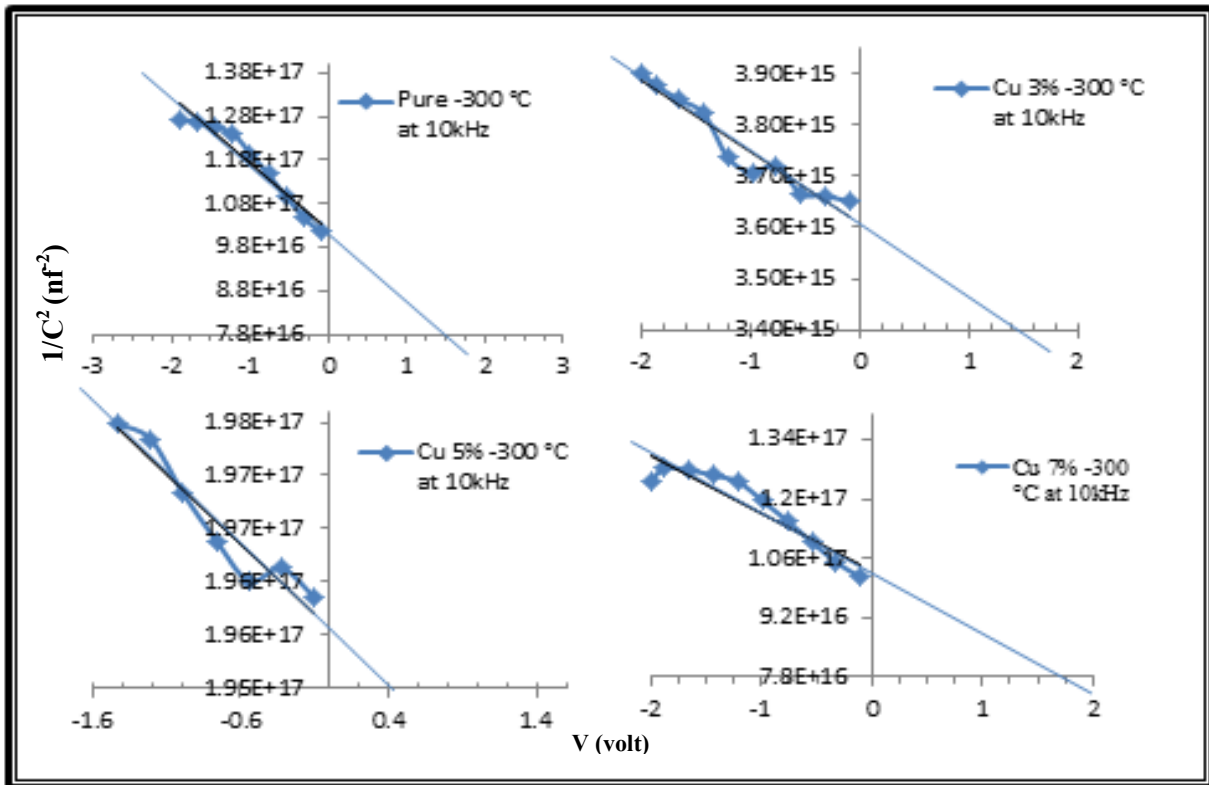
يُعد قياس (سعة - جهد) من القياسات الكهربائية المُعمّدة لحساب جهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) وتركيز حاملات الشحنة وعرض منطقة النضوب وتحديد نوع الوصلة. تم حساب جهد البناء الداخلي من رسم العلاقة بين مقلوب مربع السعة ( $1/C^2$ ) مع جهد الانحياز العكسي للمدى (0.01-2 Volt) بتردد لاغلب المفارق (10kHz) والمفارق المحضر عند درجة حرارة الغرفة والمشوب (Cu at 7%) عند تردد (100kHz)، كما في الأشكال (35-4) و(36-4) و(37-4)، نلاحظ ان بعض المفارق غير موجودة لان العلاقة بين سعة المفارق وفولتية الانحياز العكسي لم تكن علاقة عكسية والكل الترددات المختارة من 100Hz الى 5MHz. اما باقي المفارق فنلاحظ ان العلاقة خطية بين مقلوب مربع السعة والفولتية، وهذا يدل على أن المفارق المصنع هو من النوع الحاد.



الشكل (35-4): تغير مقلوب مربع السعة مع جهد الانحياز العكسي للاغشية ZnTe المشوبة بالنحاس بنسبة (5,7) % الغير ملدنة لترددين مختلفين.



الشكل (4-36): تغير مقلوب مربع السعة مع جهد الإنحياز العكسي للاغشية ZnTe المشوبة بالنحاس بنسبة (7,3) % المدنة عند  $100^{\circ}\text{C}$ .



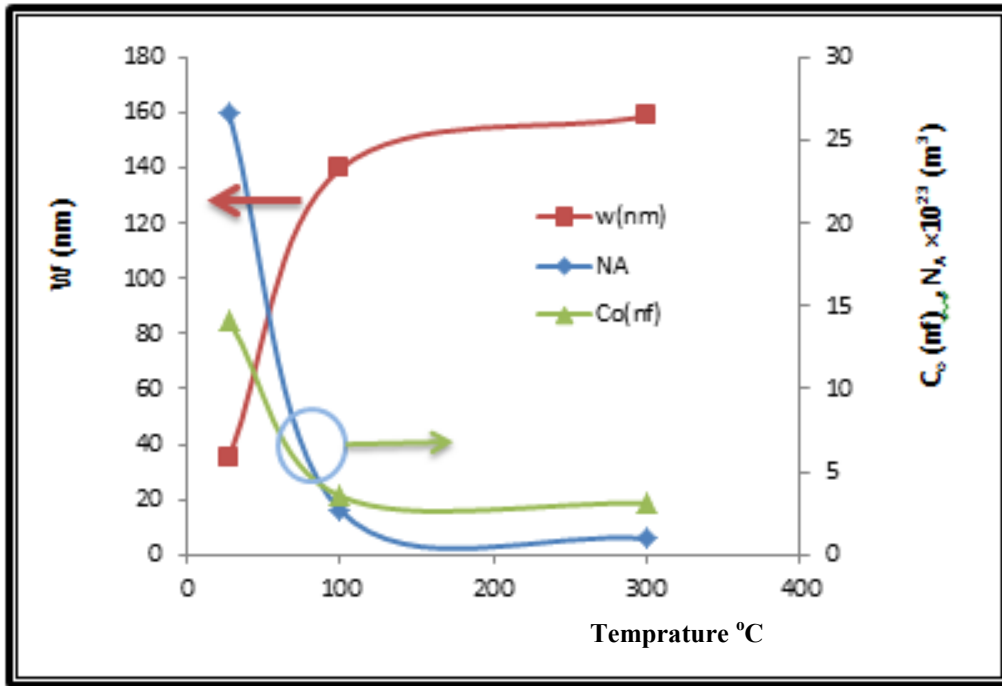
الشكل (4-37): تغير مقلوب مربع السعة مع جهد الإنحياز العكسي للاغشية ZnTe النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب (3,5,7) % المدنة عند  $300^{\circ}\text{C}$

من تقاطع الخط المستقيم مع محور الفولتية ( $1/C^2=0$ ) تم تحديد جهد البناء الداخلي، ومن إيجاد ميل الخطوط المستقيمة في الاشكال (35-4) و(36-4) و(37-4) تم حساب تركيز حاملات الشحنة بموجب المعادلة (41-2)، ومن المعادلة (42-2) تم حساب قيمة عرض منطقة النضوب ( $W$ )، والجدول (7-4) يوضح تغير قيم ( $V_{bi}$ ) مع عرض منطقة النضوب ( $W$ ) و تركيز حاملات الشحنة وسعة المفرق الهجين للنماذج المحضرة.

الجدول (7-4) قيم كل من السعة ( $C$ ) وجهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) وعرض منطقة النضوب ( $W$ ) وتركيز حاملات الشحنة ( $N_A$ ) للمفرق الهجين (ZnTe/Si) لسلك (400nm).

sample	Temp. °C	$C_0(F)$	$W=\epsilon_{(z)}/C_0$ (nm)	$V_{bi}(v\text{olt})$	$N_A(m^{-3})$
Pure	RT	-	-	-	-
Cu 3%		-	-	-	-
Cu 5%		3.16E-09	156.27	1.1	6.66E+22
Cu 7%		1.41E-08	34.94	1.6	2.66E+24
Pure	100 °C	-	-	-	-
Cu 3%		1.00E-07	4.94	4.2	2.66E+26
Cu 5%		-	-	-	-
Cu 7%		3.54E-09	139.77	0.9	2.66E+23
Pure	300 °C	3.16E-09	156.27	1.5	6.66E+22
Cu 3%		1.67E-08	29.68	1.4	9.53E+24
Cu 5%		2.26E-09	218.56	0.4	1.02E+24
Cu 7%		3.12E-09	158.60	1.75	9.80E+22

نلاحظ من الشكل (4-38) زيادة عرض منطقة الاستنزاف بزيادة درجة التلدين للاغشية المشوبة بنسبة (7%) وقد يعزى السبب الى انتشار حاملات الشحنة الموجبة باتجاه الطبقة السيليكون مما يعني زيادة عرض المنطقة وبالتالي تناقص سعة المفرق الهجين. اما بالنسبة للمفارق النقية والمشوبة بنسبة % (3,5,7) والمعدنة بدرجة °C (300) فان التشويب عمل على زيادة حاملات الشحنة بعد التشويب عن المفارق النقي مسجل اعلى قيمة عند نسبة 3% بعدها تبدأ بالتناقص بزيادة التشويب. فضلا عن ان جهد البناء الداخلي يتناقص بزيادة التشويب ليصل اقل قيمة (0.4) volt عند نسبة 5% Cu بعد ذلك تزداد الى (1.75) volt عند نسبة 7% Cu.



الشكل (4-38) تغير عرض منطقة الاستنزاف وسعة المفرق وتركيز الحاملات كدالة لدرجة حرارة التلدين للمفارق المشوب بنسبة 7%.

## Conclusions

## (6-4) الاستنتاجات

- 1- إمكانية تحضير سبيكة واغشية رقيقة لـ ZnTe ضمن المواصفات القياسية حسب الكارتات القياسية للـ (XRD) المرقمة (15-0746) و (19-1482).
- 2- إمكانية التشويب بالنحاس بطريقة التبخير الثنائي باستخدام حويضين من الـ (Mo) ولكن بمصدر تبخير واحد ومن دون الحاجة الى اجراء الانتشار الحراري بعد التحضير والسيطرة على عملية التبخير بهذه الطريقة للحصول على اغشية مطعمة حسب قياسات EDX.
- 3- إمكانية تحضير مفارق نقية هجينة واخرى مشوبة بالنحاس وهي كانت اقرب الى خواص الثنائي المقوم وعند ظروف محددة كانت ذا سلوك ثنائي زينر.
- 4- عند الاضاءة بشدة ( $200 \text{ mW/cm}^2$ ) كانت بعض المفارق الهجينة لها سلوك متحسس ضوئي وان اقل زمن استجابة كان عند نسبة تشويب (5% Cu) ودرجة حرارة تليدين ( $100^\circ \text{C}$ ).
- 5- جميع المفارق المحضرة كانت ضعيفة الاداء كخلية ضوئية.

## Future Work

## (6-4) المشاريع المستقبلية

1. دراسة تأثير التطعيم بمادة الإنديوم (In) او بمادة الفضة (Ag) على خصائص المفارق الهجين (ZnTe/Si) ومقارنة نتائج خصائصه مع نتائج الدراسة الحالية.
2. دراسة تأثير السمك بمديات مختلفة على خصائص المفارق الهجين (ZnTe/Si).
3. تحضير مفارق هجين (p-ZnTe/i-CdTe/n-Si) ذو تباين شبيكي قليل ودراسة تأثير ذلك على الخواص الكهروضوئية للمفارق.

# المصادر

## References:

- [1] R. K. Puri and V. K. Babbar, *Solid state physics and electronics*. S. chand, 1998.
- [2] S. M. Sze, *Semiconductor devices: physics and technology*. John Wiley & Sons, 2008.
- [3] R. W. Berry, P. M. Hall, and M. T. Harris, "Thin film technology," *D. VAN NOSTRAND CO., INC., PRINCETON, N. J. 1968, 706 P*, 1968.
- [4] D.-H. Han, S.-J. Choi, and S.-M. Park, "Electrochemical preparation of zinc telluride films on gold electrodes," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 150, no. 5, pp. C342–C346, 2003.
- [5] B. M. Basol and V. K. Kapur, "Preparation of ZnTe thin films using a simple two-stage process," *Thin Solid Films*, vol. 165, no. 1, pp. 237–241, 1988.
- [6] S. M. Patel and N. G. Patel, "Stimulated crystallization of polycrystalline ZnTe films," *Thin Solid Films*, vol. 122, no. 4, pp. 297–304, 1984.
- [7] م. س. محمد، ع. عطاء، ط. ايفان، ز. خالد، "الثوابت البصرية لأغشية تيلورايد الخارصين الرقيقة عند الاطوال الموجية المرئية وتحت الحمراء القريبة," 2005.
- [8] D. O'Dell, J. K. Furdyna, and X. Liu, "MBE Growth and Characterization of ZnTe and Nitrogen-doped ZnTe on GaAs (100) Substrates."
- [9] W. M. Haynes, *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC press, 2014.
- [10] F. Omnes, "Introduction to semiconductor photodetectors," *Optoelectron. Sensors*, pp. 1–14, 2010.
- [11] S. Bhunia and D. N. Bose, "Crystal growth and applications of II-VI compounds," *PROCEEDINGS-INDIAN Natl. Sci. Acad. PART A*, vol. 64, pp. 211–224, 1998.
- [12] H. Hartmann, R. Mach, B. Selle, and E. Kaldis, "Current Topics in Materials Science." North-Holland, Amsterdam, 1982.
- [13] C. McHenry, "The New Encyclopaedia Britannica, Chicago, Encyclopaedia Britannica," *Inc, 1150pp*, 1992.
- [14] W. F. Smith and J. Hashemi, *Foundations of materials science and engineering*. McGraw-Hill, 2011.
- [15] J. Meija "Atomic weights of the elements 2013 (IUPAC Technical

Report),” *Pure Appl. Chem.*, vol. 88, no. 3, pp. 265–291, 2016.

- [16] T. Mahalingam, V. S. John, S. Rajendran, and P. J. Sebastian, “Electrochemical deposition of ZnTe thin films,” *Semicond. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 5, p. 465, 2002.
- [17] V. S. John, T. Mahalingam, and J. P. Chu, “Synthesis and characterization of copper doped zinc telluride thin films,” *Solid. State. Electron.*, vol. 49, no. 1, pp. 3–7, 2005.
- [18] G. K. Rao, K. V. Bangera, and G. K. Shivakumar, “The effect of substrate temperature on the structural, optical and electrical properties of vacuum deposited ZnTe thin films,” *Vacuum*, vol. 83, no. 12, pp. 1485–1488, 2009.
- [19] G. K. Rao, G. K. Shivakumar, and V. B. Kasturi, “The p-type doping of vacuum deposited ZnTe thin films with bismuth by a new technique of using nano-spheres,” *Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol.*, vol. 175, no. 2, pp. 185–188, 2010.
- [20] W. Wang, G. Xia, J. Zheng, L. Feng, and R. Hao, “Study of polycrystalline ZnTe (ZnTe:Cu) thin films for photovoltaic cells,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 18, no. 4, pp. 427–431, 2007.
- [21] M. A. M. Seyam, H. T. El-Shair, and G. F. Salem, “Electrical properties and transport mechanisms of p-znte/n-si heterojunctions,” *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, vol. 41, pp. 221–227, 2008.
- [22] K. Qin *et al.*, “Influence of ZnTe intrinsic layer on the performance of p-ZnTe/n-Si heterojunctions,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 320, pp. 153–157, 2017.
- [23] W. Zhou, D. Tang, A. Pan, Q. Zhang, Q. Wan, and B. Zou, “Structure and photoluminescence of pure and indium-doped ZnTe microstructures,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 115, no. 5, pp. 1415–1421, 2011.
- [24] G. K. Rao, K. V. Bangera, and G. K. Shivakumar, “Fabrication and characterization of thermal evaporated n-Si/ p-ZnTe thin film heterojunction diodes,” *Curr. Appl. Phys.*, vol. 13, no. 1, pp. 298–301, 2013.
- [25] G. Lastra, P. A. Luque, M. A. Quevedo-Lopez, and A. Olivas, “Electrical properties of p-type ZnTe thin films by immersion in Cu solution,” *Mater. Lett.*, vol. 126, no. 3, pp. 271–273, 2014.
- [26] H. Hassun and A. K, “Study of Photodetector Properties ZnTe:Al/Si prepared by Thermal Evaporation,” *thesis , Submitt. to Coll. Educ. pure Sci. ( Ibn Al-Haitham)*, 2017.
- [27] R. Amutha, “Effect of copper on composition, structural and optical



properties of copper doped ZnTe thin films.”

- [28] J. Wang and M. Isshiki, “Wide-bandgap II–VI semiconductors: growth and properties,” in *Springer handbook of electronic and photonic materials*, Springer, 2006, pp. 325–342.
- [29] S. O. Kasap, *Principles of electronic materials and devices*, vol. 2. McGraw-Hill New York, 2006.
- [30] G. Burns, “Solid State Physics, 1985.” Academic Press: Orlando. ISBN-13.
- [31] M. G. Yousif, “Solid state physics,” *Baghdad Univ.*, vol. 1, 1989.
- [32] B. D. Cullity, “Elements of X-Ray Diffraction 2nd edition. Addison-Wesley Pub. Co,” *Inc., CA, USA*, vol. 197, p. 356, 1978.
- [33] W. Callister and D. Rethwisch, *Materials science and engineering: an introduction*, vol. 94. 2007.
- [34] E. W. Nuffield, “X-ray diffraction methods,” 1966.
- [35] A. J. C. Wilson, *Mathematical theory of X-ray powder diffractometry*. Centrex Publishing Company, 1963.
- [36] G. Binnig and C. F. Quate, “Atomic Force Microscope,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 56, no. 9, pp. 930–933, 1986.
- [37] F. Akgul Aksoy, G. Akgul, and H. H. Gullu, “Improved diode properties in zinc telluride thin film-silicon nanowire heterojunctions,” no. April, pp. 37–41, 2015.
- [38] K. Takahashi, A. Yoshikawa, A. Sandhu, Y. Ishitani, and Y. Kawakami, *Wide bandgap semiconductors: Fundamental properties and modern photonic and electronic devices*. 2007.
- [39] P. Swaminathan, “Electronic Materials, Devices, And Fabrication,” Second Edi., A John Wiley & Sons, Inc, 2016, p. 92.
- [40] T. Numai, “Fundamentals of semiconductor lasers,” in *Fundamentals of Semiconductor Lasers*, Springer, 2015, pp. 89–186.
- [41] J. I. Pankove, *Optical processes in semiconductors*. Courier Corporation, 1971.
- [42] S. K. Goni A. R., *Optical Properties of Semiconductors*, vol. 54, no. May. 2011.
- [43] M. A. Omar, *Elementary solid state physics: principles and applications*. Pearson Education India, 1975.

- [44] B. Sapoal and C. Hermann, *Physics of semiconductors*. Springer Science & Business Media, 2003.
- [45] J. Workman Jr, *The Handbook of Organic Compounds, Three-Volume Set: NIR, IR, R, and UV-Vis Spectra Featuring Polymers and Surfactants*. Elsevier, 2000.
- [46] M. Fukuda, *Optical Semiconductor Devices*. John Wiley & Sons, 1999.
- [47] H. Zimmermann, *Integrated silicon optoelectronics*, vol. 148. Springer, 2010.
- [48] M. S. Shinde, P. B. Ahirrao, I. J. Patil, and R. S. Patil, "Thickness dependent electrical and optical properties of nanocrystalline copper sulphide thin films grown by simple chemical route," 2012.
- [49] أ. أ. زي, نباتات اشباه الموصلات فيزياء وتقنية. دار الحكمة للطباعة والنشر، جامعة الموصل, 1985.
- [50] M. N. Rudden and J. Wilson, *Elements of solid state physics*. Wiley, 1993.
- [51] C. H. B. Sapoal, *Physics of Semiconductors*, 1st ed. Springer, 1994.
- [52] S. M. Sze and K. N. G. Kwok, "Physics of Semiconductor Devices," 2007.
- [53] B. G. Yacobi, *Semiconductor materials: an introduction to basic principles*. Springer Science & Business Media, 2003.
- [54] J.-P. Colinge and C. A. Colinge, *Physics of semiconductor devices*. Springer Science & Business Media, 2005.
- [55] J. William, D. and Callister, *Materials science and engineering: An introduction*., 6th editio. Elsevier, 2003.
- [56] F. Jensen, "Activation energies and the Arrhenius equation," *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–17, 1985.
- [57] M. S. Hossain, R. Islam, and K. A. Khan, "Electrical Conduction Mechanisms of Undoped and Vanadium Doped ZnTe Thin Films," vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2008.
- [58] H. S. Nalwa, *Advanced Functional Molecules and Polymers: Electronic and photonic properties*, vol. 3. 2001.
- [59] S. L. Kakani and A. Kakani, *Material Science*. New Age International Publishers, 2004.
- [60] D. A. Neamen, "Semiconductors Physics and Devices. 1992," *RR Donnelley Sons Company, Sydney*.
- [61] H. Kressel, *Semiconductor Lasers and Herterojunction Leds*. New York: Academic Press, 1977.

- [62] F. Börner *et al.*, “Defects in CuIn (Ga) Se<sub>2</sub> solar cell material characterized by positron annihilation: post-growth annealing effects,” *Phys. B Condens. Matter*, vol. 273, pp. 930–933, 1999.
- [63] B. L. Sharma and R. K. Purohit, *Semiconductor heterojunctions*, vol. 5. Elsevier, 2015.
- [64] S. M. Sze, K. K. Ng, J.-P. Colinge, and C. A. Colinge, “Physics of Semiconductor Devices,” *Phys. Semicond. Devices*, pp. i–x, 2006.
- [65] B. G. Streetman and S. K. Banerjee, *Solid State Electronic Devices: Global Edition*. Pearson Education, 2016.
- [66] G. Margaritondo, *Electronic Structure of Semiconductor Heterojunctions*, 1st ed. Springer Netherlands, 1988.
- [67] A. G. Milnes, “Heterojunctions: Some knowns and unknowns,” *Solid State Electron.*, vol. 30, no. 11, pp. 1099–1105, 1987.
- [68] T. S. Moss and C. Hilsum, *Device Physics*. North-Holland, 1993.
- [69] A. G. Milnes and D. L. Feucht, “Heterojunctions and metal semiconductor junctions,” *Acad. Press*, p. 419, 1972.
- [70] D. Yan, H. Wang, and B. Du, *INTRODUCTION TO ORGANIC SEMICONDUCTOR*. 2010.
- [71] G. Allan, G. Bastard, N. Boccaro, M. Lannoo, and M. Voos, *Heterojunctions and Semiconductor Superlattices*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1986.
- [72] H. Morkoc, *Handbook of Nitride Semiconductors and Devices*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
- [73] K. K. NG, *Complete Guide to Semiconductor Devices*, Second Edi. John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [74] B. Van Zeghbroeck, “Principles of Semiconductor Devices,” 2002.
- [75] A. Salah, M. F. Alias, A. Kadhum, and H. K. Al-lamy, “Characteristic of I-V , C-V for a-Ge:Sb/c-GaAs Hetrojunction,” vol. 83, no. 2, pp. 77–83, 2013.
- [76] R. P. V. Lakshmi, R. V. Gopal, D. S. Reddy, and B. K. Reddy, “Preparation and characterization of ZnS x CdSe 1-x / ZnTe heterojunctions,” vol. 10, no. 2, pp. 446–450, 2008.
- [77] S. S. Li, *Semiconductor Physical Electronics*. Springer US, 2012.
- [78] W. Palz, *Photovoltaic Solar Energy Conference: Proceedings of the*

*International Conference, held at Cannes, France, 27–31 October 1980.*  
Springer Netherlands, 2012.

- [79] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Wiley, 2011.
- [80] J. Nelson, *The Physics of Solar Cells*. World Scientific Publishing Company, 2003.
- [81] J. Bisquert, *The Physics of Solar Cells*. Taylor & Francis Group, 2018.
- [82] R. K. Willardson and A. C. Beer, *Semiconductors and Semimetals*, no. v. 15. Elsevier Science, 1981.
- [83] P. E. Malinowski, *III-N Ultraviolet Detectors for Space Applications*. Pawel E. Malinowski.
- [84] W. W. Arrasmith, *Systems engineering and analysis of electro-optical and infrared systems*. 2015.
- [85] Z. M. Wang, S. Li, J. Wu, and Y. Jiang, *Nanoscale Sensors*, 15th ed. Springer, 2013.
- [86] B. I. Shklovskii and A. L. Efros, “Electronic Properties of Doped Semiconductors.” Nauka" Publishing House, Moscow, 1978.
- [87] S. M. Sze and K. K. Ng, *Semiconductor Devices: Physics and Technology*. 2006.

## **Abstract**

In this research, an alloy of the compound (ZnTe) was prepared by placing the alloy elements in an evacuated quartz tube at pressure ( $2 \times 10^{-3}$  mbar). The alloy elements were burned at ( $1250^{\circ}\text{C}$ ) for an hour of time. X-ray diffraction analysis tests were used for the powder of the alloy. It was found to have a polycrystalline structure with hexagonal cube type. The pure ZnTe and (ZnTe:Cu) thin films were deposited by thermal evaporation technique at a deposition rate of ( $5.5 \pm 0.05$  nm sec<sup>-1</sup>), (ZnTe) film of thickness ( $400 \pm 20$  nm). The films had doped with copper (Cu) with different doping ratios (3,5,7) % and annealing range (100,  $300^{\circ}\text{C}$ ) for an hour of time under vacuum.

The results of the XRD measurements showed that all the prepared thin films were single crystalline and cubic with a preferred orientation along (111) plane for entire prepared thin films. Further, it was decreasing in crystalline size and increasing diffraction intensity as the annealing increased. There are also weak peaks of the Tellurium (Te) element.

In addition to XRD results, the results of the Atomic Force Microscopy (AFM) showed that all the prepared thin films have a homogeneous distribution of grains. The surface roughness increases with increased annealing, and as the doping increased the particle size decreased.

The optical properties measurements showed that the optical transitions were directly allowed. The transmittance values increased with the increase in the percentage of copper inoculation and thus, the absorption decreased.

The optical energy gap for all the thin films increased with the addition of the doping and annealing factors. The value of the optical gap energy is (2.4 eV) for the pure thin film at (R.T) and can be controlled by the ratio of doping and

annealing. The absorption coefficient was also calculated as a function of photon energy.

The study included the study of the electrical properties of the DC conductivity of thin films and the Hall Effect. The results of the conductivity showed two mechanisms for electronic transitions; two activation energies. The results of the Hall Effect showed that the whole films were P-type. And the concentration of the carriers and the mobility increased with the increase of annealing. Moreover, the addition of copper reduced the concentration of the carriers. The results of the (capacitance-voltage) measurements showed that the (ZnTe / Si) junction manufactured is of the abrupt type. The internal construction ( $V_{bi}$ ) and the width of the depletion width are increased by increasing the ratio of doping and annealing factors.

The (I-V) results for (ZnTe / Si) junction measurements of the dark current in the case of the forward bias changes with the applied voltage. The saturation current increases by increasing the doping, while the ideal factor is about 2.3 for most hybrid junctions. Furthermore, it has the properties of the rectifier. But at lighting, some junctions showed the behavior of the light sensor.

Republic of Iraq  
Ministry of Higher Education  
& Scientific Research  
University of Baghdad  
College of Education for Pure  
Science Ibn Al-Haitham



# **Fabrication of pure and doped ZnTe/Si heterojunction with Cu using thermal evaporation and study its properties**

*A thesis*

*Submitted to the college of education for pure science (Ibn Al-Haitham) / Baghdad University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Physics*

By  
***Sarmad M.Ali***

*(B.Sc. 2001)*

*(M.Sc. 2011)*

*Supervised by:*

***Prof. Dr. Samir A. Maki***

***Prof. Dr. Aliyah A. Mhsin Shihab***

**2018 A.D.**

**1439 A.H.**