

جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل
كلية العلوم

دراسة تأثير عوامل التحضير على الخواص

التركيبية والكهربائية لأغشية (CdSe_{1-x} Te_x)

مرسالة مقدمة الى

مجلس كلية العلوم في جامعة بابل

وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء

من قبل

غصون جليل إبراهيم

بكالوريوس علوم في الفيزياء - جامعة بغداد

١٩٩٧ م

آذار ٢٠٠٢ م

ذو الحجة ١٤٢٢ هـ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ عِلْمَ الْإِنْسَانِ مَا لَمْ يَعْلَمْ ﴾

اللَّهُ
الصَّادِقُ
الْعَظِيمُ

الآية (٥) سورة العلق

توصية الأساتذة المشرفين

نشهد إن إعداد الرسالة الموسومة (دراسة تأثير عوامل التحضير على الخواص التركيبية والكهربائية لأغشية $CdSe_{1-x}Te_x$) قد جرى تحت إشرافنا في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة بابل وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء.

إسم المشرف: د. فؤاد شاكر هاشم	إسم المشرف: د. متي ناصر مقادسي
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد	المرتبة العلمية: أستاذ
التوقيع:	التوقيع:
العنوان: كلية التربية - جامعة بابل	العنوان: كلية العلوم - جامعة بغداد
التاريخ: / / ٢٠٠	التاريخ: / / ٢٠٠

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءً على التوصيات المقدمة من قبل الدكتور متي ناصر مقادسي والدكتور فؤاد شاكر هاشم أشرح هذه الرسالة للمناقشة.

الإسم: د. طالب هادي قدوري
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
التوقيع:
العنوان: كلية العلوم - جامعة بابل
التاريخ: / / ٢٠٠

شكر وتقدير

الحمد لله على ما عرفنا من نفسه وألهمنا من شكره وفتح لنا من أبواب العلم
بربوبيته حمداً يكون وصلة إلى طاعته وسبباً إلى رضوانه والصلاة والسلام على
سيد الخلق رسول الله محمد وآله الطيبين الطاهرين.

وأنا أشرف على نهاية بحثي يسرني أن أتقدم بجزيل الشكر ووافر التقدير
والإحترام إلى أستاذي الفاضلين الدكتور فؤاد شاكر هاشم الأستاذ المساعد في قسم
الفيزياء - كلية التربية - جامعة بابل والدكتور متي ناصر مقادسي الأستاذ في قسم
الفيزياء - كلية العلوم - جامعة بغداد على ما أبديا من توجيهات علمية جادة وقيمة
لإنجاز البحث.

كما أتقدم بالشكر والتقدير إلى رئاسة جامعة بابل وعمادة كلية العلوم -
جامعة بابل ورئاسة قسم الفيزياء لإتاحتهم فرصة إكمال دراستي.

كما أتقدم بالشكر والإمتنان إلى طالبة ومنتسبي مختبر الأغشية الرقيقة
والتوصيلية الفائقة للدراسات العليا في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة بغداد
على ما قدموه من تعاون مستمر خلال فترة البحث.

وأتقدم بكل الشكر والإمتنان الى والدتي العزيزة والتي يعود لها الفضل
الأكبر بإكمال دراستي والى أخي وفاق وأختي جهينة ونور على تشجيعهم المستمر
وتعاونهم لتذليل الصعوبات وإنجاز البحث.

وأتقدم بالشكر والتقدير الى الدكتور صباح نوري على تقويمه الأطروحة
لغويًا.

كما اتقدم بالشكر والتقدير الى المهندس عامر خالد والسيد زمان عبد
الرحمن على ما بذلاه من جهد في طباعة الأطروحة.

غصون

الخلاصة

إن العمل المنجز في هذه الأطروحة قد تم في جامعة بغداد - كلية العلوم - قسم الفيزياء بنسبة ٧٠% وفي جامعة بابل - كلية العلوم - قسم الفيزياء بنسبة ٣٠% للفترة من تشرين الثاني ١٩٩٩ لغاية أيلول ٢٠٠١ وبإشراف الأستاذ المساعد د. فؤاد شاكر هاشم والأستاذ د. متي ناصر مقادسي وبإستثناء ما مشار إليه بمصدر معين فإن المعلومات الموجودة هي من نتاج الباحث وإنها لم تقدم لنيل درجة علمية أخرى سابقاً.

إن الهدف الرئيس من هذا البحث هو دراسة تأثير عوامل التحضير (درجة حرارة الأساس ومعدل الترسيب) على الخواص التركيبية والكهربائية لأغشية $CdSe_{1-x}Te_x$ الرقيقة، ولأجل ذلك تم تحضير سبائك $(CdSe_{1-x}Te_x)$ وبنسب تحضير $(x=0.1, 0.2, 0.3)$ بالتسخين التدريجي لخليط العناصر Cd، Se، و Te، ثم تبريد الخليط المنصهر بالماء البارد، بعدها تم تحضير أغشية رقيقة من هذه السبائك الثلاث بطريقة التبخير الحراري في فراغ يصل الى (10^{-6} mbar) وبظروف تحضير مختلفة شملت معدلات ترسيب $(R.D = 0.3, 0.5, 0.7 \text{ nm/sec})$ ودرجات حرارة أساس $(T_s = 300, 323, 373 \text{ K})$ وبسمك $(20 \pm 350) \text{ nm}$.

أظهرت نتائج حيود الأشعة السينية بأن السبائك $(CdSe_{1-x}Te_x)$ متعددة التبلور (Polycrystalline) وتتكون من خليط من وحدة خلية سداسية ووحدة خلية مكعبة، فيما أظهرت نتائج حيود الأشعة السينية للأغشية $(CdSe_{1-x}Te_x)$ بأنها متعددة التبلور وتمتلك التركيب المكعبي نوع (Zinc-blend) وإتضح أن زيادة درجة حرارة الأساس وخفض معدل الترسيب يحسن تبلور الأغشية.

تم دراسة تأثير درجة حرارة الأساس ومعدل الترسيب وكذلك تأثير زيادة نسبة (x) في الأغشية $(CdSe_{1-x}Te_x)$ على قيم التوصيلية الكهربائية المستمرة وطاقات التنشيط، تحركية حوامل الشحنات، تركيز حوامل الشحنات وطاقات تنشيط القدرة الكهروحرارية. حيث أظهرت النتائج بأن زيادة درجة حرارة الأساس ومعدل الترسيب في تحضير الأغشية تؤدي إلى زيادة في التوصيلية الكهربائية المستمرة والتحركية لحوامل الشحنات فيما تقل قيمة كل من طاقة تنشيط التوصيلية الكهربائية المستمرة وتركيز حوامل الشحنات وطاقة تنشيط القدرة الكهروحرارية. وأظهرت جميع الأغشية بأنها من النوع السالب (n-type)، وإتضح بأن زيادة

نسبة التلوريوم (Te) في الأغشية تؤدي إلى نقصان كل من التوصيلية الكهربائية المستمرة والتحريرية، فيما تزداد قيمة كل من طاقة تنشيط التوصيلية الكهربائية المستمرة، تركيز حوامل الشحنات وطاقة تنشيط القدرة الكهروحرارية.

وتم في هذه الدراسة تحضير متسعة (Al-CdSe._٩Te._١-Al) المحضرة من الغشاء الرقيق (CdSe._٩Te._١) المحضر بدرجة حرارة أساس (K ٣٢٣) وبمعدل ترسيب (٠.٣ $\frac{\text{nm}}{\text{sec}}$) وبسمك (٢٠ ± ٣٥٠) nm. وتم دراسة العلاقة بين التوصيلية الكهربائية

المتناوبة ($\sigma_{a.c.}$) والتردد وتم حساب قيمة المعامل (N) والذي إتضح أن قيمته تنخفض بزيادة درجة الحرارة. كما تم دراسة العلاقة بين كل من السعة، ثابت العزل بجزييه الحقيقي والخيالي وظل زاوية الفقدان مع التردد وإتضح أن قيمها تقل بزيادة التردد.

المحتويات

الصفحة	المواضيع
٢٦-١	الفصل الأول-مقدمة
١	(١-١) مقدمة عامة
٣	(٢-١) الخواص التركيبية لأشباه الموصلات
٥	(٣-١) الحدود الحبيبية
٦	(٤-١) حزم الطاقة في أشباه الموصلات البلورية
٨	(٥-١) المركبات (VI-II)
٩	(٦-١) الخواص الكهربائية لأشباه الموصلات البلورية
٩	(١-٦-١) التوصيلية الكهربائية المستمرة
١٢	(٢-٦-١) تأثير هول
١٤	(٣-٦-١) القدرة الكهروحرارية
١٥	(٤-٦-١) التوصيلية الكهربائية المتناوبة
١٧	(٧-١) البحوث والدراسات السابقة
٢٦	(٨-١) هدف الدراسة
٤٧-٢٧	الفصل الثاني-الجزء العملي
٢٧	(١-٢) تحضير سبيكة $(\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x)$
٢٩	(٢-٢) تحضير الأغشية الرقيقة
٢٩	(١-٢-٢) تهيئة الأرضيات
٣٠	(٢-٢-٢) تهيئة الأقنعة
٣١	(٣-٢) تقنية التبخير الحراري في الفراغ
٣١	(٤-٢) منظومة الترسيب
٣٤	(٥-٢) تحضير أقطاب التوصيل
٣٥	(٦-٢) ترسيب الأغشية الرقيقة $(\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x)$
٣٦	(٧-٢) القياسات
٣٦	(١-٧-٢) القياسات التركيبية
٣٨	(٢-٧-٢) قياس سمك الغشاء
٤١	(٣-٧-٢) القياسات الكهربائية

٤١	أ-قياس التوصيلية الكهربائية المستمرة
٤٣	ب-تأثير هول
٤٤	ج-قياسات القدرة الكهروحرارية
٤٥	د-قياسات التوصيلية الكهربائية المتناوبة
١٠٤-٤٨	الفصل الثالث-النتائج والمناقشة
٤٨	(١-٣) الفحوصات التركيبية
٦٨	(٢-٣) القياسات الكهربائية
٦٨	(١-٢-٣) التوصيلية الكهربائية المستمرة ودرجة الحرارة
٧٧	(٢-٢-٣) تأثير هول
٨٨	(٣-٢-٣) قياسات القدرة الكهروحرارية
٩٧	(٤-٢-٣) التوصيلية الكهربائية المتناوبة
١٠١	(٣-٣) الإستنتاجات
١٠١	(١-٣-٣) الخواص التركيبية
١٠٢	(٢-٣-٣) الخواص الكهربائية
١٠٢	أ-التوصيلية الكهربائية المستمرة
١٠٢	ب-تأثير هول
١٠٣	ج-القدرة الكهروحرارية
١٠٣	د-التوصيلية الكهربائية المتناوبة
١٠٤	(٤-٣) المقترحات
١١١-١٠٥	المصادر

قائمة الرموز والمصطلحات العلمية

الرمز	المصطلح الإنكليزي	المصطلح العربي
-------	-------------------	----------------

V.B.	Valence Band	نطاق التكافؤ
C.B.	Conduction Band	نطاق التوصيل
E_g	Forbidden energy gap	فجوة الطاقة المحظورة
E_e	Kinetic energy of electron	طاقة الألكترون الحركية
\hbar	Dirac's constant	ثابت ديراك
h	Planck's constant	ثابت بلانك
\vec{k}	Electrical wave factor	متجه الموجة للألكترون المنتقل
m_e^*	Effective mass of electron	الكتلة الفعالة للألكترون
ρ	Resistivity	المقاومية
J	Current density	كثافة التيار
e	Electron charge	شحنة الألكترون
μ	Mobility	التحركية
K_B	Boltzman's constant	ثابت بولتزمان
T	Temperature	درجة الحرارة
σ	Electrical conductivity	التوصيلية الكهربائية
E_σ	D.C. Conductivity activation energy	طاقة تنشيط التوصيلية الكهربائية المستمرة
E_A	Tail energy of conduction band	طاقة ذيل حزمة التوصيل
E_F	Fermi energy	طاقة فيرمي
ΔW_h	Activation energy of hopping	طاقة التنشيط للقفز
n	Electrons concentration	تركيز الألكترونات
p	Holes concentration	تركيز الفجوات
TEP	Thermoelectric power	القدرة الكهروحرارية
m	Mass of material	كتلة المادة
D	Density of material	كثافة المادة
u	Distance between the boat and	المسافة بين الحويض والأساس

	the substrate	
R	Film resistance	مقاومة الغشاء
A	Cross-section area of charges movement	مساحة المقطع العرضي لحركة الشحنات
L	Distance between poles	المسافة بين القطبين
w	Width of pole	عرض القطب
E_C	Conduction potential energy	الطاقة الكامنة للإلكترون (طاقة الكترولون) التوصيل في حالة السكون)
C	Capacitance	السعة
ϵ_0	Space dielectric constant	ثابت العزل للفراغ
$\tan\delta$	Tan of loss angle	ظل زاوية الفقدان

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
and Scientific Research
University Babylon
College of Science

Studying the Effect of Preparational
Parameters on the Structural and Electrical
Properties of $(\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x)$

A Thesis

*Submitted to the Council of the College of Science-University of
Babylon in Partial Fulfilment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Physics*

By

Ghusoon Jalil Ibrahim

B.Sc. in Physics-University of Baghdad

١٩٩٧

١٤٢٢

٢٠٠١

ABSTRACT

The work described in this thesis was undertaken at the University of Baghdad-College of Science-Physics Department with 50% ratio and at University of Babylon-College of Science-Physics Department with 30% ratio between November 1999 and September 2001 under the supervision of Dr. F.S. Hashim and Dr. M.N. Makadsi. Except where indicated by references it is the original work of the author and has not been submitted for achieving any other scientific degree.

The main purpose of this research to study the effect of preparation parameters [substrate temperature (T_s) and rate of deposition (R.D.)] on the structural and electrical properties of ($\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$) thin films. So, the alloys of ($\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$) have been prepared with preparation ratios ($x=0.1$, 0.2 and 0.3) by heating the mixture of Cd, Se and Te elements gradually; then the melting mixture has been quenched in cold water, the thin films of these three alloys have been prepared by thermal vacuum evaporation method with different ambient conditions ($T_s=300$, 323 and 343) K and ($\text{R.D}=0.3$, 0.6 and 0.9) $\frac{\text{nm}}{\text{sec}}$, with (300 ± 20) nm thickness.

X-ray diffraction technique (XRD) results have shown that the alloys of ($\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$) are polycrystalline and consist of a mixture of hexagonal unit cell and cubic unit cell, whereas XRD results for ($\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$) thin films have shown that the films are single crystal and have cubic structure (Zinc-blend). It is shown that the increase of (T_s) and the decrease of (R.D.) increase the degree of crystallinity.

The effect of T_s and R.D, and the effect of increasing the ratio (x) in ($\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$) films on D.C electrical conductivity ($\sigma_{d.c}$), activation energy (E_σ), mobility (μ), charge carriers concentration (n) and activation energy for thermoelectric power (E_s) have been studied.

The results have shown that the increase of T_s and R.D. in preparing the films leads to increase $\sigma_{d.c.}$ and μ whereas it lead to decrease E_{σ} , n and E_s values.

Also the results have shown that all films are n-type. The increase of Te-ratio in films leads to decrease $\sigma_{d.c.}$ and μ , Whereas it leads to increase E_{σ} , n and E_s values.

Al-CdSe_{0.9}Te_{0.1}-Al capacitor, which has been prepared in this study, is prepared from (CdSe_{0.9}Te_{0.1}) thin film with preparation conditions ($T_s=323K$, $R.D.=0.3\frac{nm}{sec}$) and with (30 ± 2) nm thickness.

The relation between a.c. electrical conductivity ($\sigma_{a.c.}$) and frequency (ω) has been studied, and (N) values have been determined showing a decrease with increasing temperature. The study has shown that the values of capacitance (c), real part of dielectric constant (ϵ_r), imaginary part of dielectric constant (ϵ_i) and loss factor ($\tan\delta$) decrease when (ω) increases.

الفصل الأول

مقدمة (Introduction)

١-١ مقدمة عامة

بدأت دراسة المواد شبه الموصلة التي تقع توصيليتها في المدى بين توصيلية المواد الموصلة (conductors) والمواد العازلة (Insulators) [١، ٢] في القرن التاسع عشر، وتم خلال السنين اللاحقة دراسة الكثير من المواد شبه الموصلة. وما زالت الدراسة مستمرة حول هذه المواد نظراً لما يحمله حقل تقنية أشباه الموصلات وأغشيتها الرقيقة من وعود وذلك لما تتطلبه الحاجة المستمرة في البحث عن بدائل لمصادر الطاقة.

كان أول تطبيق مهم لأشباه الموصلات هو تصنيع المقومات في عام (١٨٨٦) من قبل (Smith) [٣]، كمقومات السليكون المستخدمة للتيارات المتناوبة ذات التردد الواطي، تم بعد ذلك صنع الثنائي والثنائيات الضوئية (Photodiodes)، بعدها تم تصنيع الترانزيستور عام (١٩٤٦) الذي يعد إنجازاً مهماً، ثم جاءت الدوائر الألكترونية المتكاملة (Integrated circuit (Ic)) مكتملة لإنجاز الترانزيستور. وفي عام (١٩٥٤) كان الإنجاز الأكثر أهمية وهو تصنيع خلية شمسية (Solar cell) والتي تم تصنيعها من ثنائي سيلينيون وبكفاءة تحويل معقولة، حيث عدت أول تركيب فوتوفولتائي (Photovoltaic) [٤]. وبحلول عام (١٩٦٢) استخدم أرسنيد الكالسيوم (Ga As) لأول ليزر شبه موصل وأصبحت ليزرات أشباه الموصلات هي الأكثر استخداماً والأكثر تطوراً [١، ٥].

إعتماداً على التركيب الحزمي فإن لأشباه الموصلات مميزات العوازل نفسها، حيث إن حزمة التكافؤ في أشباه الموصلات النقية في درجة حرارة الصفر المطلق تكون ممتلئة تماماً وحزمة التوصيل تكون فارغة تماماً، أما حجم فجوة الطاقة المحظورة فهو الذي يميز أشباه الموصلات عن العوازل [٦].

وبصورة عامة تتأثر توصيلية المادة شبه الموصلة بالحرارة والضوء والمجال المغناطيسي ووجود كميات ضئيلة من الذرات الشائبة وإن حساسية المادة شبه الموصلة تجاه هذه العوامل تجعل منها مادة بالغة الأهمية في التطبيقات الألكترونية [١].

يعود الفضل لفهم الأغشية الرقيقة تاريخياً الى العلماء الذين إهتموا بظاهرة تكون غشاء رقيقاً من الزيت على الماء، إذ إستطاع بعضهم ملاحظة أن مقدار ملعقة شاي من الزيت تكفي لأن تغطي مساحة تقارب (2000 m^2) فوق الماء. وللحصول على طبقة رقيقة من الزيت لفحصها يكفي إدخال شريحة زجاجية الى السائل الذي يحتوي على الغشاء الرقيق فتلتصق على الشريحة طبقة الغشاء عندئذ يمكن دراسته [٧].

يعرف الغشاء الرقيق على أنه طبقة أو عدة طبقات من ذرات مادة معينة ويتراوح سمكها بين طول المسار الحر للألكترون داخل المعدن وأقل من المايكرون [٧، ٨]، وتحضر الأغشية المعدنية الرقيقة عن طريق ترسيب بخار المعدن أو المركب داخل حيز مفرغ من الهواء (والا تأكسد الغشاء) على شريحة تسمى الأساس (Substrate) (وذلك نظراً لرقّة الأغشية الرقيقة فيسهل تشققها فيجب ترسيبها على أرضيات)، وبواسطة أجهزة خاصة يمكن السيطرة على سمك الغشاء وظروف التبخير الأخرى مثل معدل الترسيب ودرجة حرارة الأساس ونوعية الغازات المتبقية في حيز التحضير [٧]. وإن الأغشية الرقيقة من مادة ما ليس بالضرورة أن تكون لها صفات المادة الأصلية نفسها وذلك يعود للطريقة التي يحضر بها الغشاء الرقيق وسمكه، وغالباً ما تكون الأغشية الرقيقة كثيرة العيوب التركيبية (بالنسبة الى ترتيب ذراتها) مما يجعل صفاتها الفيزيائية تختلف عن صفات مادتها الأصلية.

إن تطبيقات الأغشية الرقيقة كثيرة جداً، نذكر منها المرايا الاعتيادية، المرايا العاكسة للأشعة لمختلف الموجات، المرايا الماصة للأشعة الكهرومغناطيسية، وتستخدم بعض الأغشية في عمليات فتح وغلق الدوائر، في الخلايا الضوئية، في أجهزة التوصيل الضوئي الكهربائي، في الأجهزة الألكترونية المعقدة مثل الحاسبات وأجهزة الاستنساخ والتلفزيون والمجمعات الشمسية والخلايا الشمسية، وكأجزاء تدخل في الدوائر الكهربائية والألكترونية البسيطة والمعقدة مثل المقاومات والمتسعات والثنائي البلوري والترانزيستور والدوائر المتكاملة [٧]. وأسهمت أيضاً في تطور أجهزة أبحاث الفضاء. وغيرها [٨، ٩].

وتعددت طرق تحضير الأغشية الرقيقة ومنها طريقة التريذ (Sputtering)، الرش الكيميائي الحراري (Chemical Spray Pyrolysis)، التفريغ التوهجي (Glow discharge)، التبخير الوميضي (Flash evaporation)، وطريقة التبخير الحراري في الفراغ (Thermal Evaporation in Vacuum) [٩] وقد إتبعنا الطريقة الأخيرة في بحثنا، وتتلخص بوضع المعدن أو المركب في حويص يتحمل درجة حرارة عالية ولا يتفاعل مع المادة ويمرر فيه تيار كبير يكفي لصهر وتبخير المادة المطلوبة لتترسب ذرة ذرة أو جزيئة جزيئة على طبقة الأساس المهيأة لتكوين الغشاء الرقيق عليها.

تتضمن الأطروحة ثلاثة فصول حيث شمل الفصل الأول على مقدمة عامة عن أشباه الموصلات وتطورها وتعريف بالأغشية الرقيقة وطرق تحضيرها وتطبيقاتها كما شمل عدة مواضيع منها عن الخواص التركيبية والكهربائية لأشباه الموصلات وكذلك عرض للبحوث السابقة، وشمل الفصل الثاني تعريفاً بالجزء العملي من البحث حيث تضمن مواضيع تحضير السبائك والأغشية الرقيقة والقياسات التركيبية والكهربائية وتعريف بالأجهزة المستخدمة بالقياسات. أما الفصل الثالث فقد تضمن عرض النتائج والأشكال البيانية الخاصة لكل قياس وتفسيرها والإستنتاجات والمقترحات.

٢-١ الخواص التركيبية لأشباه الموصلات

(Structural Properties of Semiconductors)

إن تركيب المواد البلورية يحدد موقع الذرات في المواد، وهذا بدوره يعد من المعلومات المهمة والتي يبحث عنها العلماء لفهم وتفسير طبيعة المواد إضافة لخواصها الفيزيائية والكيميائية المختلفة [١٠].

ويمكن تصنيف أشباه الموصلات كما هو الحال للمواد الصلبة وتبعاً لتركيبها البلوري الى [١١]:

١- أشباه الموصلات البلورية (Crystalline Semiconductors)

وتترتب ذراتها بنظام تكراري بثلاثة أبعاد وذات ترتيب طويل المدى (Long range order) [١٢]، ولأنه هناك طرقاً عديدة ومختلفة لوضع الذرات بحجم معين، فإن المسافات والاتجاهات بين الذرات ممكن أن تأخذ أشكالاً عديدة، وعلى كل حال، في كل حالة فإن الشبكة الحاوية على الحجم تدعى وحدة الخلية (Unit cell) والتي هي ممثلة (إنموذج) لكل الشبكة وتعاد بشكل دوري منتظم خلال البلورة [١٣].

وتقسم اشباه الموصلات البلورية الى:

أ- أشباه الموصلات أحادية البلورة (Single Crystal Semiconductors)

يمتاز هذا النوع من أشباه الموصلات بترتيب دوري منتظم طويل المدى ويتكون من تشكيل ثلاثي الأبعاد ومتساوي [١١] وينتهي بإنهاء الشبكة البلورية [١]، ولا تترك الذرة في البلورة موقعها مطلقاً ولكنها تهتز في هذا الموقع بفعل الحرارة (Thermal vibration) [١].

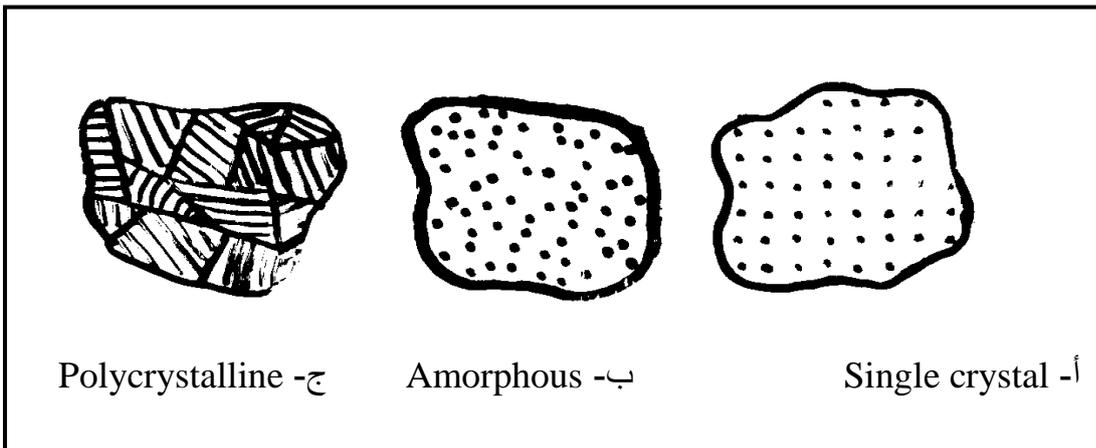
ب- أشباه الموصلات متعددة التبلور (Polycrystalline Semiconductors)

وتتكون من العديد من البلورات المفردة الصغيرة والتي يطلق عليها الحبيبات (Grains) أو البلوريات (Crystallites)، تتكون كل حبيبة من الآلاف من وحدات الخلايا وتمتلك وحدة الخلية ضمن الحبيبة الواحدة الإتجاه نفسه مثل أية خلية أخرى [١٤]. ويكون ترتيب الذرات منتظماً وطويل المدى في كل حبيبة من هذه الحبيبات وينتهي عند حدود الحبيبات، بينما تمتلك الحبيبات البلورية ككل ترتيب قصير المدى [١٥]. ويحصل التمييز بين الحبيبات المتلاصقة باختلاف إتجاه الخلايا للحبيبات فقط.

وتستخدم تقنية الحيود للألكترونات أو الأشعة السينية أو النيوترونات الحرارية لتحديد صفة التبلور أو العشوائية للمواد، اذ يكون نمط الحيود في حالة المواد أحادية التبلور على شكل نقاط مضيئة ويكون على شكل حلقات ذات اضاءة حادة ومتداخلة ومتحدة المراكز للمواد متعددة البلورات، اما المواد اللابلورية (العشوائية) فيكون على شكل حلقات عريضة ضعيفة الإضاءة ومتحدة المركز [١١، ١٢].

٢- أشباه الموصلات العشوائية (Amorphous Semiconductors)

وهي المواد التي لا يشكل توزيع الذرات فيها أشكالاً هندسية دورية كالتي موجودة في المواد البلورية أي لا تملك نظاماً تكرارياً [١١]، وان كان فيها بعض هذا التكرار فهو لا يتعدى مسافة أكبر من إثنين أو ثلاثة أنصاف الأقطار الذرية لذا فانها تمتاز بكونها ذات ترتيب قصير المدى (Short range order) [١٢] كما موضحة بالشكل (١-١-ب).



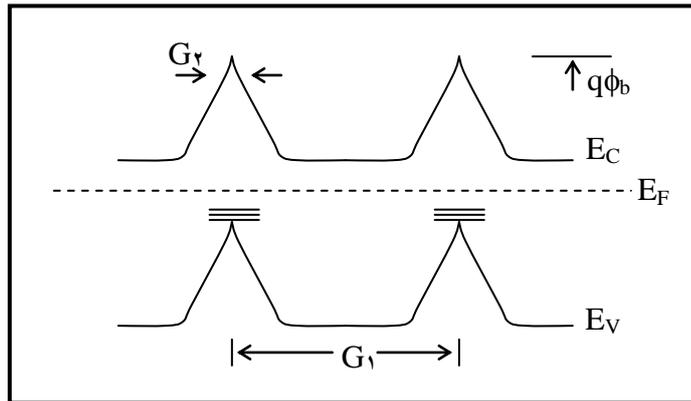
شكل (1-1) انواع أشباه الموصلات [١٣].

نظراً لما تلعبه الحدود الحبيبية من دور مهم في تركيب الأغشية الرقيقة ولما لها من تأثير على خواص الأغشية الرقيقة، سنتناول فيما يلي موضوع الحدود الحبيبية بشيء من التفصيل:

٣-١ الحدود الحبيبية (Grain Boundaries)

تعرف الحدود الحبيبية انها مناطق التقاء الحبيبات البلورية مع بعضها البعض في أشباه الموصلات متعددة التبلور، وينتهي عندها الترتيب الدوري لكل حبيبة [١٦]. ويكون سمك حد الحبيبة دائماً أقل من (٢٠) ذرة [١٤]، وهي تمتلك كثافة طاقة عالية (٠.١-٠.٢) $\frac{J}{m^2}$ ، لذا تكون المواد متعددة البلورات أقل إستقراراً من الناحية الترموديناميكية من تلك أحادية البلورة لأن الطاقة الداخلية الحرة تتحدد بطاقة حدود الحبيبات. حيث تتصرف الحدود الحبيبية مثل عيب سطحي فتحاول البلورة تقليل المساحة للحدود الحبيبية بهدف تقليل الطاقة الحرة للبلورة [١٦].

وتتسبب الحدود الحبيبية بثني الحزمة (Band bending) وكذلك بنشوء حاجز جهد (Potential barrier) الذي يعيق انتقال حوامل الشحنات [١٧، ١٨]. كما تتسبب الحدود الحبيبية بإستحداث مستويات طاقة مسموحة تقع ضمن فجوة الطاقة الممنوعة وتعمل هذه المستويات كمراكز إعادة إتحاد لحوامل الشحنات (Recombination centers)، وتكون فعالة جداً. والشكل (٢-١) يمثل حزمة طاقة لغشاء رقيق شبه موصل متعدد التبلور نوع (n).



شكل (٣-١) حزمة طاقة لغشاء رقيق شبه موصل متعدد التبلور نوع (n) [١٧].

حيث

G_1 : حجم الحبيبة.

G_2 : عرض الحد الحبيبي.

$q\phi_b$: ارتفاع حاجز جهد الحد الحبيبي.

\equiv : المستويات الموضعية لحدود الحبيبات.

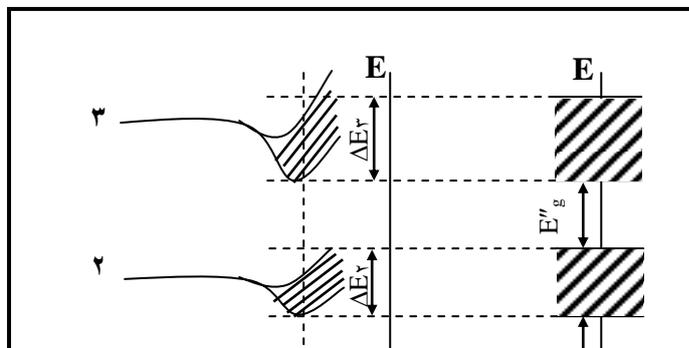
قد تتشكل حدود متطابقة مستوية في نمو الغشاء الرقيق على الأرضيات، وخلال النمو هناك احتمالية لترصفات الحد الحبيبي. وقد يضطرب تركيب الحد الحبيبي المتكون بسبب الإنخلاعات الشبكية الناتجة عن عمليات الشد والإرخاء بين الغشاء والأرضية [١٩].

٤-١ حزم الطاقة في أشباه الموصلات البلورية

(Energy Bands in Crystalline Semiconductors)

تتحدد الخواص الكهربائية والضوئية لأي مادة صلبة بموجب تركيب حزم طاقتها ومدى إنشغالها بالألكترونات [١، ٢، و ٢٠]. حيث أن انقسام (انشقاق، فصل) مستوي الطاقة المفرد لذرة معزولة إلى حزمة للطاقة في الصلب هو المسؤول عن معظم الخواص الكهربائية، المغناطيسية والضوئية لهذا الصلب. وهذا الانقسام يأتي من كون المسافة بين مستويات الطاقة صغيرة جداً [٢١]. وقد أمكن حساب بنية حزم الطاقة لأشباه الموصلات البلورية بالإستناد إلى نظرية الأنطقة في المواد الصلبة وبالإستعانة بميكانيك الكم [١].

تتميز أشباه الموصلات البلورية بوجود أنطقة للطاقة تسمى الأولى نطاق التكافؤ [Valence band (V.B.)] وتحتوي على الألكترونات، ويعلو هذا النطاق منطقة يمنع فيها تواجد الألكترونات ويطلق عليها فجوة الطاقة المحظورة (Forbidden energy gap) [٤]، ثم يلي ذلك نطاق يسمى نطاق التوصيل [Conduction band (C.B.)] [١، ٣، ٤ و ٢١] كما موضحة في الشكل (٣-١) ويمكن إنتقال ألكترونات التكافؤ إلى نطاق التوصيل عبر فجوة الطاقة المحظورة عندما تمتلك طاقة كافية (تساوي أو أكثر من مقدار فجوة الطاقة).



شكل (٣-١) تركيب أنطقة الطاقة في أشباه الموصلات البلورية [١، ٣٠].

يكون نطاق التكافؤ مملوء تماماً بالألكترونات عند درجة الصفر المطلق، بينما يكون نطاق التوصيل فارغاً تماماً، أما في درجة حرارة الغرفة فتكون الطاقة كافية لبعض الإلكترونات في نطاق التكافؤ كي تجتاز فجوة الطاقة المحظورة (E_g) الى نطاق التوصيل تاركة وراءها فجوات في نطاق التكافؤ. وتكتسب الإلكترونات في نطاق التوصيل طاقة حركية (E_e) بتأثير المجال الكهربائي وفق العلاقة [١، ٤].

$$E_e = \frac{\hbar^2 \vec{k}^2}{2m_e^*} \quad \dots(١-١)$$

حيث

\vec{k} : متجه الموجة للألكترون المنتقل.

m_e^* : الكتلة الفعالة للإلكترون (Effective mass of electron).

\hbar : ثابت ديراك ويساوي

$$(\hbar: ثابت بلانك ويساوي 6.63×10^{-34} J. sec) $\frac{h}{2\pi} = \hbar$$$

(II-VI Compounds)

١٥-١ المركبات VI-II

هناك إهتمام متزايد في السنوات الأخيرة بمجموعة جديدة من أشباه الموصلات والتي تملك خصائص فريدة مما يعزز إمكاناتها للإستخدام بمدى واسع في التطبيقات للأجهزة الالكتروبصرية وكموصلات ضوئية [٢٢، ٢٣]، وهذه المجموعة هي مركبات (VI-II) [٢٣].

إن السبب الرئيس لتطور هذه المركبات هو إمتلاكها فجوة طاقة مباشرة كبيرة مما يمكنها للإستعمالات بالليزرات والثنائيات الباعثة للضوء في المنطقة المرئية [٢٤]. تتألف المركبات (VI-II) من إتحاد عنصرين من زمر الجدول الدوري أحدهما من الزمرة الثانية والتي تضم العناصر (Mg، Be، Hg، Cd و Zn)، والآخر من الزمرة السادسة والتي تشمل العناصر (S، Se، Te و O) ومنها على سبيل المثال (ZnS و ZnSe، CdS، ZnTe، CdSe، CdTe) وغيرها [٣، ٢٥ و ٢٦]، وان هذا التعريف يشمل الأوكسيدات والكبريتيدات والسلنيدات والتلاريدات لعناصر الزمرة الثانية (II) [٢٥، ٢٧]، ويتضمن الجدول (١-١) بعض من المركبات (VI-II) مع مقادير فجوة الطاقة المعروفة لها.

الجدول (١-١) يوضح بعض من مركبات المواد شبه الموصلة (VI-II) مع مقادير فجوات الطاقة المعروفة لها [٣٨].

Group II elements	Group VI elements /E _g of II-VI compounds		
	Sulfar	Selenium	Tellurium
Zinc	ZnS ٣.٦ eV	ZnSe ٢.٦ eV	ZnTe ٢.٢ eV
Cadmium	CdS ٢.٦ eV	CdSe ١.٧ eV	CdTe ١.٦ eV
Mercury	HgS ٢.١ eV	HgSe Semimetal	HgTe Semimetal

وتتميز المركبات (VI-II) بجملة من المميزات، نورد منها ما يأتي:

- ١- التركيب البلوري إما أن يكون من النوع الرباعي (Zinc-blend) أو من النوع السداسي (Hexagonal Wurtzite). وفي كلا التركيبين تكون كل ذرة من كل عنصر واقعة في مركز رباعي السطوح وتكون محاطة بذرات العنصر الآخر [٢٩].
- ٢- الأصرة التي تربط الذرات هي أصرة تساهمية وطالما أن عناصر الزمرة السادسة (VI) لها سالبية كهربائية (Electronegativity) عالية مقارنة بعناصر الزمرة الثانية (II) فان سحابتين إلكترونيتين تزاح من ذرات عناصر الزمرة الثانية الى ذرات عناصر الزمرة السادسة، لذا فان الذرات تترايط فيما بينها ترابطاً تساهمياً أيونياً [٢٤، ٢٥ و ٢٦] كما إن المركبات (VI-II) تمتلك تأصراً أيونياً أكثر مما تملكه المواد (V-III) وأقل مما هو للمواد (VII-I) [٢٤].

- ٣- تمتاز المركبات (VI-II) بأن لها نقاط إنصهار عالية نسبياً وضغط بخاري واطئ وتكون بشكل مساحيق متعددة البلورات [٢٥، ٢٦].
- ٤- إنها تثير فسفرة عالية الكفاءة وخاصة المركب (ZnS) [٢٨].

٦-١ الخواص الكهربائية لأشباه الموصلات البلورية (Electrical Properties of Crystalline Semiconductors)

١-٦-١ التوصيلية الكهربائية المستمرة

(D.C. Electrical Conductivity)

تكون حوامل الشحنات بالمواد الصلبة في حالة حركة ثابتة، حتى في حالة التوازن الحراري. فمثلاً يمكن أن تصور الحركة الحرارية (الاهتزاز) للألكترون منفرد في درجة حرارة الغرفة كإستطارة عشوائية من ذرات الشبكة، الشوائب، الألكترونات الأخرى والعيوب [١٣]. وتكون المحصلة النهائية لزعزعة الألكترون على مدى فترة طويلة من الزمن تساوي صفراً. وعندما يسلط مجال كهربائي صغير (E) على عينة من شبه موصل فان كل ألكترون فيه يعاني من قوة كهربائية ($-qE$) وبذا يكسب الألكترون تعجيلاً على إمتداد المجال وبإتجاه معاكس لإتجاهه وعلى مدى الفترة بين اصطدام وآخر [١].

ويمكن تفسير عملية التوصيل الكهربائي لأشباه الموصلات متعددة البلورات بدلالة إنتقال حوامل الشحنات المتحررة من ذراتها في ظروف ملائمة كالتغير في درجة الحرارة، الطاقة الإشعاعية وشدة المجال الكهربائي [٣٠]. وعلى حوامل الشحنات في أشباه الموصلات متعددة البلورات أن تعبر حواجز الجهد (حدود الحبيبات) بطريقة الإنتفاق (Tunneling) أو الإنبعث الحراري، ويؤثر على ذلك تركيب الأنطقة. ومن المعلوم أن التوصيلية الكهربائية في أشباه الموصلات تعتمد على عدد حوامل الشحنات لوحدة الحجم وعلى تحركية حوامل الشحنات [٢١]، أي بتفصيل أكثر فإنها تعتمد على المحيط (درجة الحرارة، الضغط، الإنارة، المجال الخارجي والإشعاع بواسطة الجسيمات النووية) وعلى التركيب (التبلور، العيوب والشوائب) [٣١] وقد وجد لأشباه الموصلات النقية (Intrinsic) بأن مقاومتها تقل وتزداد توصيليتها بزيادة درجة الحرارة [٢١، ٣١]. وقد عبر (Petritz) [٣٢] عن المقاومة الكلية بحبيبة مفردة وحدها بالعلاقة:

$$\rho_g = \rho_1 + \rho_2$$

$$\dots (٢-١)$$

حيث تمثل ρ_1 و ρ_2 مقاومة الحبيبة والحد على التوالي، وقد افترض بأنه في الحالة الاعتيادية يكون $\rho_2 \gg \rho_1$ ويمكن كتابة كثافة التيار للحاجز:

$$J = e\mu_0 n \exp[-q\phi_b / K_B T] E \quad \dots(٣-١)$$

والتوصيلية (σ) يمكن كتابتها بالعلاقة:

$$\sigma = e\mu_0 n \exp[-q\phi_b / K_B T] \quad \dots(٤-١)$$

وتعطى التحركية المؤثرة للغشاء الرقيق متعدد البلورات وفق العلاقة:

$$\mu = \mu_0 \exp[-q\phi_b / K_B T] \quad \dots(٥-١)$$

حيث

μ_0 : تحركية البلورة المفردة.

$$K_B: \text{ثابت بولتزمان ويساوي } 1.38 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$$

T: درجة الحرارة المطلقة (K).

$q\phi_b$: ارتفاع حاجز الجهد عند حدود الحبيبات ويعبر عنه أيضا بأنه التواء الحزمة مع

الحبيبة [١٧، ٣٢، و ٣٣]. ويصل الارتفاع أقصاه عند أوطأ قيمة للتحركية عندئذ

تعتبر التوصيلية كدالة لمستوي التشويب.

وقد توسع الباحث (Mankarious) [٣٤] وباحثون آخرون [٣٥-٣٨] في بحث هذا

الموضوع، ولاحظوا بأن التوصيلية في المعادلة (٤-١) يجب أن تكتب بشكل أكثر شمولية

وكالتالي:

$$\sigma = \sigma_0 \exp[-E_\sigma / K_B T] \quad \dots(٦-١)$$

حيث ان:

$$E_\sigma = E_C - E_F \text{ وتمثل طاقة التنشيط للتوصيلية (eV).}$$

σ_0 : هي التوصيلية للتركيب أحادي البلورة المثالي.

إن العلاقة أعلاه تمثل التوصيلية الكهربائية التي تحصل بواسطة حوامل الشحنات

المتهيجة في المستويات الممتدة في درجات الحرارة العالية، ومن الجدير بالذكر إن التوصيلية

قد تتم بمساعدة الفونونات الناتجة عن إهتزاز الشبكة في درجات حرارة أوطأ حيث تنتقل

حوامل الشحنات من المستويات الممتدة في حزمة التكافؤ الى المستويات الموضعية في حزمة

التوصيل أو بالعكس. وتعطى التوصيلية هنا بالعلاقة [٣٤]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp \left[\frac{-(E_A - E_F) + \Delta W_1}{K_B T} \right] \quad \dots(٧-١)$$

حيث:

E_A : تمثل طاقة ذيل حزمة التوصيل.

ΔW_1 : طاقة التنشيط للتنط.

وإن المعادلة الأساسية للتوصيلية في أشباه الموصلات النقية (Intrinsic) هي

[٣٩، ٢٥]:

$$\sigma = e (n\mu_n + p\mu_p) \quad \dots(٨-١)$$

وطالما أن معادلة التوصيلية الناشئة عن انتقال حوامل الشحنات السالبة لشبه موصل

نوع (n) وتلك الناشئة عن انتقال حوامل الشحنات الموجبة لشبه موصل نوع (p)، يمكن

كتابتها بالشكل:

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= ne \mu_n \\ \sigma &= pe \mu_p \end{aligned} \right\} \quad \dots(٩-١)$$

حيث تمثل n و p تركيز الألكترونات والفجوات على التوالي.

لذا يمكن التعبير عن تركيز حوامل الشحنات بالصيغتين [١٧].

$$\left. \begin{aligned} n &\sim \exp(-E_n/K_B T) \\ p &\sim \exp(-E_p/K_B T) \end{aligned} \right\} \quad \dots(١٠-١)$$

حيث ان E_p و E_n تمثلان طاقة التنشيط للألكترونات والفجوات على التوالي.

ويمكن كتابة معادلة طاقة تنشيط التوصيلية لشبه موصل نوع (n) ونوع (p) بالشكل

التالي [١٧]:

$$E_\sigma = E_{n \text{ or } p} + q\phi_b \quad \dots(١١-١)$$

(Hall Effect)

١-٦-١ تأثير هول

أكتشف تأثير هول عام ١٨٧٤ من قبل الفيزيائي E.H. Hall وهو أكثر الطرق

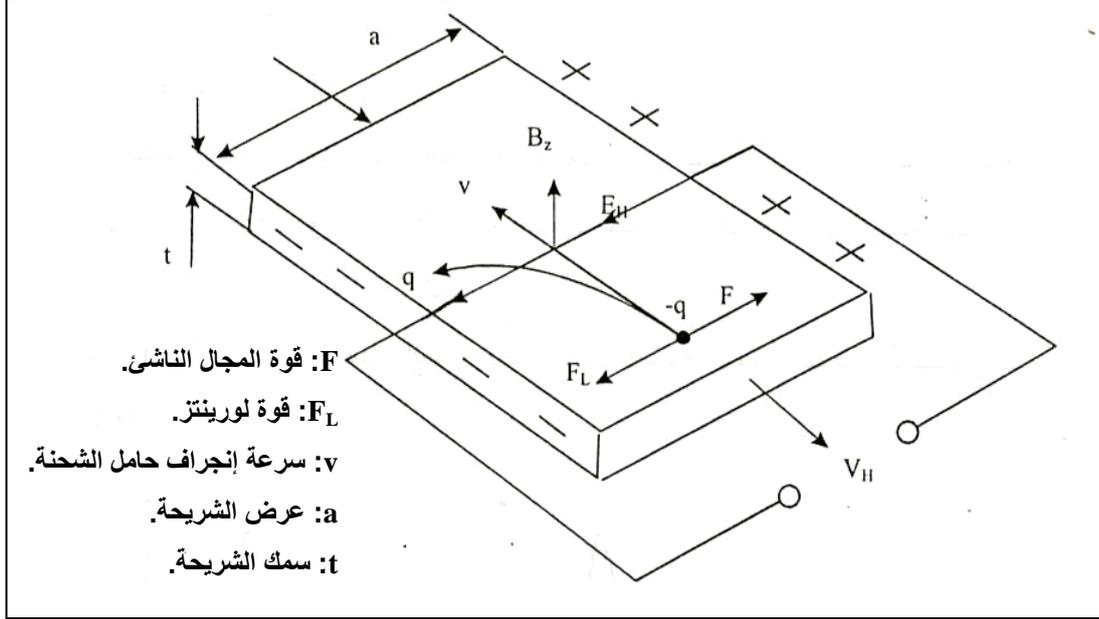
شيوعا" في قياس كثافة حوامل الشحنات ومعرفة نوعيتها بصورة مباشرة [١]. كما ويعد تقنية

تجريبية قياسية لقياس الحركة [٤٠]. وبصورة عامة يمكن تعريف تأثير هول بأنه مقدار

انحراف التيار في شريحة معدنية بفعل مجال مغناطيسي، فعند تسليط مجال مغناطيسي (B_z)

على شبه موصل باتجاه عمودي على إتجاه سريان التيار الكهربائي (I_x) فيه تنحرف حوامل

الشحنات جانباً مسببة تولد فرق جهد عبر شبه الموصل باتجاه عمودي على إتجاه كل من التيار والمجال المغناطيسي يدعى فرق جهد هول [Hall voltage (V_H)] ويصاحبه مجال كهربائي يدعى مجال هول (E_H) [١٧]، كما موضح بالشكل (٤-١).



شكل (٤-١) تأثير هول [٣٠].

ويمكن إيجاد معامل هول (R_H) من العلاقة:

$$R_H = \frac{V_H}{I} \cdot \frac{t}{B} \quad \dots(١٢-١)$$

حيث:

I : التيار المار في الشريحة.

t : سمك الشريحة.

B : شدة المجال المغناطيسي.

فإذا كان ميل العلاقة أعلاه سالباً، فإن حوامل الشحنات ذات إشارة سالبة وإن شبه الموصل يحتوي على فيض من الألكترونات وهو من النوع السالب (n-type)، أما إذا كان الميل موجباً فيدل ذلك على أن حوامل الشحنات ذات شحنة موجبة وأن شبه الموصل يحتوي على فيض من الفجوات وهو من النوع الموجب (p-type).
ويمكن حساب تراكيز حوامل الشحنات بالعلاقتين:

$$R_H = \frac{-1}{ne} \quad \dots(١٣-١)$$

$$R_H = \frac{1}{pe} \quad \dots(١٣-١ \text{ ب})$$

حيث:

n: تركيز حوامل الشحنات السالبة (الألكترونات) (cm^{-3}).

P: تركيز حوامل الشحنات الموجبة (الفجوات) (cm^{-3}).

e: شحنة الألكترون.

كما يمكن إيجاد تركيبة هول من العلاقة:

$$\mu_H = \frac{\sigma}{ne} = \frac{\sigma r}{ne} = \sigma |R_H| \quad \dots(١٤-١)$$

ومن الجدير بالذكر إن حركية هول أكبر من حركية التوصيلية بالعامل (r) عامل

الإستطارة والذي لا يمكن أن تكون قيمته أكبر بكثير من الواحد [٤١].

١-٦-٣ القدرة الكهروحرارية (Thermoelectric Power)

هناك ثلاث تأثيرات كهربائية حرارية أساسية في المواد هي تأثير سيبيك (Seebeck Effect)، تأثير بيلتير (Peltier effect) وتأثير ثومسون (Thomson effect). والذي يهمننا هو تأثير سيبيك ويعرف أيضاً بالقدرة الكهروحرارية أو بالقوة الدافعة الكهروحرارية ((Thermo Electromotive Force (emf) [٦]. وقد أكتشفت هذه الظاهرة لأول مرة عام ١٨٢٢ من قبل سيبيك.

إن تأثير سيبيك يحدث عند ربط موصلين مختلفين لتشكيل دائرة مغلقة، ويكون كلا المفرقين عند درجات حرارية مختلفة. يوضح الشكل (١-٥) فولتية سيبيك (V_{AB}) الناشئة نتيجة الفرق في درجات الحرارة (ΔT) بين نقطتي الملتقى للموصل (A و B) [٤٢]. ويمكن ان تعرف القدرة الكهروحرارية بالعلاقة:

$$S_{AB} = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{V_A - V_B}{\Delta T} = \frac{dV}{dT} \quad \dots(١٥-١)$$

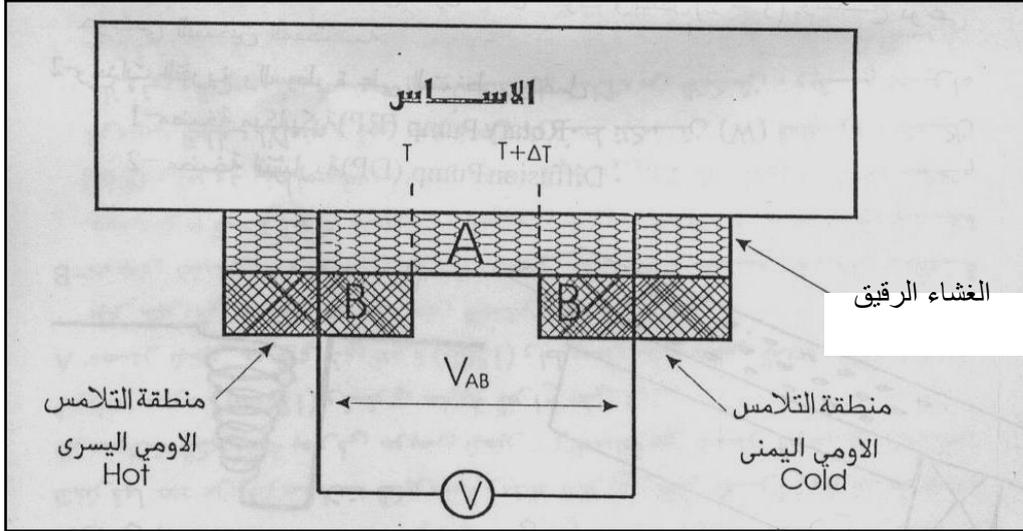
حيث (V_B و V_A) الجهود بالنقطتين (A و B) على التوالي.

ΔT : التغير في درجات الحرارة.

S_{AB} : الفرق بين القيم المطلقة لمعامل سيبك للمادة A و B [٦، ٤٢]. ويقاس بوحدات

$$\left(\frac{V}{K}\right)$$

$$S_{AB} = S_B - S_A \quad \dots(١٦-١)$$



شكل (١-٥) مخطط لقياس القدرة الكهروحرارية [٤٢].

تنتقل الألكترونات في المواد نوع (n) من الطرف الساخن إلى البارد مسببة حدوث شحنة حيزية موجبة (Space charge) قرب النهاية الساخنة وشحنة حيزية سالبة قرب النهاية الباردة. وبذلك ينشأ مجال كهربائي وتكون إشارة معامل سيبك سالبة [٤٢]، أما في حالة المواد نوع (p) فالعملية تكون مشابهة مع نشوء جهد بأقطاب مختلفة وتكون إشارة معامل سيبك موجبة.

يكون لدرجة الحرارة في أشباه الموصلات تأثير واضح على تركيز حوامل الشحنات والطاقة الحركية لها. وعلى الرغم من أن لأشباه الموصلات تراكيز للحامل الحر بعيدة جداً عن تلك التي للمعادن، عادة تزيد القدرة الكهروحرارية المطلقة لأشباه الموصلات عنها في حالة المعادن برتبة في الأقل. ومن الجدير بالذكر إن القدرة الكهربائية الحرارية لأشباه الموصلات النقية أو المعادلة أقل من أشباه الموصلات المطعمة [٦].

١-٦-٢: التوصيلية الكهربائية المتناوبة

(A.C. Electrical Conductivity)

تظهر التراكيب معدن - شبه موصل - معدن (M.S.M) ومعدن - عازل - معدن (M.I.M) خصائص كهربائية تختلف عن خصائص المواد نفسها عندما لا تكون بهذا التركيب [٤٣]. وأن النتائج التجريبية المتوافرة حول إعتقاد التوصيلية المتناوبة على التردد كشفت عن تشابه مهم بالتصرف لمدى واسع من المواد [٤٤].

يمكن أن يعبر عن إعتقاد التوصيلية الكهربائية المتناوبة على التردد بالعلاقة [٤٥، ٣٩].

$$\sigma(\omega) \propto \omega^N$$

$$\sigma_{a.c}(\omega) = A_0 \omega^N \quad \dots(17-1)$$

حيث (A_0) مقدار ثابت و (N) غير ثابت لكل المواد، ولكنه دالة لدرجة الحرارة تصل قيمته للواحد بدرجات الحرارة المنخفضة ويقل لـ (٠.٥) أو أقل بدرجات الحرارة العالية. ويمكن ان يحدد من العلاقة التالية:

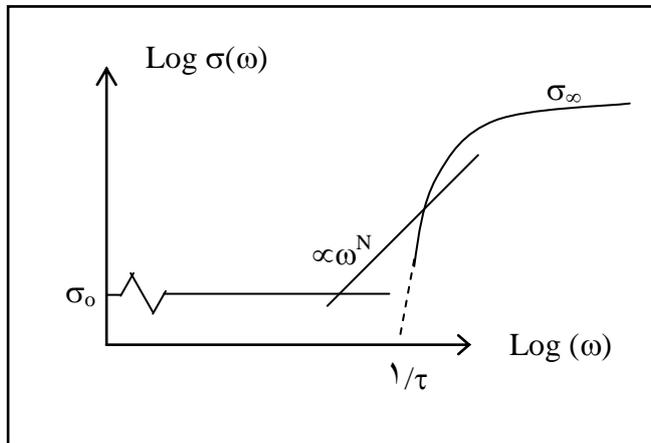
$$N = \frac{d[\text{Ln}\sigma_{a.c}(\omega)]}{d[\text{Ln}(\omega)]} \quad \dots(18-1)$$

وتعرف التوصيلية الكلية عند تردد معين ودرجة حرارة معينة كالتالي:

$$\sigma(\omega) = \sigma_{a.c}(\omega) + \sigma_{d.c} \quad \dots(19-1)$$

$$\sigma(\omega) = A_0 \omega^N + \sigma_{d.c} \quad \dots(20-1)$$

وطبقاً لهذه العلاقة فإن $\sigma_{a.c}$ ستكون السائدة بالترددات العالية وبدرجات الحرارة المنخفضة، بينما $\sigma_{d.c}$ ستكون سائدة بالترددات الواطئة وبدرجات الحرارة العالية. وإن إعتقاد التوصيلية المتناوبة على التردد $\sigma(\omega)$ يمكن تلخيصه بالشكل التالي:



شكل (١-٦) تخطيط توضيحي للإعتقاد على التردد لتوصيلية التنطط [٤٦].

σ_0 : هي التوصيلية للتركيب أحادي البلورة المثالي (وهنا هي التوصيلية المستمرة (d.c.)).

ومن ملاحظة الشكل في أعلاه، نجد بأنه عند الترددات الواطئة بشكل كاف هناك مستوى ثابت (σ_0) والذي يمثل التوصيلية المستمرة ($\sigma_{d.c}$)، يلي هذا المستوى منطقة تعتمد فيها التوصيلية $\sigma(\omega)$ على التردد (ω) كما في العلاقة (١٧-١). حيث تأخذ (N) القيم ضمن المدى ($0.5 < N < 1$)، وتلي هذه المنطقة منطقة أخرى تتناسب فيها التوصيلية $\sigma(\omega)$ مع ω^{-2} . وعند تردد (ω) مساوي إلى ($1/\tau$) حيث (τ) زمن الإسترخاء، تصبح التوصيلية $\sigma(\omega)$ غير معتمدة على التردد.

٧-١: البحوث والدراسات السابقة (The Survey)

تعد الأغشية الرقيقة المحضرة من المركبات (VI-II) وخاصة أغشية ($CdSe_{1-x}Te_x$) من المواد الواعدة في تكنولوجيا أشباه الموصلات ولذلك حظيت هذه الأغشية بإهتمام الكثير من الباحثين، وسنورد فيما يلي ما توفر من بحوث ودراسات حول هذه الأغشية:

١- درس (Weng) (١٩٧٠) [٤٧] امكانية تحضير الأغشية الرقيقة ($CdSe-CdTe$) من المساحيق $CdSe$ و $CdTe$ بتقنية التبخير الوميضي (Flash evaporation technique) وبنسبة ($CdSe$) (١٠٠-٠)، ودرس الخصائص التركيبية والكهربائية لها. ولاحظ بان الأغشية الناتجة لها تركيبين (Hexagonal) و (Cubic). وقد أظهرت الأغشية بأنها من نوع (n)، وأن تحركية حامل الشحنة والتركيز تتغير مع التركيب ودرجة حرارة الأساس، وأن التحركية وكثافة الحامل تقلان بزيادة درجة حرارة الأساس والتحركية للأغشية المحضرة بدرجة حرارة أساس ($323K$) كانت

$$\text{بحدود } \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{V}\cdot\text{sec}} \right) 30.$$

٢- درس (Izakson *et al*) (١٩٧٩) [٤٨] أغشية ($CdSe_{1-x}Te_x$) المحضرة من ($CdTe$ و $CdSe$) ووجدوا بأن تركيب الأغشية يكون مزيج من (Hexagonal modification) و (Cubic modification)، وانه بزيادة قيمة (x) يزداد التركيب المكعبي وأن التلدين يؤدي الى الاستقرار لكل التركيب وثابت الشبكة تتغير خطياً مع قيم (x). ودرسوا التوصيلية الضوئية للأغشية بدرجة حرارة الغرفة وأظهر التوزيع الطيفي بأن شكل وموقع النهاية العظمى للحساسية حرجة لكل من درجة حرارة التكتيف للأغشية وزمن التحفيز الحراري. ولاحظوا أن رفع درجة حرارة الأساس يحسن الحساسية وأن التلدين الطويل (الممتد) (Prolonged Annealing) للأغشية في الهواء بدرجة حرارة ثابتة يتلفها ويزيح النهاية العظمى للحساسية الضوئية باتجاه الأمواج الأطول، وكذلك عندما يذهب التركيب بالاتجاه من ($CdSe$) الى ($CdTe$) فإن انحرافاً تدريجياً سيتولد بالموقع للنهاية العظمى للحساسية الضوئية.

٣- حضر (Sanitarov *et al*) (١٩٨٢) [٤٩] أغشية ($CdSe_x Te_{1-x}$) بطريقة التبخير المشترك لـ ($CdTe$ و $CdSe$) في خلية شبه مغلقة وتحت شروط قريبة من التوازن الثرموديناميكي. وإستنتجوا من دراستهم للتركيب إن العامل الرئيسي الذي يحدد المديات للتعويض المتشاكل بالأغشية والذي يحدث بشروط قريبة للتوازن هو درجة حرارة الأساس.

٤- درس (Uthanna *et al*) (١٩٨٣) [٥٠] الخواص التركيبية والكهربائية لأغشية ($CdSe_x Te_{1-x}$) بنسب ($x = ٠.٣, ٠.٤, ٠.٥, ٠.٧, ٠.٨, ٠.٩$) والمحضرة بتقنية التبخير الحراري بالفراغ على أرضيات من الزجاج والمايكا بسماك (١٠٠-٣٠٠) nm وبدرجات حرارة أساس (٣٠٣-٦٢٣) K وبفراغ يصل لأحسن من ($١٠^{-٦} \times ٥$) Torr. وقد تم تحضير السبيكة بخلط نسب معينة من المركبين ($CdTe$ و $CdSe$) وكان حويض التبخير من التنتاليوم ومعدل الترسيب ثابت ($1 \frac{nm}{sec}$). وقد فحصوا تركيب الأغشية باستخدام تقنية حيود الاشعة السينية (XRD) والمجهر الالكتروني النفثات (TEM) واطهرت الفحوصات بأن الأغشية متعددة التبلور (Zinc-blend) Cubic ولجميع النسب وان الأغشية المحضرة بدرجة حرارة أساس (K ٦٢٣) أظهرت تبلوراً أحسن بكثير من التبلور للأغشية المحضرة بدرجة (K ٣٠٣)، وأن حجم الحبيبة يزداد بزيادة درجة حرارة الأساس وإتفقوا بهذا مع (Shevchenko *et al*) [٥١]. واثبتوا بأن المقاومة (ρ) تقل

أسياً بزيادة درجة حرارة الأساس وكذلك تقل بزيادة نسبة السليوم (Se) بالمركب. كما درسوا تحركية هول كدالة لـ(x) ولاحظوا بأنها تزداد بزيادة تركيز السليوم. وأثبتوا بأن جميع الأغشية المحضرة كانت (n-type).

٥- درس (Ermolovich *et al*) (١٩٨٣) [٥٢] الموصلية الضوئية (photoconductivity) والضيائية الضوئية (photoluminescence) لأغشية ($CdSe_{1-x}Te_x$) المحضرة بطريقة التبخير الحراري بالفراغ على أرضيات من المايكا البيضاء (Muscovite mica) وبسماك (٣٠٠-٥٠٠) nm وبدرجة حرارة أساس (K ٧٠٠). وأظهرت دراسة التحليل بالأشعة السينية أن النماذج بالمدى (٠.٤ < x < ٠.٦) تمتلك التركيبيين (Wurtzite + Sphalerite) بالإتجاهات (١١١) موازياً للمستوي (٠٠٠١) للمايكا بالنسبة لتركيب (Sphalerite) و (٠٠٠١) موازياً للمستوى (٠٠٠١) للمايكا بالنسبة لتركيب (Wurtzite)، كما توصل الباحثون الى أن أدنى قيمة لفجوة الطاقة البصرية (E_g) هي عند النسبة ($x = ٠.٦$).

٦- درس (Belyaev *et al*) (١٩٨٣) [٥٣] توصيلية الظلام الكهربائية (Dark electrical conductivity) لأغشية ($CdSe_{1-x}Te_x$) المحضرة بطريقة التكتيف بالفراغ (Vacuum condensation) على أساس من المايكا البيضاء وبدرجات حرارة أساس (K ٧٠٣-٤٠٣) وقد أظهرت الأغشية خصائص مخالفة للقاعدة بالدرجات الحرارية المقاربة لتلك الخاصة بالنيتروجين السائل. ودرسوا خصائص (تيار - فولتية) الظلام النوعية وبالاعتماد على الزمن، وكذلك درسوا ميكانيكية التغيرات في كثافة التيار، وقد وجدوا بأن التيار في الإنموج يقل للصفر، يعكس إتجاهه ويرتفع لقيمة معينة (I_c) ويعكس إتجاهه مرة أخرى محاولاً الوصول لقيمة التوازن. وان (I_c) يتناسب مع معدل التسخين ومع نسبة (CdTe) بالغشاء. ووجدوا أن توصيلية الظلام تقل بصورة لا عكسية مع الزمن وبتسليط مجال كهربائي. وكذلك وجدوا أنه بزيادة درجة الحرارة فإن زمن الإسترخاء والتغير يقلان وخصائص التيار - فولتية تصبح شبه خطية (Sublinear).

٧- درس (Belyaev *et al*) (١٩٨٤) [٥٤] الخصائص الكهربائية للأغشية ($CdSe_xTe_{1-x}$) لقيم (٠.٩٧ ≥ x ≥ ٠.٠٢) المحضرة بالتبخير الحراري لخليط المساحيق (CdSe) و (CdTe) في الفراغ بطريقة الشاشة الحرارية (Heat Screen) على أساس

من المايكا البيضاء وبدرجة حرارة أساس (٧٠٣ K) وبسماك (٢٠٠-٦٠٠) nm وقد أظهرت فحوصات آلية حيود الألكترونات والمجهر الألكتروني بأن الأغشية تتألف من بلورات مكعبة بالإتجاه (١١١)، ولاحظوا أن $\text{Log} \sigma \left(\frac{1}{T} \right)$ تقريباً خطية في درجات الحرارة العالية. وإن قيمة طاقة التنشيط تزداد عندما تقل (x) من (٠.٢٥ eV) لـ (x = ٠.٩٧) الى (٠.٦٤ eV) لـ (x = ٠.٦). ودرسوا ظاهرة القدرة الكهروحرارية (TEP) لتحديد نوع التوصيل حيث تبين بأنه لقيم (x = ٠.٢٥-٠.٥٧) فإن التوصيل من نوع (n)، اما لـ (x = ٠.٥٩-٠.٦٤) فالتوصيل من نوع (p). كما درسوا اعتماد (μ_H) على درجة الحرارة، وأثبتوا أن (R_H) لكل الأغشية كان سالباً. وبدرجات الحرارة العالية فإن

$$\frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{sec}} \quad (100-60 = \mu_H) \quad \text{للمنماذج بالتوصيلية نوع (n) و}$$

$$\frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{sec}} \quad (30-20 = \mu_H) \quad \text{للمنماذج نوع (p). وللنماذج (x \geq 0.17) فإن (\mu_H) تقريباً ثابتة.}$$

وعند دراستهم لمنحنيات ((Thermally Stimulate Conductivity (TSC) لاحظوا أن الأغشية تمتلك نهايتين عظمى الأولى تقع بالقرب من درجة حرارة النتروجين السائل ولها قمة واحدة، والثانية تقع بدرجة حرارة الغرفة أو أعلى ولها ثلاث قمم بالفتره ($\Delta T = 60-50$) K وتوجد هذه القمم نتيجة لوجود مجموعتين من المستويات، المستويات الضحلة بعمق ($\Delta E \approx 0.1$) eV ومستويات عميقة ($\Delta E = 0.3-0.5$) eV. وبذلك إستنتجوا إن هذه الأغشية هي (Inhomogeneous) وتمتلك مستويات عميقة وأن التوصيل بدرجات حرارة (٢٨٠-٣٢٠) K يتغير من حزمة التكافؤ أو التوصيل إلى حزمة الشوائب.

٨- درس (Wallace) (١٩٨٤) [٥٥] الخلايا الفولتاضوئية الكهروكيميائية للمساعد الضوئية (Photoanodes) للغشاء المدمج ($n\text{-CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$) والتي تم إنتاجها بكفاءات لحد ٧.٥٪ بإستخدام مساحة صغيرة للأقطاب في المحاليل الكهربائية متعددة الكبريتيد. وقد ذكر أنه بالإمكان الحصول على كفاءات قريبة من ١٠٪ بإستخدام محاليل كهربائية متغيرة بأنظمة ناجحة أقل إستقرارية.

٩- حضر (Creter و Russak) (١٩٨٤) [٥٦] و (١٩٨٥) [٥٧] أغشية ($\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$) للخلايا الفولتاضوئية الكهروكيميائية بالتبخير الفراغي المتتابع للعناصر الأساسية من ثلاث

مصادر بتحكم مستقل ومرتبطة بشكل متوازي. والأرضيات عبارة عن صفائح من التيتانيوم ودرسا نظامية التركيب للغشاء بنسبة $(x=0.2)$ المحضر بدرجة حرارة أساس (K 673). ودرسا اعتماد التصرف الكهروكيميائي الضوئي (Photoelectro chemical)، فجوة الطاقة والكفاءة على (x) . وقد وجد أن الناتج الفولتاضوئي يتحسن بزيادة (x) ولحد $(x=0.2)$ ، ويقل للقيم الأعلى. وعندما يزداد محتوى (Te) بالغشاء فوق المدى $(0 \leq x \leq 0.53)$ تنحرف الإستجابة الطيفية للغشاء للأطوال الموجية الأطول، ولكن الكفاءة الكمية (Quantum Efficiency) وطول إنتشار الحوامل الثانوية يقلان. وأن منحنيات (V-I) تأخذ شكلاً بسيطاً لإعادة الإتحد وأعظم كفاءة كانت ٧.٤٪ للتركيب $(x=0.2)$.

١٠- درس (Belyaev et al) (١٩٨٥) [٥٨] التوصيلية للمحاليل الصلبة $(\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x})$ ، حيث حضروا أغشية لقيم $(x=0.21)$ و $(x=0.7)$ بالتبخير الحراري بالفراغ بدرجة حرارة أساس (K 700) على أساس من المايكا. وأوضحوا أن هذه الأغشية تتكون من حبيبات بحجوم (٢٠٠-٣٠٠) nm ولها إتجاه (١١١) للتركيب (Sphalerite) لـ $(x=0.21)$ ولها إتجاه (١٠٠١) للتركيب (Wurtzite) لـ $(x=0.7)$. وإستنتجوا أن التوصيلية نوع (n). ودرسوا ميكانيكية التوصيل بدرجات حرارة أقل من T_m حيث $(T_m = 280-300)$ K وأوضحوا أن طاقة التنشيط (E_σ) تقل نتيجة للتبريد حيث بدرجة $(K 300)$ فإن $(E_\sigma = 0.3)$ eV لـ $(x=0.7)$ ، وبدرجة حرارة (K 130) فإن $(E_\sigma = 0.04)$ eV. ودرسوا خصائص التيار-فولتية حيث أظهرت النماذج بعمليات الإرخاء تيار بزمن (٦٠-٦٠٠) sec ويزداد هذا الوقت بزيادة شدة المجال الكهربائي. وأوضحوا أن تركيز الشوائب $(N_s = 10^{19} - 10^{20}) \text{cm}^{-3}$ ، وأنه بدرجات الحرارة المقاربة لدرجة حرارة النيتروجين السائل تمتلك الأغشية حزمة شوائب عالية للتوصيل وحزمة توصيل بكثافة إلكترونية قليلة بالمستوى المتخلل (المترشح).

١١- كما حضر (Russak) (١٩٨٥) [٥٩] الأغشية الرقيقة $(\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x)$ بطريقة التبخير الأنسي بالفراغ من مصدر تبخير ثنائي للمركبين (CdTe و CdSe) على أرضيات من الزجاج ومعدن التيتانيوم، وبنسب $(x=0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1)$ بدرجات حرارة أساس (K 673-473) وبسماك (٣٠٠ و ٥٠٠) nm. وأظهرت الفحوصات التركيبية أن الأغشية تمتلك تركيب مكعبي (Zinc-blend) والتبلور بالتركيب المميز (١١١). وأن ثوابت الشبكة تصعد

تدريجياً بشكل خطي مع التركيب (x)، وأن حجم البلورة للأغشية يزداد بزيادة درجة حرارة الأساس. كما وجد أن المقاومة الكهربائية تزداد بزيادة محتوى (Te)، وتقل المقاومة بزيادة درجة حرارة الأساس بينما يزداد كلاً من التحركية وكثافة حوامل الشحنات بزيادة درجة حرارة الأساس ولكنهما تقلان بزيادة (x). وكذلك وجد أن فجوة الطاقة البصرية، المقاومة، التحركية وكثافة التطعيم تعتمد على نسبة Se و Te في الغشاء. أما الفعالية الفولتاضوئية فتمتلك كفاءة قليلة (١-٢) %، وأن الأغشية الرقيقة هي نوع (n).

١٢- درس (Kalinkin و Belyaev) (١٩٨٦) [٦٠] اعتماد معامل هول على درجة الحرارة للأغشية $(\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x})$ وإستنتاجاً بأن هناك إنحرافاً شاداً للنهاية العظمى لمنحني $R_H(\frac{1}{T})$ وهذا بدوره يؤشر إلى الإخلال للنظام أو للتغيرات لتصرف الجهد لحافات الحزمة للنماذج وهذا يحدث عندما يتغير تركيز التطعيم.

١٣- درس (Lemos *et al*) (١٩٨٦) [٦١] العلاقة بين الضغط وفجوة الطاقة المباشرة لأغشية $(\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x})$ ، وكذلك درسوا أطياف الضيائية (Luminescence spectra) بضغوط مختلفة وللنسبتين $(x=0.5$ و $0.8)$ وكذلك العلاقة بين فجوة الطاقة وقيم (x) ولاحظوا أن الضيائية تزداد بزيادة الضغط وتحصل بعض الانحرافات بالأطياف. وكذلك تزداد فجوة الطاقة بزيادة الضغط، وكذلك لاحظوا أن فجوة الطاقة تقل مع زيادة (x) ولحد قيمة $(x=0.4)$ ، ثم تبدأ بالزيادة لبقية قيم (x).

١٤- درس (Budyonnaya *et al*) (١٩٨٦) [٦٢] أغشية $(\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x})$ ولاحظوا أن الأغشية التي تحتوي على نسبة CdSe أكثر تظهر تركيباً Wurtzite والأغشية التي تحتوي على نسبة CdTe أكثر تظهر تركيباً Sphalerite ويكون الطوران موجودان للأغشية بالنسب $(x=0.4-0.6)$. وقد درسوا الحساسية الضوئية للأغشية، ولاحظوا زيادة حادة بتوصيلية الظلام للمدى $0.4 \leq x$. وقد وجدوا أن الأغشية تظهر معدلات إستجابة حسنة والحساسية الضوئية تزاح قرب منطقة الـ (IR) وأن موقع (λ_{\max}) يتغير بين (٧٠٠-٩٢٠) nm.

١٥- حضر (Bhattacharya) (١٩٨٦) [٦٣] الأغشية (CdSe_xTe_{1-x}) بعملية الترسيب الكهربائي ودرس خصائص الأغشية بعدة طرق منها حيود الأشعة السينية (XRD)، تقنية الامتصاص البصري (Optical absorption) وغيرها.

١٦- درس (Ermolovich *et al*) (١٩٨٦) [٦٤] خصائص التوصيلية الضوئية (photoconductivity) والضيائية (Luminescence) لأغشية (CdSe_xTe_{1-x}) لقيم (x=٠-١) والمحضرة بطريقة الرش لخليط من مسحوقي CdSe و CdTe (Spraying an aqueous suspension of mixtures) بنسب معينة على أرضيات (ceramic Al₂O₃) والمطعمة بالنحاس وبسماك (١٠٠٠-٥٠٠) nm وأظهرت الفحوصات التركيبية بأن الأغشية تمتلك التركيبين (Wurtzite) و (Sphalerite)، وقد حددوا فجوة الطاقة من دراستهم لإعتماد التوصيلية الضوئية والضيائية على قيم (x)، حيث لاحظوا أن التوصيلية الضوئية بالمدى (٠.٤ < x < ٠.٦) تقل بصورة حادة للأغشية المطعمة بالنحاس ولتلك غير المطعمة. وبينوا أن الطاقات (hv_m) للنهيات العظمى لأطياف الضيائية الضوئية (Photoluminescence spectra) مماثلة أو مطابقة لقعر حزمة التوصيل على افتراض أنه لجميع قيم (x) يكون الإشعاع نتيجة لإعادة الإلتحام للألكترونات مع الفجوات المصطادة بمراكز الضيائية المماثلة.

١٧- حضر (Zdebskil *et al*) (١٩٨٧) [٦٥] أغشية (CdSe_xTe_{1-x}) بطريقة (Spraying suspensions) لقيم (x) مختلفة على أرضيات من السيراميك. ووجدوا أن نوع التوصيل هو (n). وأوضحوا أن المعالجة فوق الصوتية (Ultrasonic) بقدرة (subthreshold) قليلة تغير من الخصائص الكهرو بصرية والضيائية للمساحيق الصلبة متعددة التبلور (VI-II) (CdSe_xTe_{1-x}).

١٨- حضر (Mangalhara *et al*) (١٩٨٩) [٦٦] أغشية (CdSe_{1-x}Te_x) باستخدام طريقة التبخير بالحزمة الألكترونية (Electron beam evaporation) لمسحوقي CdSe و CdTe المخلوطين، والتي تكونت بدرجة حرارة (٤٧٣ K)، وأثبتوا أن الأغشية لكل قيم (x) ما عدا (x=٠) بطبيعة (Single phase) بالاتجاه المفضل (١١١). وأظهرت الأغشية تركيباً مكعبياً (Zinc-blend). ودرسوا طيف الضيائية الضوئية (Photoluminescence spectra) للأغشية المدنة وغير المدنة، ولاحظوا بأن الأغشية الغنية بـ CdSe والمدنة تظهر إنبعثاً حدياً (حافياً) مماثل لفجوة الطاقة للتركيب النسبي.

١٩- حضر (Loizos *et al*) (١٩٨٩) [٦٧] أغشية ($CdSe_xTe_{1-x}$) بطريقة الترسيب الكهربائي الكاثودي لمحلول حامض الكبريتيك الحاوي على (TeO_2) و (H_2SeO_3) بكميات مختلفة. وأثبتوا أن الأغشية ممكن الحصول عليها لتراكيز قليلة فقط من (H_2SeO_3) وبمدى جهد مقيد مقابل لجهد ترسيب الكادميوم. وقد درسوا تركيب الأغشية، عرض فجوة الطاقة والإستجابة الضوئية بالخلايا الكهروكيميائية الضوئية كدوال لتركيب المحلول الكهربائي وجهد الترسيب.

٢٠- حضر (Ortega و Gutierrez) (١٩٨٩) [٦٨] أغشية ($n-CdSe_{.٦٥}Te_{.٣٥}$) بعملية الترسيب الكهربائي، ودرسا تركيبها بالطرق: حيود الأشعة السينية، البصرية والكهروكيميائية الضوئية. ودرسا تأثير التلدين على الخصائص الفيزيائية (حجم الحبيبة، d ، تركيز الواهب وطول انتشار الفجوات). ودرسا التصرف الكهروكيميائي الضوئي (Photoelectro chemical) للأغشية في المحاليل الكبريتية ومتعددة الكبريتيدات.

٢١- درس (Sivaramakrishnan و Sebastian) (١٩٨٩) [٦٩]، (١٩٩٠) [٧٠] عدم الثبات بالمقاومة والتغير في طاقة تنشيط التوصيلية مع السمك ودرجة حرارة الترسيب لأغشية ($CdSe_xTe_{1-x}$) للنسب $x=٠.٦$ و $x=٠.٢$ على التوالي، وحضرا المركب من خلط كميات مناسبة من $CdSe$ و $CdTe$ وإستعملا أرضيات زجاجية، وأوضحا أن تركيب الأغشية مكعبي (Cubic) (Zinc-blend) بالإتجاه (١١١). ووجدا أن هناك زيادة سريعة في المقاومة عندما تتعرض الأغشية للأوكسجين وللغلاف الجوي (Atmosphere)، وكذلك وجدا بأن طاقة التنشيط تقل بزيادة السمك ودرجة حرارة الترسيب، وإستنتجا أن بزيادة نسبة $CdSe$ بالأغشية، فإن الأغشية تصبح عديمة الاستقرار أكثر بالأوكسجين والغلاف الجوي.

٢٢- درس (Ravichandran *et al*) (١٩٩٦) [٧١] التوصيلية الضوئية لأغشية ($CdSe_{1-x}Te_x$) كدالة لتركيز التطعيم. وحضروا الأغشية بالترسيب الكهربائي مع تغيير تراكيز التطعيم ل- $Te(x)$ ، حيث أذيب (Te) بحامض (HCl) المخفف وأضيف لماء مقطر مضاعف يحتوي على كادميوم وسلنيوم مذابة. وتمت عملية الترسيب بثلاثة أقطاب. وإستنتجوا أنه بزيادة تركيز $Te(x)$ بالأغشية فإن فجوة الطاقة للمادة تقل وحسب العلاقة ($E_g=(2-1.٥ x) eV$) واستنتجوا أنه بوجود التطعيم تزداد كفاءة التيار الضوئي، لذلك التطعيم يجعل الحساسية للضوء أسرع تأثيراً بالإضافة لكفاءة أكثر كموصل ضوئي.

٢٣- حضر (Rassam) (٢٠٠٠) [٧٢] أغشية $(\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x)$ متعددة التبلور بطريقة التبخير الحراري الثنائي للمركبين CdTe و CdSe على أرضيات زجاجية وبالنسب $(1-x=0)$ وأظهرت الفحوصات التركيبية وجود التركيبين المكعبي والسداسي وأن الأغشية بالنسب $(0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6)$ تتحول من التركيب المكعبي إلى السداسي بالتلدين ودرس المقاومة الكهربائية للغشاء $(\text{CdSe}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ المرسب في درجات حرارية مختلفة، ولاحظ زيادة مفاجئة في المقاومة مع الزمن عند تعرض الأغشية المحضرة بدرجة حرارة أساس واطئة للهواء (Atmosphere). كما درس التوصيلية الكهربائية المستمرة للأغشية المحضرة بدرجة (473 K) وبالنسب $(1-x=0)$ ولاحظ نقصان في قيم التوصيلية مع زيادة نسبة (x) أي (CdTe) في المركب، وعند تعرض الأغشية للتلدين. وكذلك لاحظ نقصان مفاجيء لقيم التوصيلية للأغشية المدونة في المنطقة التي يتم فيها تحول الطور. وإستنتج بأن قيمة طاقة التنشيط تزداد بزيادة (x) وكذلك تزداد بالتلدين. وتراوحت قيم طاقات التنشيط $(E_0 = 0.221 - 0.518 \text{ eV})$ وللأغشية المدونة $(E_0 = 0.227 - 0.612 \text{ eV})$ ودرس تأثير هول للأغشية المحضرة بدرجة (473 K) وبالنسب $(x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.9)$ والمدونة بدرجة (573 K) حيث درس العلاقة بين (μ) و (T) ولاحظ زيادة التحركية مع درجة الحرارة ولكنها تقل مع زيادة (x) . وكذلك إستنتج نقصان تركيز حوامل الشحنات الأغلبية للأغشية المدونة وغير المدونة مع زيادة نسبة (x) . ودرس ظاهرة القدرة الكهروحرارية للأغشية المحضرة بدرجة (473 K) وبالنسب $(x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1)$ والمدونة بدرجة (573 K) ، وإستنتج بأن طاقة تنشيط القدرة الكهروحرارية تزداد بزيادة (x) . وتراوحت قيمها بين $(0.245 - 0.587 \text{ eV})$ للأغشية المدونة. وأظهرت جميع الأغشية نوع (n) . ودرس الخواص البصرية للأغشية المحضرة بدرجة (473 K) بالنسب $(1-x=0)$ ولتلك المدونة بدرجة (573 K) بالنسب $(x=0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8, 1)$ حيث درس أطياف النفاذية لإيجاد الثوابت البصرية. وكذلك درس الخواص الألكتروبصرية.

كما هو واضح من المسح للدراسات والبحوث السابقة، لم يتطرق أحد لتحضير الأغشية الرقيقة $(\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x)$ من سبيكة بأسلوب خلط العناصر الثلاث $(\text{Te}$ و Se ، $\text{Cd})$ وبتسخين تدريجي، حيث إن بعض الباحثين حضر الأغشية من سبيكة مكونة من خلط المركبين $(\text{CdTe}$ و $\text{CdSe})$ والبعض الآخر حضر الأغشية من خلال التبخير الثنائي الأنبي للمركبين $(\text{CdTe}$ و $\text{CdSe})$ ، ولم يدرس أحد من الباحثين السابقين تأثير عوامل التحضير كدرجة

حرارة الأساس ومعدل الترسيب على الخصائص التركيبية والكهربائية لهذه الأغشية وبشكل دقيق، حيث إن أغلب الباحثين إشتروا تحضير الأغشية بدرجة حرارة أساس معينة [٥٢، ٥٤، ٥٦، ٥٨، ٦٦ و ٧٢] وبمعدل ترسيب ثابت. وإضافة لذلك فإن أغلب الباحثين قاموا بدراسة الخصائص البصرية والموصلية الضوئية لهذه الأغشية .

١-٨ هدف الدراسة:

تهدف الدراسة إلى تحضير أغشية رقيقة من عناصر المجموعتين II و VI بظروف تحضير مختلفة، حيث تم تحضيرها بثلاث درجات حرارة أساس هي (٣٠٠، ٣٢٣ و ٣٧٣) K وبثلاث معدلات ترسيب هي (٠.٣، ٠.٥ و ٠.٧) $\frac{nm}{sec}$ ، وبثلاث نسب تحضير هي (x=٠.١، ٠.٢ و ٠.٣)، وبسمك (٣٥٠ ± ٢٠) nm. ودراسة تأثير عوامل التحضير هذه على الخصائص التركيبية والكهربائية للأغشية، حيث شملت الخصائص التركيبية قياسات XRD والخصائص الكهربائية شملت دراسة التوصيلية الكهربائية المستمرة، تأثير هول والقدرة الكهروحرارية. كما وتهدف الدراسة إلى تحضير متسعة (Al-CdSe_{١-x}Te_x) ودراسة التوصيلية الكهربائية المتناوبة للتعرف على إمكانية صنع متسعات من هذه المركبات والتعرف على مدى الترددات الذي تعمل به هذه المركبات.

الفصل الثاني

الجزء العملي

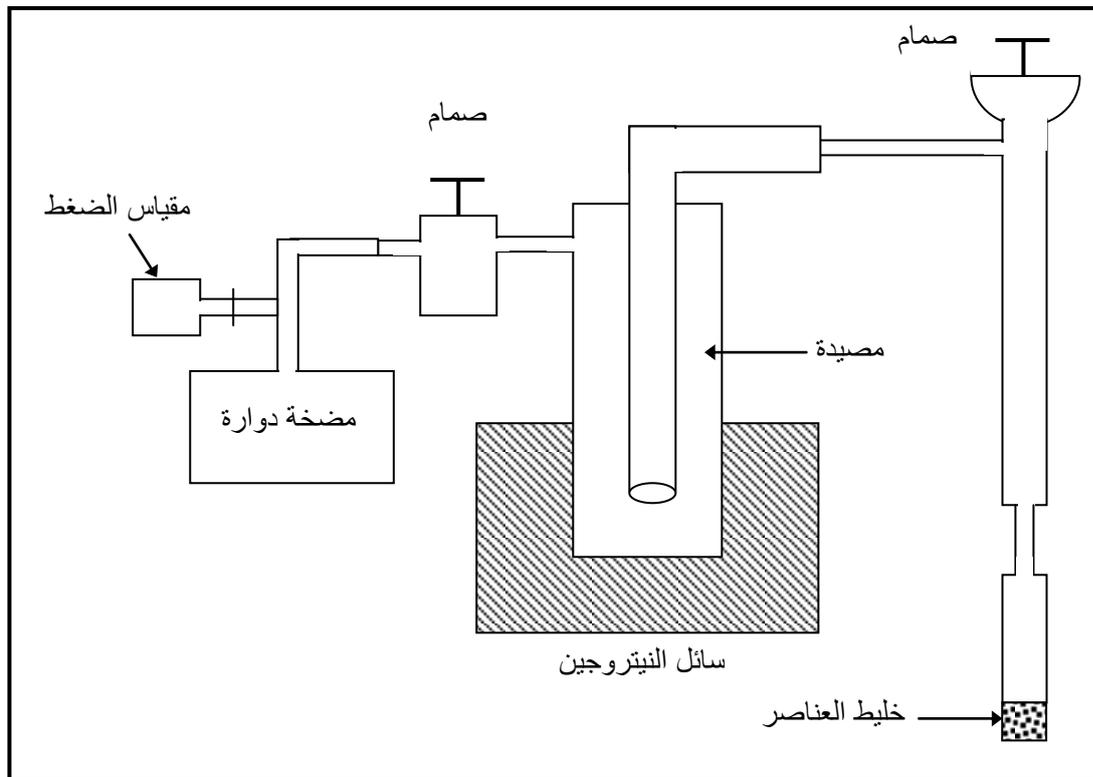
١-٢ تحضير سبيكة (CdSe_{1-x}Te_x)

تم تحضير سبيكة (CdSe_{1-x}Te_x) بمزج نسب ذرية معينة من العناصر Cd، Se و Te وبالأوزان الذرية ١١٢.٤٠، ٧٨.٩٦ و ٦٠.١٢٧. على التوالي، ذات النقاوة العالية (٩٩.٩٩٩٪) والمجهزة من شركة (Balzer) وبموجب قيم (x) حيث ان (x = ٠.١، ٠.٢ و ٠.٣) وقد تم تحديد وزن نسبة كل عنصر بالسبيكة بإستعمال المعادلة (١-٢) والتي يمكن بواسطتها تحديد وزن السبيكة الكلي.

وزن السبيكة الكلي = (نسبة العنصر الأول بالسبيكة × وزنه الذري) + (نسبة العنصر الثاني بالسبيكة × وزنه الذري) + (نسبة العنصر الثالث بالسبيكة × وزنه الذري).
... (١-٢)

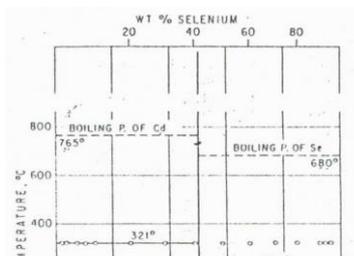
ومن الجدير بالذكر أن هذه المعادلة تستخدم وحسب عدد العناصر الداخلة في تحضير السبيكة، وغالباً ما تكون الأرقام الناتجة كبيرة نسبياً فيجب تصغيرها (حتى نحضر سبيكة بوزن مناسب) فلتصغير الأوزان الناتجة يقسم طرفي المعادلة على رقم مشترك. وبعد ذلك يتم تحديد وزن نسبة كل عنصر بواسطة ميزان حساس من نوع (Mettler H٣٥ AR) حساسيته (١٠^{-٤} gm) وسعته (١٦٠ gm). ثم وضعت هذه الأوزان للعناصر الثلاث في إنبوبة كوارتز بطول (٧ cm) وذات درجة تحمل حرارية تصل الى (K ١٨٧٣) وقد تم إستخدام الإنبوبة بعد غسلها بالماء ومسحوق الغسيل ثم بالماء المقطر والكحول النقي ووضعها في فرن بدرجة حرارة (K ٣٧٣) ولمدة نصف ساعة للتأكد من خلوها من الشوائب. ثم تفرغ من الهواء الى حوالي (١٠^{-٢} mbar) بواسطة مضخة ميكانيكية (Rotary pump) لمنع تأكسد المركب داخل الإنبوبة أثناء عملية التسخين التي تجري عليها لاحقاً، وتقفل الإنبوبة بواسطة مشعل يدوي من غازي الاستيلين (C_٢H_٢) والأوكسجين (O_٢)

لقطع ولحم الإنبوبة في آن واحد مع الإنتباه الى عدم دخول الهواء الى الإنبوبة أثناء القطع واللحام. وهذا موضح بالشكل (١-١-٢).



شكل (١-١-٢): جهاز بسيط لتحضير السبائك

من المعلوم أن درجة إنصهار العناصر Cd، Se و Te هي ٧٢٣ K، ٧١٠ K و ٨٢٣ K على التوالي ولصهر خليط هذه المكونات وضعت الإنبوبة في فرن بدرجة (٨٢٣ K) ولمدة أربع ساعات، بعدها تم رفع درجة الحرارة الى (١٠٢٣ K) ولمدة ثلاث ساعات وأخيراً تم رفع درجة الحرارة الى (١٢٢٣ K) ولمدة ثلاث ساعات أيضاً، (إن هذا الإسلوب في تحضير المركب لم يستخدم من قبل على حد علمنا وفق المنشورات المتاحة)، بعدها تم إخماد الخليط بالماء البارد (Quenching). وبعد ذلك تم قطع أحد طرفي الإنبوبة لإخراج المركب الناتج، ولضمان تجانس المركب تم طحنه جيداً بواسطة مطرقة وإناء خزفي مختبري أعد لهذا الغرض (ويكون منظف سابقاً)، ثم يتم حفظه في إنبوبة سبق تنظيفها بالماء المقطر والكحول النقي وتجفيفها جيداً لكي يكون المركب جاهزاً للفحص بواسطة جهاز الأشعة السينية ومن ثم إستعماله للتبخير. ومن الجدير بالذكر أنه خلال عملية الصهر من المهم جداً تحريك الإنبوبة الحاوية على المركب وهي داخل الفرن وبحذر شديد لضمان التجانس والخلط الجيد لمكونات المركب، ويتم ذلك وفق فترات زمنية متساوية.



شكل (٢-١-٢): المخطط الطوري لسبيكة CdSe

٢-٢ تحضير الأغشية الرقيقة

هناك عدة خطوات يجب إنجازها قبل تحضير الأغشية الرقيقة.

١-٢-٢ تهيئة الأرضيات

تم استخدام زجاج الصودا كأرضيات بأشكال مستطيلة وبأبعاد (٧.٦٢×٢.٥٤) cm^٢ وبسمك (٠.١٢) cm، وقد استخدمت هذه الأرضيات لكافة القياسات التركيبية والكهربائية. ومن الضروري تنظيف الأرضيات قبل استعمالها وقد أجريت عملية التنظيف كما يلي:

١- تغسل الأرضيات الزجاجية بالماء ومسحوق الغسيل وتوضع تحت الماء الجاري لمدة (١٥) دقيقة للتخلص من الأوساخ العالقة بها ان وجدت.

٢- تغسل الأرضيات الزجاجية بالماء المقطر جيداً ثم توضع في حاوية زجاجية وتغمر بالماء المقطر ثم توضع في جهاز حمام الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Bath) ولمدة (١٥) دقيقة.

٣- تستخرج الأرضيات الزجاجية من الماء المقطر وتغسل بالكحول أثيلي (C_٢H_٥OH) ذو نقاوة عالية ثم توضع في الحاوية الزجاجية مرة أخرى وتغمر بالكحول وتوضع الحاوية في جهاز حمام الموجات فوق الصوتية لمدة (٣٠) دقيقة لإزالة أي شوائب زيتية عالقة.

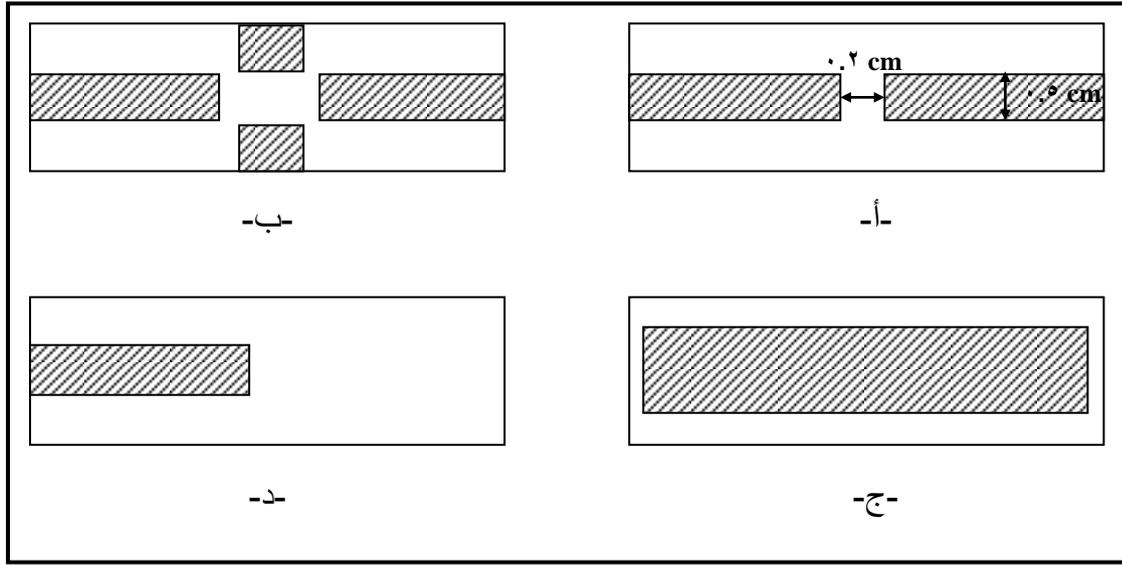
٤- تستخرج الأرضيات الزجاجية من الكحول وتجفف جيداً بالهواء الساخن الصادر من مجفف هواء (Blower) مع استعمال ورق تنظيف خاص أو قطعة قماش ناعمة لتكون جاهزة للإستعمال.

٢-٢-٢ تهيئة الأقمشة

تم تقطيع رقائق من الألمنيوم مساحتها بمساحة الأرضيات الزجاجية وبسمك (٠.٠٥) cm، وقد حفرنا بداخلها فتحات حسب شكل الغشاء المطلوب والأقطاب المطلوبة

وهي موضحة بالشكل (٢-٢) وبذلك أصبحت هذه الرقائق الأتعة المراد إستعمالها لترسيب الأقطاب والأغشية وتم تنظيف هذه الرقائق كما يلي:

- ١- تصقل الأتعة بورق الصقل الناعم.
- ٢- تغسل بالماء ومسحوق الغسيل.
- ٣- تغسل بالماء المقطر وتوضع في جهاز الموجات فوق الصوتية.
- ٤- تغمر بالكحول وتوضع في جهاز الموجات فوق الصوتية.
- ٥- تجفف بالفرن بدرجة حرارة (٣٧٣ K) ولمدة نصف ساعة.



شكل (٢-٢) أنواع الأتعة المستخدمة

- أ- القناع المستخدم لترسيب اقطاب الألمنيوم الخاصة بقياس التوصيلية الكهربائية المستمرة والقدرة الكهروحرارية.
- ب- القناع المستخدم لترسيب اقطاب الألمنيوم الخاصة بقياس تأثير هول.
- ج- القناع المستخدم لترسيب غشاء $(CdSe_{1-x}Te_x)$.
- د- القناع المستخدم لترسيب اقطاب الألمنيوم الخاصة بقياس التوصيلية الكهربائية المتناوبة.

٣-٢ تقنية التبخير الحراري في الفراغ

(Thermal Vacuum Evaporation Technique)

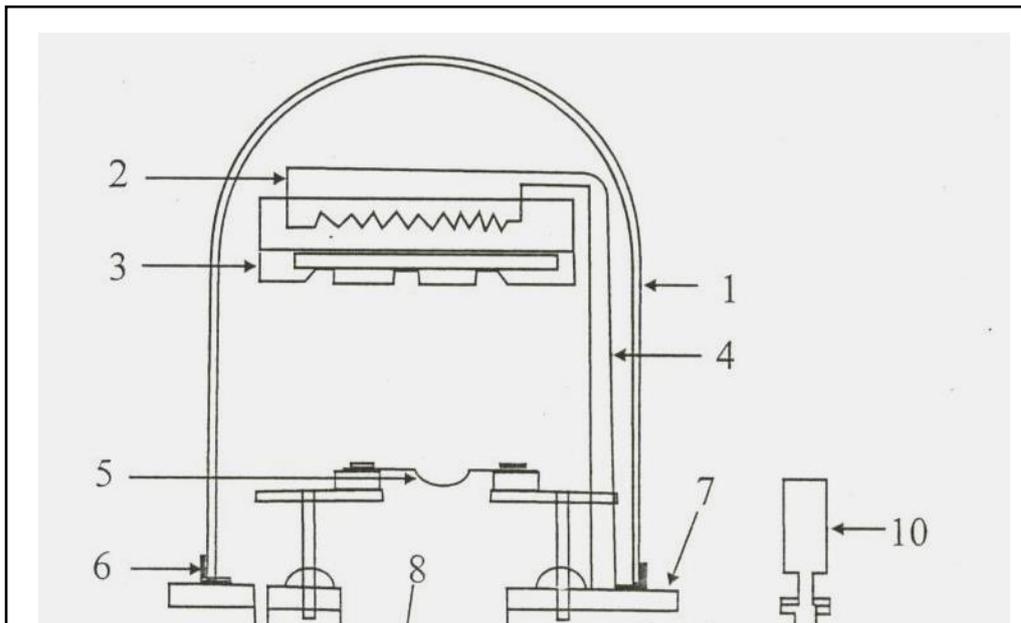
تعد عملية التبخير الحراري لتحضير الأغشية الرقيقة من الطرق الشائعة وذلك لسهولة إجرائها وإقتصاديتها وكفاءتها العالية. وتتطلب هذه العملية الحصول على حيز ذي فراغ عال بحدود (10^{-6} mbar) لتجنب حدوث أي تلوث أو أكسدة للغشاء ولكي يكون معدل المسار الحر

(Mean free path) لذرات الغازات المتبقية داخل الفراغ طويلاً مما يقلل من احتمالية تصادمها مع ذرات المادة المتبخرة وهذا يعطي غشاءً متجانساً ذا عيوب تصنيعية قليلة.

٣-٤ منظومة الترسيب (Coating Unit System)

يوضح الشكل (٣-٢) مخططاً لمنظومة الترسيب (Edward ٣٠٦) المجهزة من شركة (Edward) والتي إستخدمناها في تحضير الأغشية وأقطاب التوصيل، والتي تتكون من الأجزاء التالية:

١- حاوية الفراغ: وتسمى حجرة الترسيب (Vacuum chamber) وهي عبارة عن ناقوس زجاجي مزود بحلقتين مطاطيتين [Viton (L) gaskets] تفصلان بين الزجاجية وبين جدار من الفولاذ (Stainless Steel Wall) من الأعلى والأسفل. يشكل قرص من الفولاذ قمة حاوية الفراغ ويضم توصيلات لتغذية مسخن كهربائي (Heater) ويقع تحت حاوية الفراغ الزجاجية قاعدة فولاذية يخترقها عدد من التوصيلات الكهربائية ومنافذ للتفريغ وكسر الفراغ وترتبط هذه التوصيلات الكهربائية بطرفي حويض التبخير. وقد أستعملت مسافة (١٥) cm بين مصدر التبخير (الحويض) وحامل الأرضيات وذلك لتقليل التأثير الحراري المتولد من الاشعاع الحراري لمصدر التبخير [٤٧] وبذلك نحصل على سمك منتظم للغشاء أي يكون متجانساً. وتحتوي حاوية الفراغ على:



شكل (٣-٢): مخطط لمكونات جهاز التفريغ [٧٣].

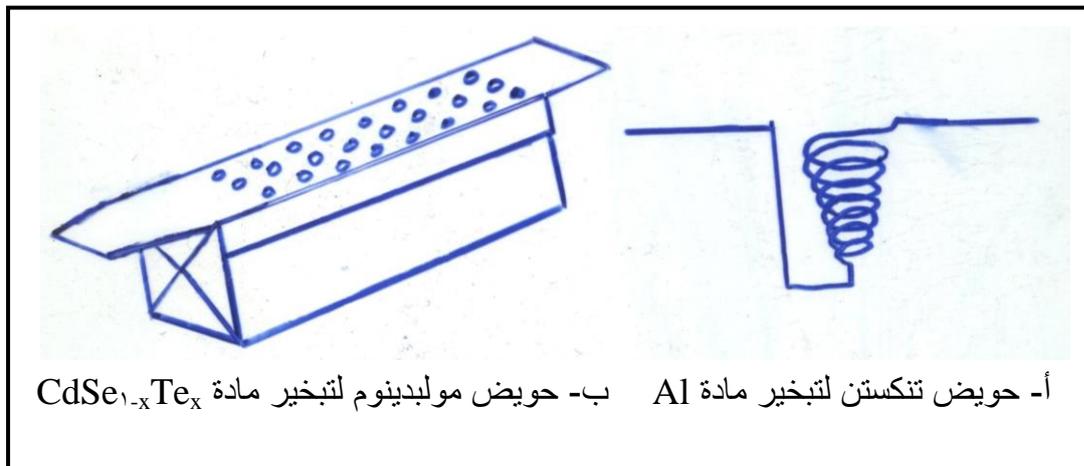
- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| (١) حاوية الفراغ. | (٨) صمام عزل. |
| (٢) مسخن. | (٩) مقياس Penning. |
| (٣) حامل الأرضيات والأرضيات. | (١٠) مقياس Pirani. |
| (٤) حامل المسخن. | (١١) صمامين. |
| (٥) مصدر التبخير. | (١٢) صمام دخول الهواء. |
| (٦) حلقة مطاطية بشكل حرف (L). | (١٣) المضخة الميكانيكية. |
| (٧) قاعدة فولاذية. | (١٤) المضخة الانتشارية. |

أ- مصدر تبخير حراري ذو قدرة (١٥٠٠) واط يعمل على تبخير المادة وذلك بإمرار تيار كهربائي مستمر عبر حويض التسخين.

ب- حويض التسخين: وهو مادة تصنع بأشكال مختلفة حيث إن لنوع وشكل الحويض الهندسي أهمية كبيرة في عملية التبخير بسبب إعماده على نوعية المادة المراد تبخيرها ودرجة غليانها وطبيعتها فيما إذا كانت منصهرة أو متطايرة، ويجب الإنتباه الى درجة إنصهار المادة المراد تبخيرها والحويض بحيث تكون درجة إنصهار الحويض أعلى من درجة إنصهار المادة ولا يتفاعل كيميائيا مع المادة. ولذلك يستخدم حويض بدرجة إنصهار عالية جداً. إن الحويض الذي أستخدم لتبخير المادة ($CdSe_{1-x}Te_x$) مصنوع من مادة المولبدنيوم (Mo) ومزود بغطاء مثقب من نفس المادة لمنع تطاير المادة خلال عملية الترسيب

وخصوصاً للتبخير بمعدلات الترسيب العالية، وقد تم اختيار هذا الحويض لعدم تفاعله مع المادة ولأن درجة إنصهاره عالية حوالي (K ٢٨٩٠) [٨]. أما الحويض المستخدم لترسيب اقطاب الألمنيوم فهو عبارة عن خويط من التنكستن (W) ملفوف بشكل حلزوني والذي يمكن تصنيعه يدوياً باستخدام أسلاك من التنكستن.

ويتم إجراء عملية تنظيف للحويض دائماً ويفضل بعد كل عملية ترسيب وذلك بوضعه داخل منظومة الفراغ وتسليط تيار كاف ولفترة زمنية معينة لتأمين نظافته من المواد المتخلفة من عملية الترسيب السابقة وذلك لضمان تقليل معدل التلوث، والشكل (٢-٤) يوضح نوعي حويضي التبخير المستخدمة.



شكل (٢-٤) نوعي حويضي التسخين المستخدمة في التبخير

٢- وحدات التفريغ والسيطرة على الضغط: وتشمل:

أ- مضخة ميكانيكية (Rotary Pump (RP).

ب- مضخة إنتشارية (Diffusion Pump (DP).

٣- متحسسات لقياس مقدار الضغط داخل حجرة الترسيب:

ويتم الوصول للفراغ العالي ($10^{-6} \times \text{mbar}$) بمرحلتين الأولى باستخدام المضخة

الميكانيكية الدوارة حيث يتم في هذه المرحلة سحب الغازات من حيز التفريغ للحصول على

فراغ بحدود (10^{-2} mbar) والذي يتم قياسه بمقياس الضغط (Pirani) مرتبط بمنظومة

التفريغ، ثم تبدأ المرحلة الثانية حيث يتم التفريغ بواسطة مضخة إنتشار الزيت حيث يصل

الفراغ بحدود (10^{-6} mbar) داخل حجرة الترسيب وتقاس بواسطة مقياس الضغط (Penning).

٤- مجموعة من الصمامات: وتستخدم للسيطرة على مداخل حجرة الترسيب.

ومن الواجب الإشارة الى أهمية التنظيف الكامل للجهاز قبل التبخير وإزالة جميع متعلقات الترسيب السابق وخصوصاً على الناكوس (Bell. Jar) لأن أي شائبة أو مادة غريبة يكون لها تأثير على إمكانية الحصول على فراغ عال ولهذا فقد أجريت عمليات التنظيف لحجرة الفراغ (Chamber) ومحتوياتها باستخدام ورق الصقل الناعم جداً ثم ماء، ماء مقطر وكحول عالي النقاوة (Pure ethanol).

٣-٥ تحضير أقطاب التوصيل

لدراسة الخواص الكهربائية للأغشية تم ترسيب أقطاب للتوصيل من الألمنيوم النقي (٩٩.٩٩٪) في فراغ عال بحدود (10^{-6} mbar) وتتم عملية الترسيب بإمرار تيار كهربائي عال خلال سلك التنكستن والذي يمثل الحويض فينصهر الألمنيوم تدريجياً ثم يتبخر ويترسب على الأرضية الزجاجية.

٣-٦ ترسيب الأغشية الرقيقة ($CdSe_{1-x}Te_x$)

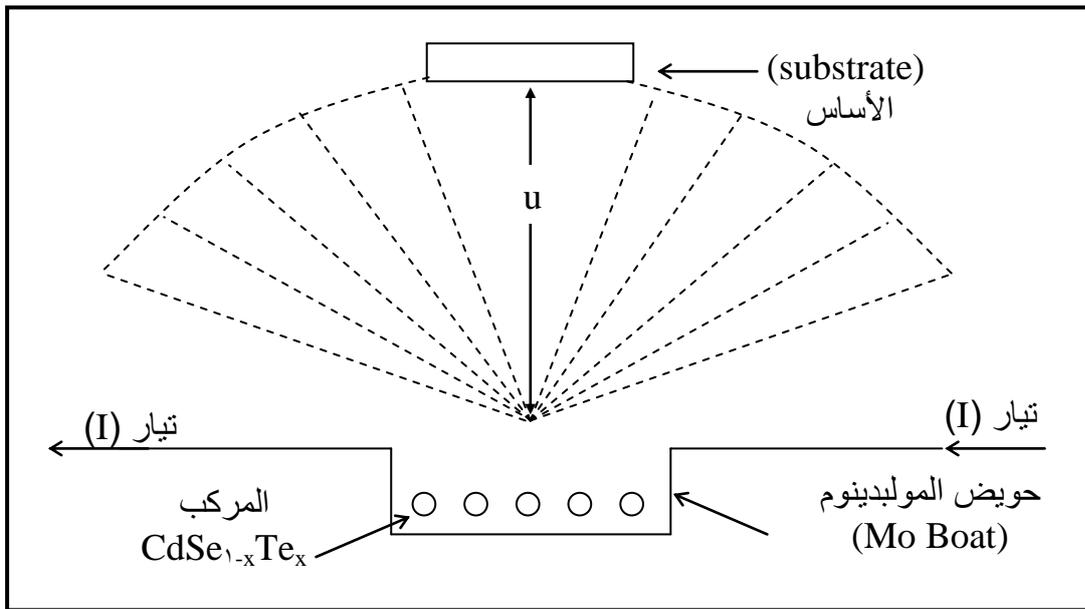
(Films Deposition)

لترسيب أغشية ($CdSe_{1-x}Te_x$) يؤخذ وزن مناسب من هذا المركب (والذي تم تحضيره سابقاً) مع إضافة نسبة خطأ بمقدار (٢٠٪)، وحسب قيمة (x) ويوزن في الميزان الحساس والذي تصل حساسيته الى (10^{-4} gm) للحصول على أغشية بسماك (20 ± 350) nm، ومحضرة بمعدلات ترسيب مختلفة ودرجات حرارة أساس مختلفة.

توضع المادة داخل الحويض المصنوع من المولبدينوم (Mo) وتثبت الأرضيات الزجاجية بعد أن تم تنظيفها في حامل الأرضيات وبعد ذلك يوضع مجس المزدوج الحراري نوع (Chromel-Alumel Thermocouples) بتماس مع الأرضيات لغرض معرفة درجة

حرارة الأساس، وبعد ذلك يوضع الناقوس الزجاجي ويغلق بإحكام تلاشياً لدخول الهواء لحرارة التفرغ، وبعد وصول مرحلة الفراغ العالي الى ما يقارب (6×10^{-6} mbar) نبدأ بعملية الترسيب وذلك بتسليط تيار عال في الأقطاب المتصلة بالحويض ونزيد التيار المار خلال الحويض ببطء حتى يبدأ بالتوهج أو الإحمرار، ثم نثبت التيار وحسب معدل الترسيب المطلوب، فبعدها يبدأ التوهج بالزيادة الى أن يبلغ درجة عالية من الإشراق والشدة العالية، وعند وصول المادة الى درجة الإنصهار فإنها سوف تتبخر حيث يتم طلاء الأرضيات بالمادة ويزداد سمكها بالتدريج.

بعد إنتهاء عملية الترسيب تترك المنظومة تحت ضغط منخفض لمدة مناسبة لكي يتم التخلص من الحرارة التي سببتها عملية التبخير، ولتأمين عدم تفاعل مكونات الهواء مع النماذج. ثم يتم إخراج النماذج ووضعها في صحن مجففة ومفرغة من الهواء (Petri dishes) للحفاظ عليها من الظروف الخارجية كالحرارة والرطوبة ليتم فحصها. والشكل (٢-٥) يوضح عملية تبخير وترسيب المركب.



شكل (٢-٥): عملية تبخير وترسيب المركب من حويض المولبدينوم وترسيبه على القاعدة الزجاجية التي تبعد عنه بمسافة مقدارها (u).

٧-٢ القياسات

(Measurements)

بعد الإنتهاء من تحضير أغشية (CdSe_{1-x}Te_x)، أجريت عليها القياسات التالية:

١-٧-٢ القياسات التركيبية (Structural

Measurements)

تم إجراء القياسات التركيبية بواسطة جهاز حيود الأشعة السينية (Philips X-ray Diffractometer) حيث تعتبر تقنية (XRD) تقنية قياسية للحصول على المعلومات التركيبية للأغشية الرقيقة من حيث كونها أحادية التبلور، متعددة التبلور، عشوائية بالإضافة الى التعرف على حجم الحبيبات البلورية وثوابت الشبكة. وكانت مواصفات الجهاز المستعمل هي:

نوع الهدف (Cu X-ray tube K α)، طول موجة الأشعة السينية (0.1541 nm)،

وبمعدل (200 $\frac{\text{counts}}{\text{sec}}$) وبفولتية مقدارها (40 kV) والتيار (I=20 mA) ومدى الزوايا ($\theta = 20^\circ - 70^\circ$).

ولقد تم تحديد نوع المادة ومواقع القمم في نمط الحيود والتي تظهر نتيجة إنعكاس الأشعة السينية الساقطة على سطح الغشاء عن السطوح البلورية المتوازية والتي يحصل عندها تداخل بناء لموجات الأشعة السينية المنعكسة، وحسب قانون براك (Bragg's law).

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

حيث:

n: عدد صحيح (1, 2, 3, ...).

d: المسافة العمودية بين سطحين متعاقبين.

λ : الطول الموجي للأشعة الساقطة.

θ : زاوية سقوط أو إنعكاس الأشعة الساقطة.

ومن معرفة قيمة (d)، نستطيع معرفة معاملات ميلر (hkl) من بطاقات التركيب البلوري للمادة.

كما تم حساب ثابت الشبكة (a) للنظام المكعبي من المعادلة [٧٤]:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad \dots(٣-٢)$$

وبمساعدة برنامج حسابي خاص لمعرفة نسبة الخطأ. وتم كذلك حساب حجم الحبيبات البلورية (Grains size) لكل قمة من قمم براك لجميع الأغشية بإستعمال معادلة شيرر (Scherrer formula) [٧٥]:

$$G = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta_B} \quad \dots(٤-٢)$$

حيث:

G: حجم الحبيبة.

B: عرض منتصف القمة (Half width at half maximum).

λ : الطول الموجي للأشعة السينية المستخدمة ($\lambda = 0.15418 \text{ nm}$).

θ_B : زاوية الحيود.

٣-٧-٢ قياس سمك الغشاء (Film Thickness Measurement)

يعد سمك الغشاء الرقيق من العوامل المهمة في تحديد الخواص الكهربائية والضوئية للغشاء والتي بدورها تكون مهمة في الصناعات الحديثة للأجهزة الكهربائية والضوئية، لذلك فقد تم إعتقاد طريقتين لقياس سمك الأغشية الرقيقة ($\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$). تعد الطريقة الأولى تقريبية (الطريقة الوزنية) وتكون خلال مرحلة تحضير الغشاء، والطريقة الثانية هي الأكثر دقة (طريقة التداخل الضوئي) وتكون بعد مرحلة تحضير الغشاء. وفي ما يلي شرح تفصيلي للطريقتين المستخدمتين:

١- الطريقة الوزنية (Weight Method) [٧٦، ٩]

يتم تحديد سمك الغشاء بهذه الطريقة قبل عملية التبخير، حيث إن كتلة الغشاء تكون محسوبة من خلال وزن المادة المراد ترسيبها، وحسب العلاقة:

$$t = \frac{m}{2\pi D u^2} \dots (٥-٢)$$

حيث

t: سمك الغشاء (cm).

m: كتلة المادة (gm).

D: كثافة المادة ($\frac{gm}{cm^3}$).

u: المسافة بين الحويض والأساس (cm).

ومن الجدير بالذكر إن الأخطاء الناتجة في حساب سمك الغشاء الرقيق بهذه الطريقة يمكن أن تعزى للأسباب التالية:

أ- إعتبار كثافة الغشاء مساوية لكثافة المادة بصورتها الحجمية.

ب- ضياع جزء من المادة أثناء الترسيب بالتطاير أو بالترسب على الجدار الداخلي للناقوس الزجاجي لمنظومة الترسيب أو على أجزاء المنظومة الأخرى، لذا يفضل وضع نسبة خطأ في وزن المادة مقدارها (٠.٢ gm) تقريباً لضمان الحصول على السمك المطلوب، وتقدر دقة القياس بهذه الطريقة (٠.١ nm) [٧٦].

٢- طريقة التداخل الضوئي (Optical Interference Method)

يعد (Wiener) أول من إستخدم طريقة التداخل الضوئي في قياس سمك الأغشية الرقيقة وطورت بعد ذلك من قبل (Tolansky)، لذلك سميت بـ(تقنية تولانسكي) (Tolansky Technique) [٩].

إن هذه الطريقة من الطرق الدقيقة جداً في قياس سمك الأغشية الرقيقة. ولقياس السمك بهذه الطريقة نتبع الخطوات التالية [٨، ٩].

أ- يرسب الغشاء على الأرضية الزجاجية وبحافات حادة أو يحرز الغشاء.

ب- ترسب طبقة من الألمنيوم (Al) وبسمك (٢٥٠ nm) على الأرضية الزجاجية.

ج- ترسب طبقة من الألمنيوم (Al) نصف شفافة على أرضية زجاجية أخرى تسمح بمرور الضوء تسمى الصفيحة الضوئية (Optical Plate).

د- يتم مطابقة الصفيحتين مع بعضهما بحيث تكون الفجوة الهوائية بينهما أقل ما يمكن وتثبت على قاعدة مقابلة لعدسة المجهر المتحرك (الميكروسكوب).

هـ- يسلط ضوء أحادي الطول الموجي كضوء الصوديوم (ذو الطول الموجي ٥٨٩.٣ nm) بصورة عمودية على الغشاء المحضر كما مبين في الشكل (٦-٢)، فتتولد أهداب التداخل التي يطلق عليها أهداب فيزو (Fizeu-Fringes) نتيجة لتقارب سطحين عاكسين وذلك بسبب إنعكاس شعاع ضوئي عنهما، وبسبب وجود الحافات الحادة نحصل على إزاحة للأهداب نتيجة لتغير طول مسار الضوء المنعكس عن الحافات.

وتقاس المسافة بين هديبين متتاليين (X) والإزاحة للهدب الواحد (ΔX) ولعدة مرات ثم نأخذ المعدل لها وبذلك نحسب سمك الغشاء بدقة وبتطبيق المعادلة

$$t = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\Delta X}{X} \quad \dots(٦-٢)$$

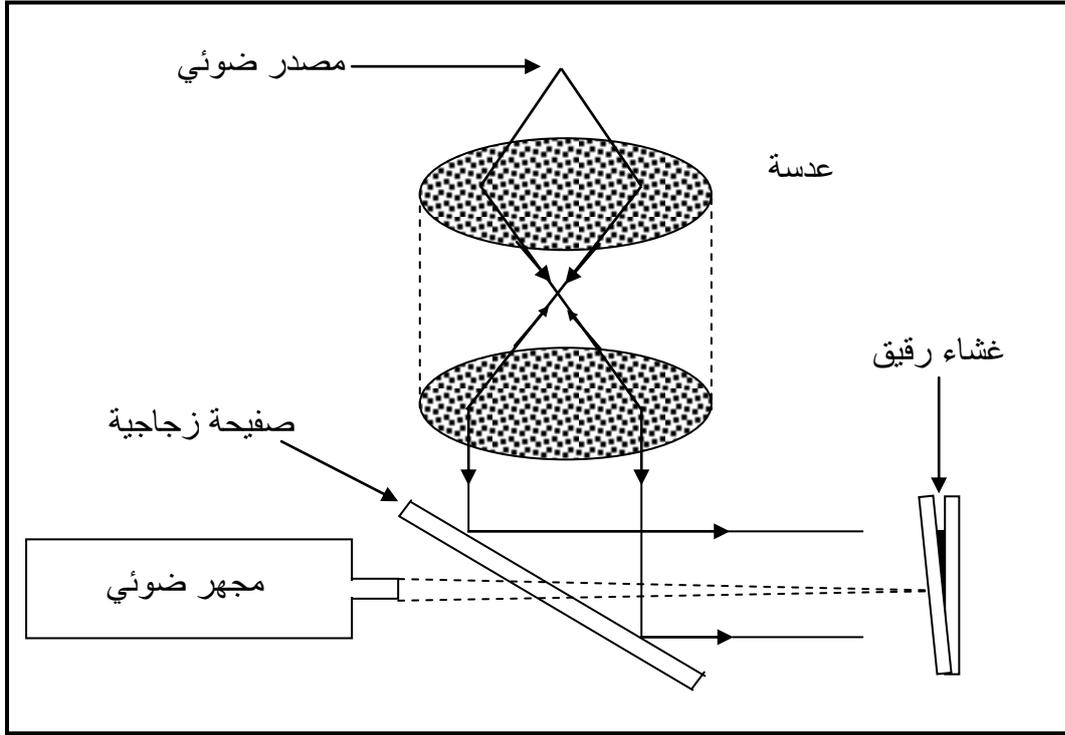
حيث:

X: المسافة بين هديبين متتاليين.

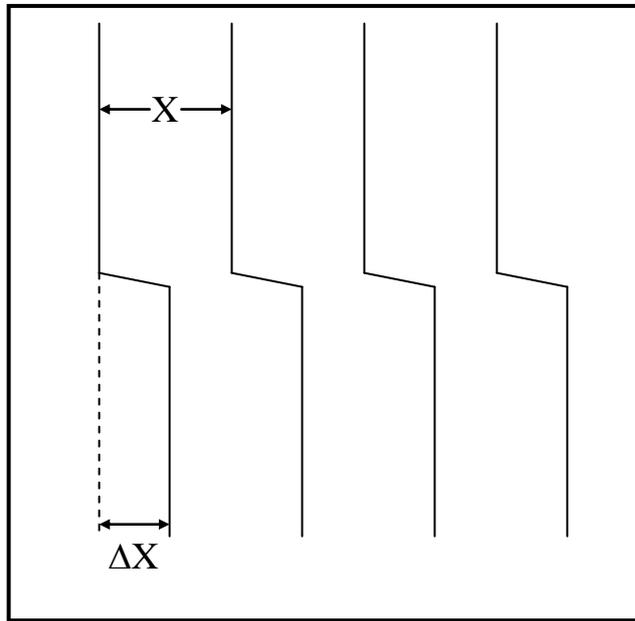
ΔX : عرض الهدب (إزاحة الهدب).

λ : طول موجة ضوء الصوديوم.

ومن الجدير بالذكر ان دقة هذه الطريقة في تحديد السمك هي ($\pm 10\%$).



(أ)



(ب)

شكل (٦-٢)

(أ): مخطط إيجاد سمك الغشاء بواسطة تجربة التداخل الضوئي.

(ب): مخطط أهداب التداخل.

٣-٧-٢ القياسات الكهربائية (Electrical)

Measurements)

تضمنت القياسات الكهربائية التوصيلية الكهربائية المستمرة وقياسات تأثير هول والقدرة الكهروحرارية لأغشية ($\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$) المحضرة بنسب ($x = 0.1, 0.2, 0.3$) وبمعدل ترسيب ($0.3 \frac{\text{nm}}{\text{sec}}$) ودرجة حرارة أساس ($T_s = 300, 323, 373$) K، ولتلك

المحضرة بدرجة حرارة المختبر (300 K) وبمعدلات ترسيب ($0.3, 0.5, 0.7$) $\frac{\text{nm}}{\text{sec}}$.

وكذلك تم دراسة التوصيلية الكهربائية المتناوبة للمتسعة ($\text{Al-CdSe}_{1-x}\text{Te}_x\text{-Al}$) حيث

($x = 0.1$) والمحضرة بدرجة حرارة أساس (323 K) وبمعدل ترسيب ($0.3 \frac{\text{nm}}{\text{sec}}$).

ومن الواجب الإشارة الى أنه في جميع القياسات الكهربائية تربط النماذج بالدوائر الكهربائية الخاصة لكل قياس باستخدام أسلاك نحاسية معزولة للتوصيل ويتم الربط باستخدام مادة الإنديوم عالية النقاوة (99.999%). حيث تحقق تلامساً أومياً مع الأقطاب.

وفي ما يلي شرح لكل فقرة:

أ- قياس التوصيلية الكهربائية المستمرة

(D.C. Electrical Conductivity Measurement)

تم دراسة التوصيلية الكهربائية المستمرة كدالة لدرجة الحرارة، وحساب طاقات التنشيط لأغشية ($\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$). وقد تم القياس باستخدام الدائرة الكهربائية الموضحة بالشكل (٧-٢)، حيث يتم قياس مقاومة الغشاء كدالة لدرجة الحرارة، ومن معرفة مقاومة الغشاء وأبعاده يمكن حساب المقاومة (ρ) باستخدام العلاقة:

$$\rho = \frac{R \times A}{L} \quad \dots(٧-٢)$$

حيث

L: المسافة بين القطبين (cm).

A: مساحة المقطع العرضي لحركة الشحنات (cm^2).

$$A = w.t \quad \dots(٨-٢)$$

حيث:

t: سمك الغشاء (cm).

w: عرض القطب (cm).

ومن حساب مقاومة الغشاء يمكن حساب التوصيلية الكهربائية المستمرة ($\sigma_{d.c.}$)

وحسب العلاقة:

$$\sigma_{d.c.} = \frac{1}{\rho} \quad \dots(9-2)$$

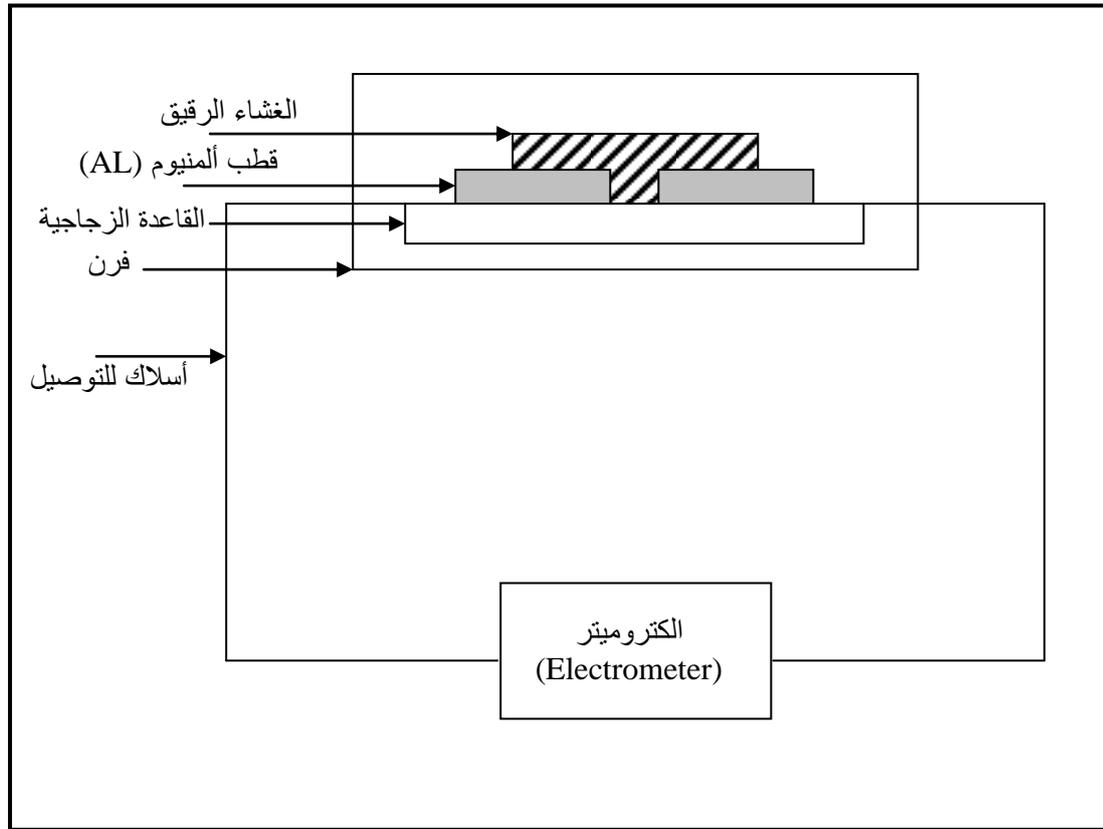
ويمكن ايجاد طاقة التنشيط للتوصيلية من حساب ميل العلاقة البيانية التي ترسم بين

 $(\ln \sigma_{d.c.})$ ومقلوب درجة الحرارة $(\frac{10^3}{T})$ مضروباً في ثابت بولتزمان (K_B) بوحدات

 (eV) ، وبالإعتماد على المعادلة (٦-١) والتي يطلق عليها اسم معادلة ستوك (Stuke). وقد

أجريت القياسات باستخدام جهاز الكروميتر حساس نوع

 $(Kiethly Digital Electrometer ٦١٦)$ وفرن كهربائي نوع (Memert) بمدى

 $(K ٥٢٣)$.


شكل (٧-٣): الدائرة الكهربائية المستخدمة لقياس التوصيلية الكهربائية المستمرة

(Hall Effect)

ب- تأثير هول لدرجة الحرارة.

أُستخدِمت الدائرة الموضحة بالشكل (٨-٢) لدراسة تأثير هول حيث يسلط مجال

مغناطيسي ثابت شدته $(\frac{wb}{m^2} 0.257)$ عمودي على الغشاء فيتولد فرق جهد هول (V_H)

عمودي على كل من إتجاه التيار الأصلي المار في الغشاء والمجال المغناطيسي.

تم حساب قيمة معامل هول (R_H) من المعادلة (١-١٢)، وكذلك حساب تركيز

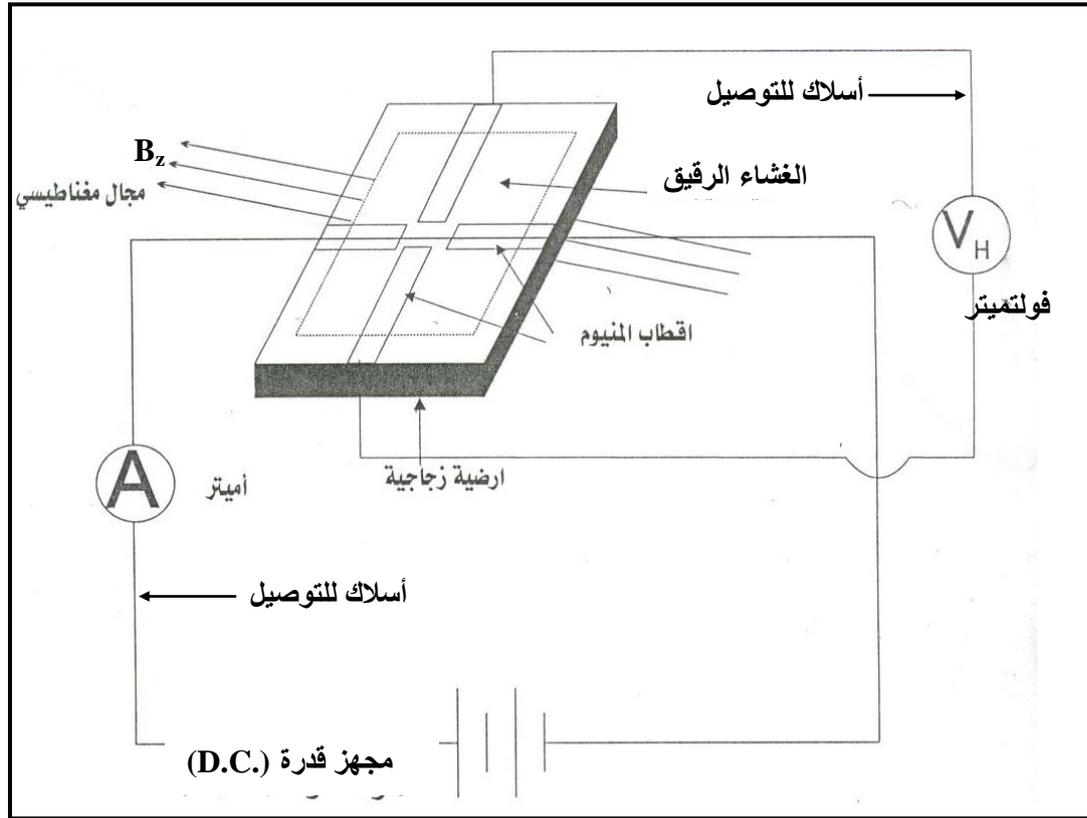
حوامل الشحنات بإستخدام المعادلة (١-١٣ أ). وكذلك حساب تحركية هول من المعادلة (١-١٤).

وقد أُستخدِمت الأجهزة الكهربائية التالية في القياسات:

أ- مجهز قدرة (D.C. Power Supply).

ب- جهاز الكتروميتر (Keithly Digital Electrometer ٦١٦) عدد (٢) لقياس جهد هول والتيار المار بالدائرة.

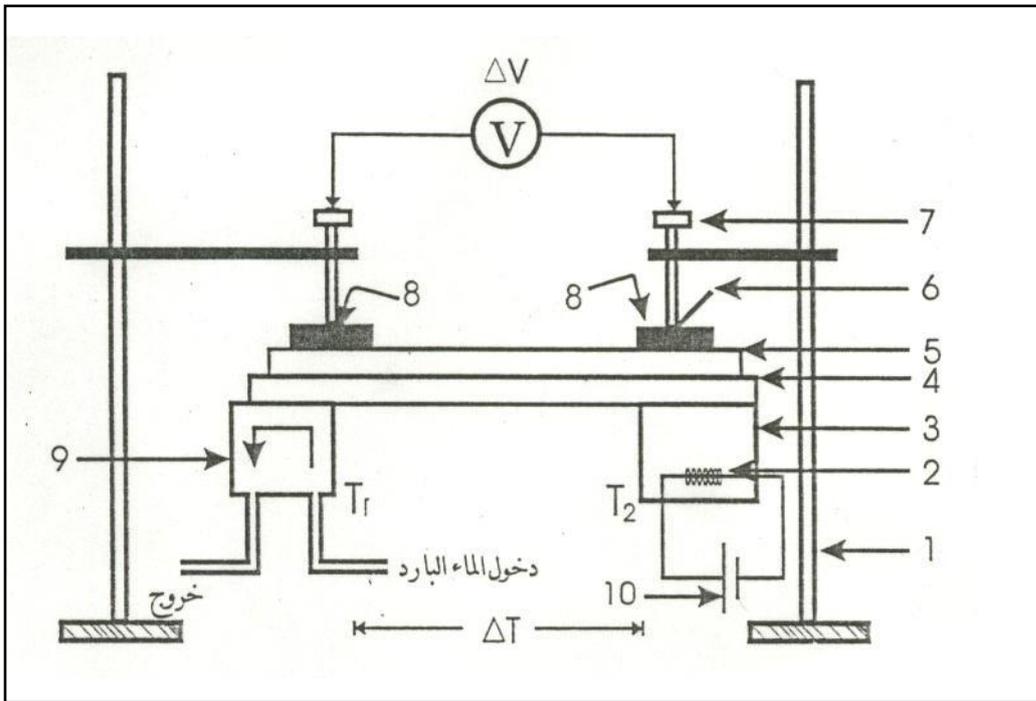
وقد تمت جميع القياسات عند درجة حرارة المختبر.



شكل (٨-٢): الدائرة الكهربائية المستخدمة لقياس تأثير هول.

ج- قياسات القدرة الكهروحرارية (Thermoelectric Power Measurements)

تم دراسة ظاهرة القدرة الكهروحرارية للتأكد من نوع حوامل الشحنات الأغلبية وميكانيكية التوصيل في أغشية ($CdSe_{1-x}Te_x$) والمحضرة بظروف تحضير مختلفة، ويكون الغشاء مرسباً على أقطاب ألنيوم كتلك المستخدمة لقياس التوصيلية الكهربائية المستمرة، ويتم ربط أقطاب الغشاء بالدائرة الكهربائية الموضحة بالشكل (٢-٩)، حيث يربط أحد طرفي الغشاء بمسخن حراري (Heater) يربط بدوره بمجهز قدرة من نوع (Phywe ٠٧٤٧٥ D.C.) فيما يربط الطرف الآخر للغشاء بدورة مياه باردة للحصول على إنحدار حراري على طول الغشاء. ويوضع مزدوج حراري نوع (Chromel-Alumel Thermocouples) كساق واحدة للنموذج.



شكل (٢-٩): الدائرة الكهربائية المستخدمة لقياس القدرة الكهروحرارية

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| ١- حامل | ٦- مزدوج حراري |
| ٢- مسخن | ٧- مسمار محوري |
| ٣- صفيحة من الألمنيوم | ٨- قطب غشاء الألمنيوم |
| ٤- الأرضية الزجاجية | ٩- ماء بارد جاري |
| ٥- غشاء رقيق | ١٠- مجهز قدرة للمسخن |

يتم تسجيل درجة حرارة الإنموذج وقيمة الفولتية المقابلة لها وترفع درجة حرارة المسخن بنسبة ثابتة ويعاد أخذ القيم وهكذا والى حد مناسب. ويمكن حساب معامل سيبيك (S) وحسب العلاقة:

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{V_2 - V_1}{T_2 - T_1} \quad \dots(10-2)$$

حيث:

ΔV : تمثل الفرق في الجهد بين نقطتين في شبه الموصل والنااتجة عن تغير درجة الحرارة بين هاتين النقطتين وتكون $T_2 > T_1$.
وبالنسبة لأشباه الموصلات نوع (n) تعطى القدرة الكهروحرارية بالعلاقة [٤١].

$$S = \frac{-K_B}{e} \left[\frac{-(E_C - E_F)}{K_B T} + A \right] \quad \dots(11-2)$$

حيث أن:

$$1 \sim A$$

ويمكن إيجاد طاقة تنشيط القدرة الكهروحرارية ($E_S = E_C - E_F$) من رسم العلاقة البيانية بين (S) ومقلوب درجة الحرارة، حيث أن ميل المنحني الناتج يمثل طاقة تنشيط القدرة الكهروحرارية.

د- قياسات التوصيلية الكهربائية المتناوية

(A.C. Electrical Conductivity Measurements)

بعد تحضير المتسعة (Al-Te، Al-CdSe) باستخدام الأفتعة الخاصة بهذا النوع من القياسات على أرضية زجاجية، يتم ربطها بالدائرة الكهربائية الموضحة بالشكل (١٠-٢) لغرض إجراء القياسات عليها. وتم إجراء القياسات باستخدام جهاز (Multifrequency LCR Meter-Hewlett Packard ٤٢٧٤٨)، إذ أخذت قياسات كل من السعة والمقاومة لمدى من الترددات ($10^2 - 10^5$ Hz) ولمدى الدرجات الحرارية (٣٠٨-٣٧٣) K حيث يتم وضع النموذج بفرن كهربائي نوع (Memert) ويتم تثبيت درجة الحرارة على قيمة معينة ثم يتم تغيير التردد للمدى المذكور أعلاه وتؤخذ قيم كل من السعة والمقاومة، وبعد ذلك ترفع درجة الحرارة وتعاد القياسات وهكذا لبقية درجات الحرارة.

أما الخصائص الكهربائية المتناوبة الأخرى كالتوصيلية ($\sigma_{a.c.}$)، ثابت العزل الكهربائي بجزئيه الحقيقي (ϵ_r) والخيالي (ϵ_i) وظل زاوية الفقدان فقد تم حسابها من خلال القيم المقاسة أعلاه وباستخدام العلاقات التالية:

$$\sigma_{a.c.} = \frac{t}{R.A} \quad \dots(12-2)$$

حيث:

t: سمك الغشاء.

R: مقاومة الغشاء.

A: المساحة الفعالة للمتسعة = $0.48 \text{ (cm}^2\text{)}$.

$$\epsilon_r = \frac{C.t}{\epsilon_0.A} \quad \dots(13-2)$$

C: سعة المتسعة.

ϵ_0 : ثابت العزل للفراغ = $8.854 \times 10^{-12} \text{ (Farad/m)}$.

$$\epsilon_i = \frac{t}{\omega \epsilon_0 R A} = \frac{\sigma_{a.c.}}{\omega \epsilon_0} \quad \dots(14-2)$$

ω : التردد الزاوي = $2\pi f$ (f: هو التردد بوحدة الهرتز).

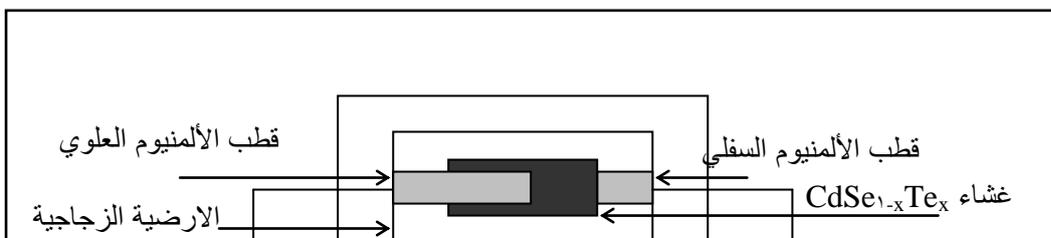
$$\tan \delta = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_r} = \frac{1}{\omega RC} \quad \dots(15-2)$$

كما تم حساب قيمة المعامل (N) من المعادلة (1-18)، حيث من خلال رسم العلاقة

البيانية بين ($\ln \sigma_{a.c.}$) و ($\ln \omega$) فإن ميل المنحني الناتج هو (N).

ومن الجدير بالذكر أن الفولتية المسلطة على النموذج خلال القياسات كان ثابتاً على

القيمة (0.08) volt.



**شكل (١٠-٣): الدائرة الكهربائية المستخدمة لقياس التوصيلية
الكهربائية المتناوبة.**

REFERENCES:

- ١- إس. إم. زي، "نبائط أشباه الموصلات فيزياء و تقنية"، ترجمة فهد غالب حياتي وحسين علي أحمد، جامعة الموصل، (١٩٩٠).
- ٢- C.S. Induikar and S. Thiruvengadam, "An Introduction to Electrical Engineering Materials", ٣rd edition, S. Chand and Company Ltd., Ram Nagar, New Delhi, Reprinted, (١٩٩٠).
- ٣- R.A. Smith, "Semiconductors", ٢nd edition, Cambridge University Press., (١٩٨٧).
- ٤- أم. أي. كرين، "الخلايا الشمسية"، ترجمة يوسف مولود حسن، (١٩٨٩).
- ٥- سهام عفيفي قندلا، "فيزياء الليزر"، جامعة بغداد، (١٩٨٨).
- ٦- ار. أي. كولك لايسر، "المواد والنبائط للمهندسين الكهربائيين و الفيزيائيين"، الطبعة الأولى، ترجمة رفعت رزق، مشاعل متي وريتة يعقوب، جامعة البصرة، (١٩٩٢).
- ٧- متي ناصر مقادسي، "علوم"، الدار العربية، ٣٦، ٤٦ (١٩٨٨).
- ٨- R.W. Berry and P.M. Hall, "Thin Film Technology", New York, (١٩٧٩).
- ٩- K.L. Chopra, "Thin Film Phenomena", McGraw Hill, New York, (١٩٦٩).
- ١٠- K.R. Rao, *Current science*, ٧٨ (١), ١٢ (٢٠٠٠).
- ١١- متي ناصر مقادسي، "علم المواد"، جامعة بغداد، (١٩٩٠).
- ١٢- صبحي سعيد الراوي، شاكر جابر شاكر و يوسف مولود حسن، "فيزياء الحالة الصلبة"، جامعة الموصل، (١٩٨٨).

١٣- B.G. Streetman, “*Solid State Electronic Devices*”, Prentice-Hall of India Private Ltd. New Delhi, (١٩٩٧).

١٤- ف. بيلي، "مبادئ هندسة المعادن و المواد"، ترجمة حسين باقر رحمة الله، جامعة الموصل، (١٩٨٧).

١٥-O. P. Roth and D. F. Williams, *J. Appl. Phys.*, ٥٩, ١١ (١٩٨١).

١٦- مؤيد جبرائيل يوسف، "فيزياء الحالة الصلبة"، الجزء الثاني، جامعة بغداد، (١٩٨٩).

١٧- L.L. Kazamerski, “*Polycrystalline and Amorphous Thin Films Devices*”, Academic Press, (١٩٨٠).

١٨- Y.W. Seto, *J. Appl. Phys.*, ٤٦ (١٢), ٥٢٤٧ (١٩٧٨).

١٩- G. Radnoczi, *Thin Solid Films*, ١١٦, ١١١ (١٩٨٤).

٢٠- G.I. Yepifanov and Yu. A. Moma, “*Introduction to Solid State Electronics*”, English translation, Mir. (١٩٨٤).

٢١- B.L. Theraja and A.K. Theraja, “*A TEXT-Book of Electrical Technology*”, Nirja construction and Development Co.(p) Ltd., Ram Nagar, New Delhi, (١٩٨٨).

٢٢- H.P. Sarma, V. Subramanian, N. Rangarajan and K. R. Murali, *Bull. Mater. Sci.*, ١٨ (٧), ٨٧٥ (١٩٩٥).

٢٣- P.K. Jha, S. Rath and S.P. Sanyal, *Indian Journal of Pure and Applied physics*, ٣٤, ٢٦٩ (١٩٩٦).

٢٤- S.L. Solymar and D. Walsh, “*Electrical properties of Materials*”, Oxford, New York, Tokyo, (١٩٩٨).

٢٥- B. Ray, “*II-VI Compounds*”, ١st edition, printed in Great Britain by Neill and Co. Ltd. of Edinburgh, (١٩٦٩).

- 26- N. Kh. Abriksov and V. F. bankina, “*Semiconducting II-VI, IV-VI and V-VI compound*” translated from Russian by A. Tybulewicz, plenum Press. New York, (1969).
- 27- R.K. Willardson, “*Semiconductors and semimetals*”, vol. 10, Academic Press. Inc., London, Ltd., (1970).
- 28- G.H. Gooch, “*Injection Electroluminescent Devices*”, John Wiley and Sons, Ltd., London, New York, (1973).
- 29- C. Kittel, “*Introduction to Solid State Physics*” 7th edition, John Wiley and Sons, Inc., (1986).
- 30- V. Snejdar and J. Jerhot, *Thin solid Films*, 37, 323 (1976).
- 31- P.S. Kireev, “*Semiconductor Physics*”, translated from Russian by M. Samokhvalov, Mir Publishers, Moscow, (1978).
- 32- R.L. Petritz, “*Physical Review*”, 104 (6), 1008 (1956).
- 33- J.W. Orton, B.J. Goldsmith, J.A. Chapman and M.J. Powell, J. “*Appl. Phys*”, 53 (3), 1602 (1982).
- 34- R.G. Mankarious, *Solid-State Electron.* 9, 702 (1964).
- 35- L.L. Kazmerski, M. S. Ayyagari and G. A. Sanborn, J. *Appl. Phys.*, 46, 4680 (1975).
- 36- L.L. Kazmerski, M.S. Ayyagari, F.R. White and G.A. Sanborn, J. *Vac. Sci. Technol.*, 13, 139 (1976).
- 37- L.L. Kazmerski and Y. J. Juang, J. *Vac. Sci. Technol.*, 14, 769 (1977).

- ٣٨- L.L. Kazmerski, F.R. White, M.S. Ayyagari, Y.J. Juang and R. P. Patterson, *J. Vac. Sci. Technol.* ١٤, ٦٥ (١٩٧٧).
- ٣٩- K.C. Kao and W. Hwang, "Electron Transport In Solids", Vol. ١٤ Pergamon Press. (١٩٨١).
- ٤٠- M. Shur, "Physics of Semiconductor Devices", Prentice-Hall of India Private Ltd., New Delhi, (١٩٩٥).
- ٤١- M.H. Brodsky, "Topics in Applied physics Amorphous Semiconductors", Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, ٣٦, ١٢٠ (١٩٧٩).
- ٤٢- M. Trakalo, C.J. Moore, J.D. Leslie and D.E. Brodie, *Rev. Sci. Instrum.*, ٥٥ (٥), ٧٥٤ (١٩٨٤).
- ٤٣- M. Rapos and M. Ruzinsky, *Thin Solid Films*, ٣٦, ١٠٣ (١٩٧٦).
- ٤٤- A.K. Jonsher, *J. Phys. C*, ٦, L ٢٣٥ (١٩٧٣).
- ٤٥- J. Tauc, "Amorphous and liquid Semiconductors", Plenum Publishing Company Ltd., London, (١٩٧٤).
- ٤٦- إحسان هادي عبيد الحساني، "دراسة الخواص البصرية و التوصيلية المتناوبة لزجاج (MgO-P₂O₅)"، رسالة ماجستير مقدمة الى جامعة بغداد، (١٩٩٢).
- ٤٧- T. H. Weng, *J. Electrochem. Soc.*, ١١٧ (٥), ٧٢٥ (١٩٧٠).
- ٤٨- M.I. Izakson, N. Ya. Karasik, L.M. Prokator and D.A. Sakseev, *Akad. Nauk SSSR Neorg. Mater.*, ١٥ (٢), ١٧٨ (١٩٧٩).
- ٤٩- V.A. Sanitarov, L.A. Aleksandrova and I.P. Kalinkin, *Thin Solid Films*, ٩٢, ٢٠٥ (١٩٨٢).

- 00- S. Uthanna and P.J.Reddy, *Solid State Communications*, 40 (11), 979
(1983).
- 01- I.B. Shevchenko, Yu. V. Nikol'skii, E.M. Smirnova, V.R.
Darashkevich, and Yu. E. Sutyrin, *Inorg. Mater.*, 10, 184
(1984).
- 02- I.B. Ermolovich, M. K. Sheinkman, V. A. Sanitarov, I. P. Kalinkin
and L. A. Aleksandrova, *Sov. Phys. Semicond.*, 17 (8),
923 (1983).
- 03- A.P. Belyaev, I.P. Kalinkin and V.A. Sanitarov, *Sov. Phys. Semicond.*
. 17 (7), 848 (1983).
- 04- A.P. Belyaev, I.P. Kalinkin and V.A. Sanitarov, *Sov. Phys.*
Semicond.. 18 (11), 1234 (1984).
- 05- W.L. Wallace, *IEEE*, 916 (1984).
- 06- M.A. Russak and C. Creter, *J. Electrochem. Soc.*, 131 (3), 506
(1984).
- 07- M.A. Russak and C. Creter, *J. Electrochem. Soc.*, 9, 180 (1980).
- 08- A.P. Belyaev, I.P. Kalinkin and V.A. Sanitarov, *Sov. Phys.*
Semicond., 19 (1), 90 (1980).
- 09- M.A. Russak, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 3 (2), 433 (1980).
- 10- A.P. Belyaev, I.P. Kalinkin, *Sov. Phys. Semicond.*, 20 (9), 1078
(1986).
- 11- V. Lemos, J.R. Moro, Q.A.G. deSouza and P. Motisuke, *Solid State*
communications, 60 (11), 803 (1986).

- ۶۲- L.D. Budyonnaya, A.M. Pavelets, L.N. Khanat and V.E. Badan, *Thin Solid Films*, ۱۳۸ (۲), ۱۶۳ (۱۹۸۶).
- ۶۳- R.N. Bhattacharya, *J. Appl. Electrochemistry*, ۱۶ (۲), ۱۶۸ (۱۹۸۶).
- ۶۴- I.B. Ermolovich, A.M. Pavelets and L.N. Khanat, *Thin Solid Films*, ۱۴۱, ۲۲۵ (۱۹۸۶).
- ۶۵- A.P. Zdebskil, N.V. Mironyuk, S.S. Ostapenko, L.N. Khanat and G. Garyagdyev, *Sov. Phys. Semicond.* ۲۱ (۵), ۵۷۰ (۱۹۸۷).
- ۶۶- J.P. Mangalhara, R. Thangaraj and O.P. Angihotri, *Solar Energy Materials*, ۰۰, SEM ۰۰, ۶۱۱ (۱۹۸۹).
- ۶۷- Z. Loizos, N. Spyrellis, G. Maurin and D. Pottier, *J. Electro analytical chemistry and Interfacial Electrochemistry*, ۲۶۹ (۲), ۳۹۹ (۱۹۸۹).
- ۶۸- M.T. Gutierrez and J. Ortega, *Solar Energy Materials*, ۱۹ (۶), ۳۸۳ (۱۹۸۹).
- ۶۹- P.J. Sebastian and V. Sivaramakerishnan, *J. Appl. Phys.*, ۶۵ (۱), ۲۳۷ (۱۹۸۹).
- ۷۰- P.J. Sebastian and V. Sivaramakrishnan, *J. Materials Science*, ۲۵, ۱۸۰۳ (۱۹۹۰).
- ۷۱- D. Ravichandran, F.P. Xavier, S. Sasikala and S.M. Babu, *Bull. Mater. Sci.*, ۱۹ (۳), ۴۳۷ (۱۹۹۶).
- ۷۲- N.T. Rassam, “*Studying the Structure and Transport Electrical and Optical Properties of Evaporated CdSe_{۱-x}Te_x Thin Films*”, Ph.D. Thesis, Baghdad University, (۲۰۰۰).

٧٣- إخالص هميم شلال، "دراسة تأثير تغير (x) في أغشية $Zn_{1-x}Cd_xS$ الرقيقة على الخواص الكهربائية و البصرية"، رسالة ماجستير مقدمة الى جامعة بغداد ، (٢٠٠٠).

٧٤- نجاح صادق جميل، "أسس علم البلورات"، (١٩٩٠).

٧٥- B.D. Culitty, "Elements of X-ray Diffraction", ٢nd edition, (١٩٧٧).

٧٦- L.I. Maissel and R. Glang, "Hand book of Thin Film Technology", McGraw-Hill Company, ١١ (١٩٨٣).

٧٧- A. Devos and J. Aerts, *Thin Solid Films*, ٤٦, ٢٢٣ (١٩٧٧).