



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية العلوم الدقيقة

قسم : الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص : فيزياء الاشعاعات

من اعداد :

مناصر نصيرة

مكي ليلي

بغـوان :

تأثير درجة حرارة الركيزة على الأغشية الرقيقة لأكسيد النحاس
بتقنية الرش الكيمائي الحراري

نوقشت يوم : 2025/05/28.

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة :

رئيسا

ممتحنا

مؤطرا

بقاص عز الدين

الأرقط حنان

قحطار عبد الوهاب

الموسم الجامعي : 2025/2024 .



شكر و تقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات و بتوفيقه و يسره تنجز الأعمال
نتقدم بجزيل الشكر و العرفان الى الدكتور الفاضل **قحطار عبد الوهاب** المؤطر الاكاديمي لهذا
البحث لما قدمه لنا من توجيه سديد و نصح مستمر , و دعم علمي و معنوي كان له الأثر
الكبير في انجاز هذا العمل المتواضع , و بفائق الشكر الى أعضاء **لجنة المناقشة** الموقرة
لقبولهم مناقشة هذه المذكرة .

كما لا يفوتنا أن نعبر عن امتناننا و تقديرنا لكل أفراد الطاقم الاداري **لكلية العلوم الدقيقة -**
قسم الفيزياء - على تعاونهم و تيسيرهم لكافة الاجراءات الادارية خلال فترة اعداد هذا البحث
على رأسهم الدكتور **رحومة فرحات** .

كما نتقدم بجزيل الشكر والامتنان الى الطاقم الاداري والتربوي **لمتوسطة 15 جانفي 1956**
بالرباح و ثانوية السعيد عبد الحي بالوادي على ما وفروه لنا من دعم و تسهيلات و ما أبدوه من
تفهم وتشجيع ما ساعدنا كثيرا في الموازنة بين مهامنا المهنية و مسارنا الأكاديمي .
كما نشكر كل من ساهم من قريب أو بعيد بالقليل أو الكثير في انجازنا لهذا العمل سواء من
خلال تقديم ملاحظات أو نصيحة أو تشجيع او دعم مهما كان شكله على رأسهم **الدكتورة تواتي**
طليبة مريم و غوقالي مبروك ..

جزاكم الله جميعا خير الجزاء و جعل جهودكم في ميزان حسناتكم .

مكي.ل. - مناصر.ن.



الاهداء

الى من غرسا في القيم , وسهرا الليالي من أجلي ,الى من كانت دعواتهما سر توفيقى و
نجاحى في الحياة ,الى أجمل ثنائى في حياتى **ماما و بابا** نبض قلبى و مصدر فخريأهديكما
هذا العمل.

الى **زوجى العزيز** سندي ورفيقي في الحياة ,الذي كان لصبره و تشجيعه الأثر الكبير في
مواصلة الطريق .

الى فلذات كبدي ,أبناء الأحباء **معتز ,ميسون ,أحمد مهدي و عبد الناصر**.أنتم النور
الذي أستمد منه عزيمتي ,مصدر الهامي و باعث أملى أرجوا أن يكون هذا العمل فخرا لكم يوما .
الى **اخوتي و أخواتي** الأعزاء ,لروابط الدم والحب الذي يجمعنا ,الى من كانوا دوما سندا
وعونا في مسيرتي ,الى من شاركوني لحظات التعب و النجاح , أهدي هذا العمل المتواضع
تقديرًا و امتنانًا لكل ما قدمتموه لي من دعم و تشجيع طوال مشوارى الأكاديمي .
الى **رفيقتي** في العمل التي كانت لي أكثر من زميلة ,السند اليومي والروح الطيبة في دروب
التعب ,لك منى كل التقدير والوفاء .

الى كل **عزيز** احتل مكانة في قلبى و شاركنى الطريق ,لكم منى كل الحب ,والى كل **قلب** نبض
لي مودة أهديكم هذا العمل عربون شكر لا ينسى

مكي ليلي "أم معتز"



الاهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(قل اعملوا فسيرى الله اعمالكم والمؤمنين)

صدق الله العظيم

الى من بلغ الرسالة وأدى الامانة... ونصح الامة... الى نبي الرحمة ونور العالمين

"سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم"

أحمد الله عز وجل على منه وعونه لنا لإتمام هذا العمل أما بعد فاهدي ثمرة عملي وجهدي

هذا إلى: من لو جاز السجود لغير الله لسجدت لها إلى من جننت تحت قدميها **أبي الغالية**

رحمها الله وعليها طيب الله ثراها

إلى الذي لا مثيل له كان وسيكون من يعيش في أعماقي وكان وراء كل خطوة خطوتها في

طريق العلم... إلى من علمني مبادئ الحياة ورباني على الصدق والاخلاص **أبي العزيز**

حفظه الله لنا وجعله سندا في حياتنا

إلى بلسم روحي من كان السند ورفيق الدرب من ساعدني على تجاوز العقبات وساهم في

إعانتني **زوجي** حفظك الله.

إلى ريحانة وزهرة عمري، وبهجة في الحياة، أبني **عبد الكريم** والسعيد

إلى **رفقاء** البيت الطاهر، من كان لهم بالغ الأثر في كثير من العقبات والصعاب ... إخوتي

وأخواتي أدام الله عزهم

إلى كل أفراد العائلة الكريمة كل باسمه الذين لم يدخروا جهدا في تشجيعي وحي على متابعة

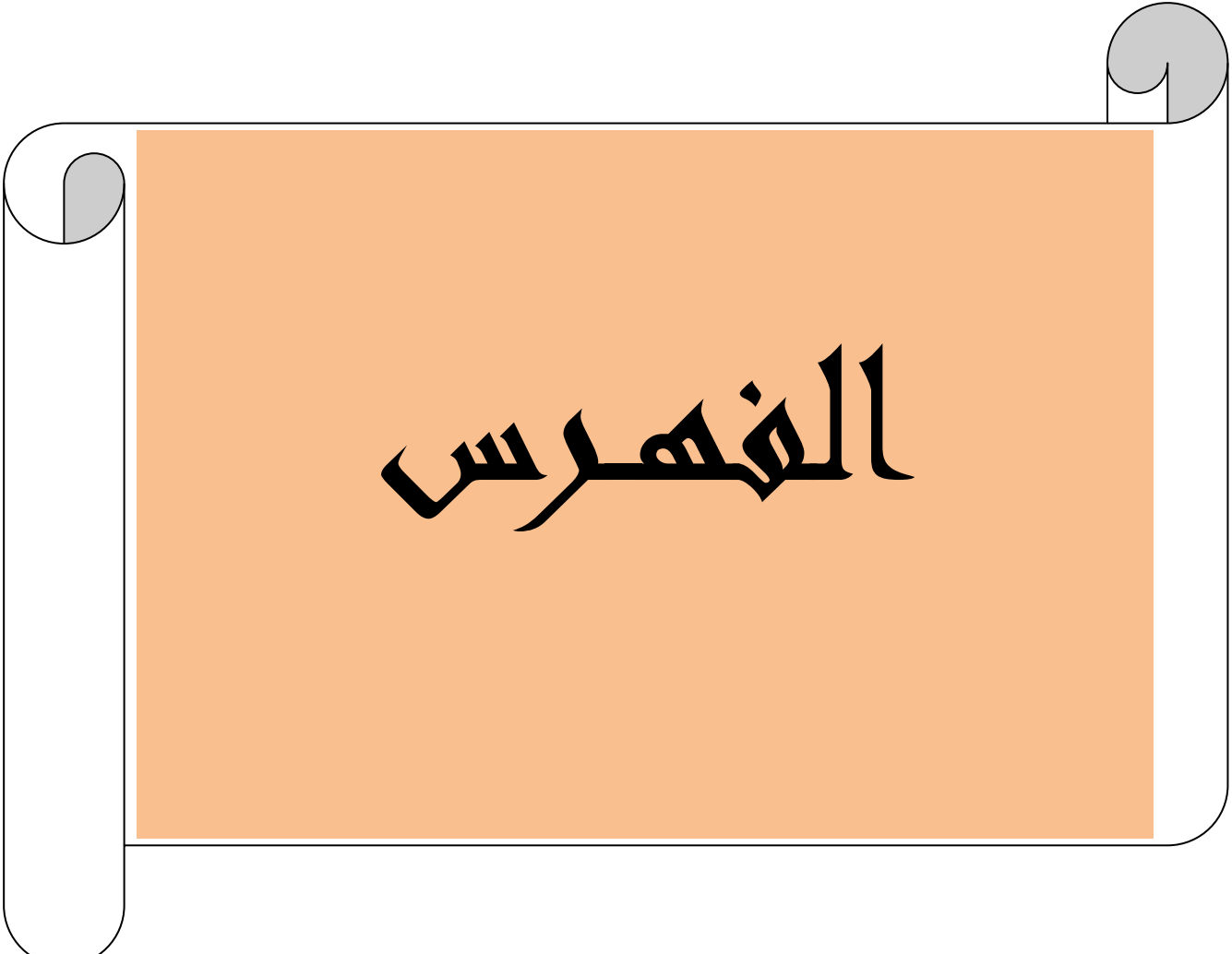
دراستي كما أهدي ثمرة جهدي إلى كل أساتذة مشواري دراسي من الابتدائية إلى الجامعة

وأخص بالذكر أساتذة قسم الفيزياء وكل **الأصدقاء** و**الزملاء** وكل **الأقارب** وإلى كل من يعرفني

من قريب أو بعيد

إلى كل هؤلاء اهدي لهم هذا العمل المتواضع سائلة الله القدير أن ينفعنا بيه ويهدينا

بتوفيقه.



الفهرس

قائمة المحتويات

الصفحة	العنوان
(I)	شكر و تقدير.....
(II)	الاهداء
(III)	قائمة المحتويات
(IV)	قائمة الأشكال
(V)	قائمة الجداول
(VI)	قائمة الرموز
(1)	المقدمة العامة
(4)	قائمة المراجع

الفصل الأول : عموميات حول الأكاسيد الناقلة الشفافة

(5)	تمهيد.....
(5)	I . 1. لمحة تاريخية عن الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCO)
(6)	I . 2. تعريف الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCO)
(8)	I . 3. أنواع الاكاسيد الموصله الشفافة.....
(8)	I . 4. أهم مميزات الأكاسيد الناقلة الشفافة.....
(9)	I . 5. معايير اختيار الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCO)
(10)	I . 6. الخصائص الكهربائية والضوئية للأكاسيد الموصله الشفافة.....
(11)	I . 6. 1. الخصائص الكهربائية.....
(11)	I . 6. 1.1. الفاصل الطاقى Eg.....
(12)	I . 6. 2.1. الناقلية الكهربائية σ و المقاومة ρ
(12)	I . 6. 3.1. المقاومة السطحية R_s
(13)	I . 6. 4.1. الحركية الكهربائية μ
(14)	I . 6. 5.1. ثابت العزل الكهربائي ϵ

- I . 2.6 . الخصائص الضوئية (14).
- I . 1.2 . 6 . النفاذية (T) (14).
- I . 2.2 . 6 . الانعكاسية (R) (15).
- I . 3.2 . 6 . الامتصاصية (A) (15).
- I . 4.2 . 6 . معامل الامتصاص (α) (15).
- I . 5.2 . 6 . معامل الخمود (k) (16).
- I . 6.2 . 6 . معامل الانكسار n (16).
- I . 7 . الاكسيد الناقلي الشفافة في الحالة الذاتية والمطعمة (19).
- I . 1.7 . الحالة الذاتية (19).
- I . 2.7 . الحالة المطعمة (20).
- I . 1.2 . 7 . التطعيم من نوع (n) (20).
- I . 2.2 . 7 . التطعيم من نوع (p) (20).
- I . 8 . الانتقالات الالكترونية في اشباه النواقل (21).
- I . 1 . 8 . الانتقالات الالكترونية المباشرة (21).
- I . 2 . 8 . الانتقالات الالكترونية غير المباشرة (22).
- I . 9 . تطبيقات الأوكسيد الناقلة الشفافة (23).
- I . 10 . أكسيد النحاس وخصائصها (24).
- I . 1 . 10 . معدن النحاس (24).
- I . 2 . 10 . أكسيد النحاس (25).
- I . 3 . 10 . أنواع أكسيد النحاس (25).
- I . 1.3.10 . أكسيد النحاس الأحادي Cu_2O (26).
- I . 2.3.10 . أكسيد النحاس CuO (26).

- I . 10 . 4 . خصائص الفيزيائية والكيميائية لأكاسيد النحاس(26).
- I . 10 . 5 . الخصائص الضوئية ل CuO (27).
- I . 10 . 6 . أكسدة Cu_2O إلى CuO (28).
- I . 10 . 7 . تطبيقات أغشية CuO (28).
- الخلاصة(28).
- قائمة مراجع الفصل الأول(29).

الفصل الثاني : تقنيات الترسيب و طرق التوصيف

- تمهيد(34).
- II . 1 . مفهوم الطبقات الرقيقة(34).
- II . 2 . مبدأ ترسيب الطبقات الرقيقة(35).
- II . 3 . مراحل تشكل و نمو الطبقات الرقيقة(35).
- II . 4 . تصنيف أنماط نمو الطبقات الرقيقة(37).
- II . 5 . ترسيب الطبقات الرقيقة(38).
- II . 1.5 . الطرق الفيزيائية(39).
- II . 1.1.5 . التوضع الفيزيائي للطور البخاري (PVD)(39).
- II . 1.1.1.5 . التبخير تحت الفراغ(39).
- II . 2.1.1.5 . الرش المهبطي(40).
- II . 3.1.1.5 . الاقتلاع و الترسيب بالأشعة (الاقتلاع بالليزر)(41).
- II . 2.5 . الرش بالموجات فوق الصوتية(41).
- II . 3.5 . الطرق الكيميائية(42).
- II . 1.3.5 . التوضع الكيميائي لطور البخاري (CVD)(44).
- II . 2.3.5 . تقنية هلام - سائل (Sol-gel)(44).
- II . 3.3.5 . طريقة الرش الكيميائي الحراري(45).

- 1.3.3.5. II مبدأ تقنية CSP(46).
- 2.3.3.5. II ايجابيات طريقة الرش الكيميائي الحراري.....(47).
- 3.3.3.5. II سلبيات طريقة الرش الكيميائي الحراري(48).
6. II تقنيات معاينة و تحليل الأغشية الرقيقة(48).
- 1.6. II طرق تحديد الخصائص البنيوية.....(48).
- 1.1.6. II انعراج الأشعة السينية (DRX)(48).
- 2.1.6. II مبدأ انعراج الأشعة السينية (DRX)(48).
- 3.1.6. II جهاز انعراج الأشعة السينية(49).
- 4.1.6. II المعلومة البنيوية(50).
- 2.6. II طرق تحديد الخصائص الكهربائية(51).
- 1.2.6. II تقنية المسابر الأربعة(51).
- 3.6. II طرق تحديد الخصائص الضوئية(52).
- 1.3.6. II التحليل الطيفي للأشعة المرئية و الفوق بنفسجية (UV-VIS)(52).
- 2.3.6. II تحديد الفاصل الطاقي E_g (53).
- 3.3.6. II تحديد طاقة أورباخ Eu(53).
- 4.6. II مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR(53).
- 1.4.6. II مبدأ مطيافية الأشعة تحت الحمراء.....(55).
- الخاتمة(56).
- قائمة مراجع الفصل الثاني(57).

الفصل الثالث : العمل التجريبي وتحليل النتائج

- تمهيد.....(63).
1. III ترسيب الاغشية بتقنية الرش الكيميائي الحراري(63).

- III 1. 1. التركيب التجريبي لمنظومة الرش الكيميائي(63).
- III 2. 1. تحضير الأغشية الرقيقة.....(65).
- III 1. 1. 2. الشروط التجريبية لتحضير أغشية أكسيد النحاس(65).
- III 2. 2. 1. تهيئة القواعد الزجاجية.....(65).
- III 3. 2. 1. تحضير المحلول المستخدم(66).
- III 4. 2. 1. ترسيب الاغشية الرقيقة(67).
- III 2. تحديد سمك العينات(67).
- III 3. الخصائص الضوئية(68).
- III 1. 3. T% النفاذية(69).
- III 2. 3. الامتصاصية % A(70).
- III 3. 3. معامل الامتصاص α (73).
- III 4. 3. الفاصل الطاقي E_g (74).
- III 5. 3. معامل الخمود K(77).
- III 4. الخصائص الكهربائية(78).
-(82) الخلاصة
-(83) قائمة مراجع الفصل الثالث
-(86) الخاتمة العامة
-(87) الملخص

قائمة الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
--------	-------------	-------------

الفصل الأول

(7).....	مخطط حزم الطاقة للمواد الناقلة و أنصاف النواقل والعوازل	(1-I)
(17).....	طيف النفاذية الانعكاسية والامتصاصية لأكسيد القصدير المطعم بالفلور	(2-I)
(20).....	تمثيل تخطيطي لبنية عصابة الطاقة في الحالة النقية (a) والمطعمة (b)	(3-I)
(23).....	مخطط يوضح أنواع الانتقالات الالكترونية المباشرة وغير المباشرة	(4 - I)
(24).....	أهم تطبيقات الأكاسيد الناقلة الشفافة	(5 - I)
(25).....	أكسيد النحاس Cu_2O	(6 - I)
(25).....	تخطيط لبنية Cu_2O	(7 - I)
(26).....	أكسيد النحاس CuO	(8 - I)
(26).....	تخطيط لبنية CuO	(9 - I)
(27).....	النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية أكسيد النحاس وبدرجات حرارة مختلفة	(10 - I)

الفصل الثاني

(36).....	مخطط يوضح عمليات ترسيب الطبقات الرقيقة	(1- II)
(37).....	رسم تخطيطي يوضح مراحل تشكل الطبقات	(2- II)
(38).....	مخطط لمختلف أنماط نمو الطبقات الرقيقة	(3- II)
(38).....	مخطط يوضح تقنيات توضع الطبقات الرقيقة	(4- II)
(39).....	مخطط يوضح التوضع الفيزيائي لطور البخار	(5- II)
(40).....	رسم تخطيطي لتقنية الرش المهبطي	(6- II)
(41).....	رسم تخطيطي يوضح عملية الترسيب بتقنية الافتلاع بالليزر	(7- II)

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
	رسم تخطيطي يوضح عملية الترسيب بتقنية الرش بالموجات فوق صوتية.....(42).	(8- II)
	رسم يوضح مبدأ تقنية (CVD)(42).	(9- II)
	مخطط لتقنية Sol-Gel بطريقة الغمر(44).	(10- II)
	مخطط لتقنية Sol-Gel بطريقة الترسيب الدورانية(45).	(11- II)
	مخطط يوضح منظومة الرش الكيميائي الحراري(46).	(12- II)
	رسم يوضح مبدأ تقنية الرش الحراري(47).	(13- II)
	مخطط حالات الترسيب المختلفة اعتمادا على حجم القطرة المكون.....(47).	(14- II)
	رسم تخطيطي يوضح نمط حيود براغ(49).	(15- II)
	مخطط يظهر انعراج الأشعة السينية(50).	(16- II)
	طريقة تحديد عرض منتصف القمة β(51).	(17- II)
	رسم تخطيطي يوضح تقنية المسابر الأربعة.....(51).	(18- II)
	رسم تخطيطي يوضح جهاز التحليل الطبقي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية .(52).	(19- II)
	رسم يوضح امتصاص الأشعة تحت الحمراء(54).	(20- II)
	صورة لجهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء.....(55).	(21- II)
	رسم تخطيطي يوضح مطيافية الأشعة تحت الحمراء.....(56).	(22- II)

الفصل الثالث

	يوضح التركيب التجريبي للرش الكيميائي الحراري.....(64).	(1- III)
	يوضح نوع القواعد الزجاجية المستخدمة.....(66).	(2- III)
	يوضح خطوات تحضير المحلول(67).	(3- III)
	أطياف النفاذية للطبقات الرقيقة لأكسيد النحاس كدالة للطول الموجي عند درجات حرارة مختلفة(69).	(4- III)
	طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي عند درجات حرارة مختلفة.....(71).	(5- III)
	منحنى تغيرات معامل الامتصاص بدلالة طول الموجة.....(73).	(6- III)
	منحنى تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ كدالة لطاقة الفوتون (hv)(75).	(7- III)
	يوضح قيم فجوة الطاقة بدلالة درجة الحرارة(76).	(8- III)

- (9- III) تغير معامل الخمول k لكبريتات النحاس مع طول الموجة.....(77).
- (10 - III) يوضح تغيرات (σ) بدلالة درجات حرارة.....(79).
- (11 - III) يوضح تغيرات (ρ) بدلالة درجات حرارة.....(80).

فهرس الجداول

قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	ترتيب الجدول
7	الأكاسيد البسيطة والمركبة	(1-I)
8	أهم أنواع أكاسيد المعادن	(2-I)
10	يوضح معاملات الجودة لبعض الأكاسيد الناقلة الشفافة	(3 -I)
11	جدول يعرض بعض الخصائص (TCO)	(4 -I)
12	عرض الفاصل الطاقوي لبعض الأكاسيد الناقلة الشفافة	(5 -I)
21	المعادن المستعملة في عملية تطعيم بعض الأكاسيد الناقلة الشفافة	(6-I)
24	الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنحاس	(7 - I)
27	الخصائص الفيزيائية والكيميائية لأكاسيد النحاس	(8 - I)
68	بين قيم سمك العينات	(1- III)
76	يوضح قيم الفجوة الطاقة لطبقات أكسيد النحاس بدلالة درجة حرارة	(2- III)
78	يوضح سمك العينات و المقاومة السطحية ودرجة الحرارة .	(3- III)
81	يوضح قيم المقاومة السطحية والمقاومة الكهربائية والناقلية الكهربائية .	(4 - III)

قائمة الرموز

الوحدة	المعنى	الرمز
Ω^{-1}	عامل الجودة	F_{TC}
Ω	المقاومة السطحية	R_s
$\Omega.m$	المقاومية الكهربائية	ρ
m	سمك الشريحة	d
C	الشحنة العنصرية للإلكترون	q
Cm^{-1}	كثافة حاملات الشحنة	N
$Cm/V.S$	حركية الشحنات	μ
--	معامل التصحيح ويساوي 4,532 .	C
V	فرق الجهد	U
A	شدة التيار	I
	الكتلة الفعالة للإلكترون	m^*
	سرعة الإلكترون الحر (سرعة فرمي)	V_F
	زمن الاسترخاء بين تصادمين متتاليين	T
	المسار المتوسط الحر بين التصادمين	l
	ثابت العزل المعقد.	ϵ
	الجزء الحقيقي ثابت العزل الكهربائي	ϵ_1
	الجزء الخيالي ثابت العزل الكهربائي.	ϵ_2
Cm^{-1}	يعبر عن معامل الامتصاص	α
	النفاذية الضوئية	T(%)
nm	سمك الغشاء	d

الوحدة	المعنى	الرمز
--	معامل الخمود	K
nm	طول الموجة الوارد على المادة .	λ
--	الانعكاسية الضوئية.	R
J.s	ثابت بلانك .	h
--	الامتصاصية .	A
ev	فجوة الطاقة الممنوعة	E_g
	الفاصل الطاقي الأساسي للمادة (غير المطعمة)	E_{g0}
	الفاصل الطاقي بعد التطعيم	E_g
	مقدار الإزاحة في الفاصل الطاقي	ΔE_g
ev	طاقة الفوتون الممتصة بوحدة	hν
cm ⁻¹	معامل الامتصاص	A
ev	فجوة بصرية بوحدة	E_g^{opt}
	معامل أسي يحدد نوع الانتقال	R



المقدمة العامة

تُعد الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCOs) مواد فريدة تجمع بين خاصيتين نادرتي التوافق في المواد الصلبة: الشفافية البصرية والتوصيل الكهربائي [1]. هذه المواد هي عبارة عن أكاسيد معدنية ذات نطاق طاقى واسع (wide bandgap)، مما يسمح بمرور الضوء المرئي من خلالها، وفي الوقت نفسه تحتوي على حاملات شحنة حرة (كالإلكترونات أو الفجوات) تُكسبها قدرة على توصيل الكهرباء. تستخدم الأكاسيد الناقلة الشفافة على نطاق واسع في تطبيقات تقنية متقدمة، مثل الخلايا الشمسية [2]، وشاشات العرض المسطحة [3]، والزجاج الذكي [4]، والصمامات الثنائية الباعثة للضوء (LEDs) [5]، وذلك نظرًا لأدائها العالي واستقرارها الكيميائي والحراري. ومن بين أشهر هذه الأكاسيد: أكسيد النحاس CuO و أكسيد الإنديوم والقصدير (ITO)، وأكسيد الزنك (ZnO)، وأكسيد القصدير (SnO₂).

تكمن أهمية TCOs في كونها تُوفر بديلاً شفافاً للمواد الموصلة التقليدية التي تحجب الضوء، مما يفتح آفاقاً واسعة في تصميم الأجهزة الإلكترونية والبصرية الحديثة [6].

تُعد الأكاسيد الناقلة الشفافة المعتمدة على أكسيد النحاس (Cu-based TCOs) من المواد الواعدة في مجال الإلكترونيات الشفافة، نظراً لقدرتها على الجمع بين الشفافية الضوئية والتوصيل الكهربائي، إضافة إلى كونها أكثر صداقة للبيئة وأقل تكلفة مقارنةً بالمواد التقليدية مثل أكسيد الإنديوم والقصدير (ITO). يتميز أكسيد النحاس بخصائص فريدة تجعله مرشحاً مهماً لتطبيقات متقدمة، حيث يُمكن تحضيره بأطوار متعددة، أشهرها أكسيد النحاس الأحادي (Cu₂O) [7] وأكسيد النحاس الثنائي (CuO) [8]، وكلاهما يملك خصائص كهربائية وبصرية تُناسب العديد من الاستخدامات. من أهم ما يميز TCOs المبنية على النحاس هو إمكانية تحقيق توصيل من النوع الموجب (p-type) [9]، وهو أمر نادر نسبياً بين الأكاسيد الناقلة الشفافة، مما يجعله مكملاً ممتازاً للمواد من النوع السالب (n-type) ويُسهّم في تطوير أجهزة إلكترونية متكاملة وشفافة.

يُستخدم أكسيد النحاس الناقل الشفاف في تطبيقات مثل الخلايا الشمسية، وأجهزة الاستشعار، والتوصيلات الشفافة، والتكنولوجيا القابلة للارتداء [10]، وهو يحظى باهتمام متزايد في الأبحاث بسبب توفر عنصر النحاس وسهولة معالجته. في السنوات الأخيرة، ازداد الاهتمام بتطوير مواد إلكترونية شفافة لأغراض متعددة، أبرزها في صناعة الخلايا الشمسية، والشاشات، والنوافذ الذكية، وأجهزة الاستشعار.

وقد تم التركيز بشكل خاص على الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCOs) نظرًا لقدرتها على تمرير الضوء المرئي مع الاحتفاظ بقدرتها على توصيل الكهرباء. وعلى الرغم من التقدم الكبير في استخدام مواد مثل ITO ، إلا أن ارتفاع تكلفة الإنديوم وندرة توفره دفع الباحثين للبحث عن بدائل أكثر استدامة. في هذا السياق ، برز أكسيد النحاس كخيار واعد ، إذ يتميز بخصائص بصرية وكهربائية جيدة ، إضافة إلى كونه متوفرًا بكثرة ، وغير سام ، وصديق للبيئة. كما أن تميز أكاسيد النحاس بإمكانتي التوصيل من النوع الموجب (p-type) يفتح المجال لتصميم أجهزة إلكترونية شفافة تعتمد على أشباه الموصلات من النوعين (p-n junction devices) ، مما يعزز أداء وكفاءة تلك الأجهزة .

تهدف هذه الدراسة إلى:

✓ تحضير أغشية رقيقة من أكسيد النحاس باستخدام تقنيات ترسيب مناسبة (مثل الرش الكيميائي أو الترسيب البخار)، ودراسة تأثير ظروف التحضير على الخصائص النهائية.

✓ تحليل الخصائص البصرية والكهربائية لأغشية أكسيد النحاس بهدف تقييم شفافيتها وكفاءتها في التوصيل الكهربائي.

✓ دراسة إمكانية تحقيق التوصيل من النوع p-type وتحديد العوامل المؤثرة على نوعية التوصيل.

تعتمد دراستنا في هذا البحث عن الأغشية الرقيقة لأكسيد النحاس المرسبة بطريقة الرش بالانحلال الحراري ولأهمية هذه الاغشية في مجال العلمي الصناعي ، وهذا قصد تحضير وتحسين من الخصائص البنيوية ، الكهربائية والضوئية لهذه الطبقات ومن هذا المنطلق يطرح التساؤل التالي:

✓ ما مدى تأثير درجة حرارة ترسيب الشريحة وظروف التحضير على خصائص هذه الطبقات المحضرة؟

الإجابة عن هذا التساؤل من خلال هذا العمل لمذكرة الماستر من خلال ثلاثة فصول :
فصيلين نظريين وفصل تجريبي.

❖ الفصل الاول:

سيتم التطرق فيه الى عموميات حول الأكاسيد الناقلة الشفافة واهم خصائصها (TCO) تليها دراسة مفصلة لأكسيد النحاس والتطرق الى خصائصه البنيوية ، الضوئية والكهربائية وأبرز تطبيقاته.

❖ الفصل الثاني:

نسلط الضوء في هذا الفصل على أهم الطرق المستعملة في ترسيب الأغشية الرقيقة ، وسنخصص هنا تقنية الرش بالانحلال الحراري التي تعتبر التقنية المستعملة في تحضير هذا العمل. كما سنتطرق الى شرح وجيز لبعض أجهزة وطرق المعاينة ، كالمعاينة بالانعراج الأشعة السينية ، ونفاذ أو امتصاص الأشعة فوق بنفسجية والمرئية (UV-VIS) والأشعة تحت الحمراء (IR) وقياس المقاومة بجهاز المسابر الاربعة لمعرفة خصائصها الكهربائية.

❖ الفصل الثالث:

يتضمن الدراسة التجريبية لتحضير طبقات رقيقة من أكسيد النحاس عند درجات مختلفة (350°C , 375°C , 400°C , 425°C) وتحديد عدة خصائص منها المسافة الشبكية بين المستويات O من معدن النحاس، وحساب النفاذية والفاصل الطاقى (ضوئية)، وإيجاد المقاومة الكهربائية ، الناقلية و أخيرا والمقاومة السطحية (كهربائية) لهذه الطبقات. أما فيما يخص تفسير ومناقشة النتائج ستكون محور هذا الفصل مع ذكر أهم الاستنتاجات قصد التعرف على مدى تأثير درجة الحرارة على هذه الأغشية والإشارة الى أهم تطبيقاتها والآفاق المستقبلية للبحث في هذا الموضوع .

المراجع

- [1] جليل عبد السادة ، س. عزارة حسين ، " تأثير التشويب بالنحاس Cu على الخواص البصرية لأغشية فرايت الزنك ZnFe₂O₄ ،مجلة جامعة بابل ،مجلة جامعة كربلاء العلمية ، المجلد 16، العدد1، 2018. .
- [2] ك. مصطفى كاظم ،" الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية (V : ZnO) " ، رسالة ماجستير جامعة ديالى ، العراق ، 2012.
- [3] ن.محمد علي الكرخي ،" دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية (ZnO :Sn) المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري " ، رسالة ماجستير جامعة ديالى، العراق ، 2012.
- [4] م. عدائكة ،" دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعمة بالكوبالت (Co)" ، مذكرة ماستر أكاديمي جامعة الوادي ، 2019 .
- [8] ن. فاضل حبوب ، ص. أنور سلمان ، ك. مصطفى كاظم ،" تأثير التشويب بالفناديوم على المعلمات التركيبية وبعض الخواص البصرية لأغشية أكسيد الخارصين المحضرة بالتحلل الكيميائي الحراري ، مجلة كلية التربية الأساسية ، العدد 77، جامعة ديالى ، العراق ، 2013 .
- [9] م.بان خالد محمد ،" دراسة بعض الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية (ZnO) المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري ، مجلة كلية التربية الأساسية ، العدد 76، جامعة التكنولوجيا ، العراق ، 2012.
- [10] ع. دقة ، ط. مصباحي ، تحديد بعض خصائص أغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعم بالحديد (Fe) ، مذكرة ماستر أكاديمي ، جامعة الوادي، 2017.
- [5] CRACIUN, F., VERARDI, P., et DINESCU, M. Handbook of Thin Film Materials, edited by HS Nalwa. 2002.
- [6] FREUND, Lambert Ben et SURESH, Subra. Thin film materials: stress, defect formation and surface evolution. Cambridge university press, 2004.
- [7] R. Barnum, Biotevhnology, An introduction, 2nd, Edition, Thomson Brooks, 10 Davis drive, Belmont CA 94002, USA, 2005.

المفصل الأول

عموميات حول الأكاسيد الناقلة الشفافة

تعتبر الأكاسيد الناقلة الشفافة TCO اختصار لـ (Transparent conducting oxides) من المواد المميزة ، وهي عبارة عن أشباه موصلات مركبة من معدن متحد مع الأوكسجين مثل ZnO ، CuO ، SnO_2 ، In_2O_2 الخ وقد حظيت باهتمام من طرف الباحثين لما تتمتع به من ناقلية كهربائية وشفافية ضوئية وخصائصها البنيوية [1] وسوف نتطرق في هذا الفصل إلى مفهوم الأكاسيد الناقلة الشفافة وأهم خصائصها ، أبرز تطبيقاتها ، سنتعرف على أكسيد النحاس الذي هو موضوع دراستنا .

I . 1. لمحة تاريخية عن الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCO)

لاحظ العالم كارل بادكار (Karl Baedeker) في عام 1907 ولأول مرة وجود ناقلية كهربائية وشفافية بصرية في نفس الوقت على طبقات رقيقة لأكسيد الكاديوم (CdO) حيث أعطي هذا الاكتشاف موضوع علمي جديد يستحق البحث ، أكسيد الكاديوم المصنع لأول مرة كان ساما عند أول استخدام [2] وفي عام 1931 تم تخضير أكسيد القصدير SnO_2 في شكل غير ومطعم ثم بشكل مطعم بعناصر آخر مثل الكاديوم (Cd) والفلور (F) وقد كان موضوع براءة اختراع في سنة 1942 [3] وفي سنة 1951 تم تخضير أكسيد الإنديوم (In_2O_3) النقي والمطعم بالقصدير بتقنية الرش المهبطي (Pulvérisation Cathodique) من طرف العالم ج م ميشال (J.M.Mochel) أما في عام 1971 تم اكتشاف أكسيد الزنك من طرف العالم ماتساوي (M.Matsuoka) ثم أكسيد الزنك المطعم بالألمنيوم ، بعد ذلك تم تخضير عدد كبير من الأكاسيد الشفافة أهمها (ITO ، $CdSnO_2$ و $ZnO:AL$) والتي شكلت مجالات صناعيا مهما جدا [4] في عام 2000 تركزت البحوث على الأكاسيد الشفافة (TCO) لثنائية وثلثية التركيب ، ثم استعمالها في مجال الالكترنيات الضوئية [5] ولقد تم تحضير أغشية رقيقة من مادة أكسيد الزنك المطعم بالنيكل ($ZnO:Ni$) على شكل حبيبات نانوية سنة 2010 ، [6] وباستخدام طريقة (سائل -هلام) سنة 2011 ، [7] وفي سنة 2017 تم تحضير أغشية رقيقة من مادة أكسيد النيكل باستخدام تقنية رذاذ الانحلال الحراري [8] .

I . 2. تعريف الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCO)

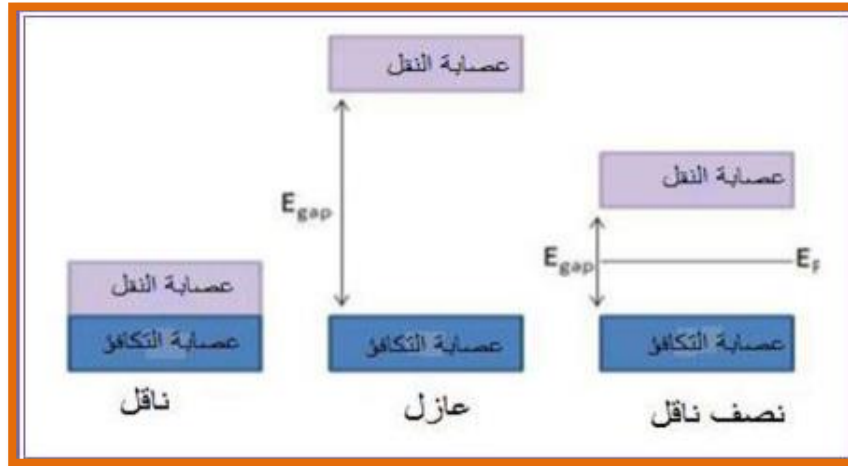
تصنف المواد في الطبيعة بالاعتماد على مقدار فجوة الطاقة إلى ثلاث أنواع

(الموصلات ، العوازل ، أشباه الموصلات)

✓ **الموصلات** : تكون حزمة التكافؤ (BV) متداخلة مع حزمة التوصيل (BC) وبالتالي لا توجد فجوة طاقة في المواد الموصلة يغني أن أي الكترولون تكافؤ سوف يكون حرا في التجوال .

✓ **العوازل** : تكون حزمة التكافؤ (BV) مفصولة عن حزمة التوصيل (BC) بفجوة طاقة كبيرة تصل قيمتها حوالي 5ev وبالتالي فإن الالكترولونات في حزمة التكافؤ لا يمكنها الانتقال إلى حزمة التوصيل إلا عند استلامها الطاقة الكافية المساوية لفجوة الطاقة .

أشباه الموصلات لا يختلف مخطط الطاقة لأشباه الموصلات (أنظر الشكل (1-I)) عن نظيره في العوازل إلا في سعة فجوة الطاقة التي تكون أقل بكثير من قيمة فجوة الطاقة في المواد العازلة ، وتتميز هذه المواد بكونها عازلة عند درجة الحرارة الصفر المطلق بحيث تكون حزمة التوصيل فارغة أي لا يوجد طاقة كافية عند أي الكترولون لكي ينتقل إلى الحزمة التوصيل وتكون ناقلة عند درجات الحرارة العالية ومن جهة أخرى عند درجة حرارة الغرفة ($T=27^{\circ}\text{C}$) يكتسب عدد من الالكترولونات الطاقة الكافية لكي ينتقل إلى حزمة التوصيل الا أن التيار الناتج يكون صغيرا بحيث لا يمكن الاستفادة منه في معظم التطبيقات وعند هذه الدرجة لا تكون المادة شبه موصلة عازلا جيدا ، كما لا تكون موصلا جيدا ولهذا تدعي شبه موصل [9] .



الشكل (1-I) : مخطط حزم الطاقة للمواد الناقلة و أنصاف النواقل والعوازل [9].

إن أحد أهم أشباه الموصلات ما يسمى بأكاسيد التوصيل الشفافة (TCO) وهي عبارة عن أشباه موصلة مركبة من معدن متحد مع الأوكسجين أي أنها أشباه موصلة أكسيديه. مثل أكسيد القصدير (SnO_2) وأكسيد النحاس (CuO) [10] ، يرمز لها عموماً بـ M_xO_y حيث M الرمز الكيميائي للمعدن و O الرمز الكيميائي للأوكسجين Y و X هما اعداد ستيوكتومترية [11] تتميز الأكاسيد الناقلة الشفافة بخاصية مزدوجة على حد سواء شفافة عالية في المجال المرئي ($400nm < \lambda < 800nm$) تقدر بـ 80% و ناقلية المعادن [12] كما انها تمتاز بفواصل طاقي عريض ($E_g \geq 3.1ev$) مما يجعلها نواقل (مستوي فيرمي قريب من حزمة التوصيل BC) [13] قد تكون أكاسيد المعادن بسيطة أي تحتوي على معدن واحد مثل CuO أو مركبة يحتوي على أكثر من معدن $BuTiO$ الجدول (1- I) يعرض بعض هذه الأكاسيد :

الجدول (1-I) يوضح الأكاسيد البسيطة والمركبة [14]

ZnO	NiO	CuO	الأكاسيد البسيطة
Cnd_2SnO_4	$CdIn_2O_4$	$BaTiO_3$	الأكاسيد المركبة

I . 3. أنواع الأكاسيد الموصلة الشفافة .

تصنف إلى نوعين وهما n و p .

نوع n : في هذا النوع من الأكاسيد الناقلة الشفافة تكون الإلكترونات هي حاملات الشحنة الأغلبية ، ويعد هذا النوع الأكثر شيوعا في التطبيقات العملية .

نوع p : تتطلب العديد من التطبيقات أكسيد موصل شفاف من نوع p لذلك كثفت الدراسات في الآونة الأخيرة من أجل صنع هذا النوع من (TCO) ومن خصائص هذا النوع أنه تكون فيه الفجوات هي حاملات الشحنة الأغلبية [14] .

الجدول (2-I) يوضح أهم أنواع أكاسيد المعادن [15]

أنواع أكاسيد المعادن	
TCO (n نوع)	TCO (P نوع)
SnO ₂	CuO
Ta ₂ OS	La ₂ O ₃
Ln ₂ O ₃	Ag ₂ O
TiO ₂	BaTiO ₃
ZnO	NiO
WO ₃	PdO

I . 4. أهم مميزات الأكاسيد الناقلة الشفافة .

✚ ناقليتها الكهربائية تزداد درجة الحرارة وتعتبر هذه الصفة من الصفات التي تميزها

عن باقي المواد الناقلة ، وعند درجات الحرارة المنخفضة يصبح عازل [16] .

✚ لشبه الموصل حساسية شديدة قد يؤدي إلى زيادة توصيليته عند احتوائه على

شوائب أو عيوب ، كما يمكن أن ينتج عنها نوع واحد من حاملات الشحنة وهذا

يعني تناقص أو إتفاء النوع الأخر [16] .

✚ الشفافية العالية في الأطوال الموجية المرئية (400-800nm) وناقلية كهربائية .

I . 5. معايير اختيار الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCO) .

في معظم التطبيقات من الأفضل استعمال أكاسيد ناقلة شفافة بخصائص كهربائية وضوئية جيدة ، بمعنى ناقلة كهربائية جيدة وشفافية عالية في المجال المرئي [17] إن هذه الخصائص تتأثر بعوامل عدة كدرجة الحرارة ، السمك وكذلك التقنية المستعملة ، إن كل هذه العوامل تؤثر على كيفية اختيار المواد TCO في التطبيقات العملية [18] . لمعرفة أفضل الأكاسيد الناقلة الشفافة والاختيار بينها اقترح العالم (G. ekcaah) في سنة 1976 معامل الجودة يربط هذا المقدار بين الخصائص الضوئية والكهربائية للأكاسيد الناقل الشفاف [19] ، يعرف هذا المعامل على أنه النسبة بين النفاذية T والمقاومة السطحية R_s ويرمز له بالرمز F_{TC} ووحدته Ω^{-1} . ويعطى :

$$F_{TC} = \frac{T}{R_s} \quad (1-I)$$

حيث :

F_{TC} : عامل الجودة Ω^{-1} .

T : النفاذية.

R_s : المقاومة السطحية Ω وتساوي:

$$R_s = \frac{\rho}{d} \quad (2-I)$$

ρ : المقاومة الكهربائية.

d : السمك الشريحة .

كذلك قام العالم (G.RGordon) بمقارنة الأكاسيد الناقلة الشفافة وفقا لمعامل الجودة

لكل مادة كما هو موضح في الجدول (3-I) .

الجدول (I-3) يوضح معاملات الجودة لبعض الأكاسيد الناقلة الشفافة [17]

معامل الجودة (Ω^{-1})	المواد
7	ZnO مطعم بـ F
7	Cnd_2SnO_4
5	ZnO مطعم بـ Al
4	In_2O_3
3	SnO_2 مطعم بـ F
3	ZnO مطعم بـ Ga
2	ZnO مطعم بـ B
0,4	SnO_2 مطعم بـ Sb

كإضافة للخصائص الكهربائية والضوئية الجيدة ، فهناك معايير مهمة أخرى مؤثرة منها المادة المختارة وطرق الترسيب المختلفة وتكلفة الإنتاج أو مدى سمية المادة والمقاومة الحرارية والكيميائية للأغشية [20] .

I . 6. الخصائص الكهربائية والضوئية للأكاسيد الموصلة الشفافة .

تتميز الأكاسيد الناقلة الشفافة بخصائص كهربائية وضوئية مهمة فهي تملك ناقلة كهربائية جيدة وشفافية عالية للضوء ، إن جميع هذه الخصائص تتعلق بنسبة كبيرة بتقنية الترسيب المتبعة ، فهي لا تتعلق بالتركيب الكيميائي فقط [21] .

الجدول (I-4) يعرض بعض الخصائص (TCO) [22].

المتغيرات	المواد الناقلة الشفافة
الفاصل الطاقى	أكبر من 3.1ev (380nm)
الشفافية (550nm)	أكبر من 90% (نوع n) و أكبر من 85% (نوع p)
المقاومية	$10^{-4}\Omega.cm$ (نوع n) و $10^{-3}\Omega.cm$ (نوع p)
تركيز حاملات الشحنة	أكبر من $10^{20}cm^{-3}$ (لكل من نوع n و p)
الحركية	أكبر من $40cm^2(Vs)^{-1}$ (نوع n) و أكبر من $20cm^2(Vs)^{-1}$ (نوع p)
المقاومة المربع	أقل من $10K\Omega/Carre$ (من أجل سمك 20nm)

I . 6 . 1 . الخصائص الكهربائية .

في عام 1970م بدأت دراسة الخصائص الكهربائية للأكاسيد الناقلة الشفافة حيث تم وصفها بأنصاف نواقل ذات فاصل طاقي كبير نسبيا ومن أهم هذه الخصائص نذكر [23] .

I . 6 . 1 . 1 . الفاصل الطاقى Eg .

تتميز الأكاسيد الناقلة الشفافة بفاصل طاقي بعرض يتراوح قيمته بين (3ev-4.6ev) ويتغير حسب التقنية المستعملة في الترسيب والشروط التجريبية ونوع المركبات في المحلول [24] .

الجدول (I-5) يعرض الفاصل الطاقي لبعض الأكاسيد الناقلة الشفافة [21]

الفاصل الطاقي Eg(ev)	الأكاسيد الناقلة الشفافة
(3-1,58)	<i>CuO</i>
(3,3-3,2)	<i>ZnO</i>
(4.2-3.6)	<i>SnO₂</i>
4,2	<i>In – Sn – O(ITO)</i>
3 <	<i>Zn – Sn – O(ZTO)</i>
(3,2-3)	<i>TiO₂</i>

I . 6 . 1 . 2. الناقلية الكهربائية σ و المقاومة ρ .

تعتبر الناقلية σ من أهم الخصائص الكهربائية للأكاسيد الناقلة الشفافة وحدتها $(\Omega. m)^{-1}$ وهي مقدار دال على مدى قابلية الوسط لحركة الشحنة الكهربائية خلال يعبر عنها بالعلاقة التالية [25] .

$$\sigma = q n \mu \quad (3-I)$$

حيث :

q : الشحنة العنصرية للإلكترون (c).

n : كثافة حاملات الشحنة (Cm^{-1})

μ : حركية الشحنات (Cm/V.S)

كما تعرف المقاومة ρ بمقلوب الناقلية σ ويعبر عنها بوحدة ($\Omega.m$) فتعطي عبارتها بالعلاقة [26] .

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (4-I)$$

I . 6 . 1 . 3. المقاومة السطحية R_s

تحضر الأكاسيد الناقلة الشفافة عادة في شكل شريحة رقيقة وتعتبر المقاومة السطحية R_s خاصية كهربائية مهمة جدا حيث تعرف على أنها النسبة بين المقاومة ρ وسمك الطبقة الرقيقة d ووحدتها الأوم (Ω) ويعبر عنها بالعلاقة [27] .

$$R_s = \frac{\rho}{d} \quad (5 - I)$$

حيث :

ρ : المقاومة ($\Omega.m$).

d : سمك الطبقة الرقيقة (TCO) .

وتعطى أيضا بالعلاقة التالية :

$$R_s = C \frac{U}{I} \quad (6 - I)$$

حيث :

C : معامل التصحيح ويساوي 4,532 .

U : فرق الجهد (V) .

I : شدة التيار (A) .

4.1.6. I . الحركة الكهربائية μ

تعد حركية حوامل الشحنة عاملا مؤثرا على الناقلية الكهربائية وبتزايد هذه الخاصية تساهم بشكل كبير في تحسن الخصائص الكهربائية لـ (TCO) تتعلق الحركية عموما بانتشار حاملات الشحنة في الشبكة البلورية للمادة ، حيث كلما زاد تركيز حاملات الشحنة تنخفض قيمة الحركية نتيجة التصادم وبالتالي تنقص الناقلية يرمز للحركية الكهربائية بالرمز μ مقاسة بالوحدة ($Cm/V.S$) ويعبر عنها بالعلاقة [28] .

$$\mu = \frac{q \cdot t}{m^*} = \frac{q \cdot I}{m^* V_F} \quad (7 - I)$$

حيث :

q : الشحنة العنصرية للإلكترون .

m^* : الكتلة الفعالة للإلكترون

V_F : سرعة الإلكترون الحر (سرعة فرمي)

t : زمن الاسترخاء بين تصادمين متتاليين

I : المسار المتوسط الحر بين التصادمين

I . 6 . 1 . 5 . ثابت العزل الكهربائي ϵ .

يمثل ثابت العزل قابلية المادة على الاستقطاب ، حيث تستجيب المادة لترددات مختلفة وبسلوك معقد (عدد تخيلي) ، وعند الترددات البصرية الممثلة بالموجات الضوئية تكون الاستقطابية الإلكترونية هي السائدة فقط على بقية أنواع الاستقطاب الأخرى ، وأن درجة الاستقطاب للمادة لا تعتمد على المجال الكهربائي فقط بل تعتمد أيضا على الخصائص الجزيئية للمادة التي تجعل منها مادة عازلة وعادة يوصف التفاعل بين الضوء وشحنات الوسط وما ينتج عنه من استقطاب للشحنات بثابت العزل المعقد للوسط [30] ، الذي يعبر عنه بالمعادلة (8 - I) .

$$\epsilon = \epsilon_1 - i\epsilon_2 \quad (8 - I)$$

حيث :

ϵ : ثابت العزل المعقد .

ϵ_1 : الجزء الحقيقي ثابت العزل الكهربائي .

ϵ_2 : الجزء الخيالي ثابت العزل الكهربائي .

يمكن حساب ثابت العزل بواسطة حساب معامل الانكسار ، ومن المعادلة (8 - I)

يمكن كتابة جزئي ثابت العزل بالعلاقين (9 - I) و (10 - I) .

$$\epsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (9 - I)$$

$$\epsilon_2 = 2nk \quad (10 - I)$$

I . 2 . 6 . الخصائص الضوئية .

تمثل الخصائص الضوئية في ثلاثة ظواهر أساسية تجاه الأمواج الضوئية وهي :

الانعكاس ، الانكسار و النفاذ بحيث تمثل هذه الظواهر في ثلاثة متغيرات (T) النفاذية و (R)

الانعكاسية و (A) الامتصاصية كذلك معامل الامتصاص α [30] .

I . 1 . 2 . 6 . النفاذية (T) .

وهي النسبة بين شدة الضوء النافذ عبر المادة I_T وشدة الضوء الوارد على السطح I_0

ويرمز لها بالرمز T [31] ويعطي بالعلاقة :

$$T(\%) = \frac{I_T}{I_0} \cdot 100 \quad (11 - I)$$

تعتمد النفاذية بشكل كبير على التركيب المادة البلوري والكيمائي ودرجة الحرارة ، وكذلك بالعيوب السطحية وسمك الاغشية [31] .

I . 2.2.6 . الانعكاسية (R) .

وهي النسبة بين شدة الضوء الذي ينعكس على سطح المادة I_R نسبة الى شدة الضوء الوارد عليها I_0 ويرمز لها بالرمز R [27] ويعطي بالعلاقة :

$$R(\%) = \frac{I_R}{I_0} \cdot 100 \quad (12 - I)$$

I . 3.2.6 . الامتصاصية (A) .

وهي النسبة بين شدة الضوء الممتصة I_A من طرف مادة معينة بالنسبة لشدة الضوء الوارد على السطح I_0 ويرمز لها بالرمز A [27] وتعطى بالعلاقة التالية :

$$A(\%) = \frac{I_A}{I_0} \cdot 100 \quad (13 - I)$$

وبما أن التدفق الكلي محفوظ يمكن أن نكتب :

$$I_0 = I_T + I_R + I_A \quad (14 - I)$$

$$A + R + T = 1 \quad (15 - I)$$

I . 4.2.6 . معامل الامتصاص (α) .

يعرف معامل الامتصاص بأنه نسبة النقصان في فيض طاقة الإشعاع بالنسبة لوحدة المسافة حيث يرتبط بطبيعة سطح المادة كما تتغير قيمته وفق القانون (Lambert--Beer) [32] .

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{100}{T(\%)} \right) \quad (16 - I)$$

حيث :

$\alpha(Cm^{-1})$: يعبر عن معامل الامتصاص .

$T(\%)$: النفاذية الضوئية .

$d(Cm)$: سمك الغشاء .

I . 6 . 2 . 5. معامل الخمود (k) .

وهو الخمود الحاصل للموجة الكهرومغناطيسية داخل المادة ، وهو كمية ما تمتصه الكترونات المادة من طاقة الفوتونات الساقطة عليها ، وعلى هذا الأساس فإن قيمته تتحدد من خلال تفاعلات الموجة الكهرومغناطيسية مع الوسط ، ويتم حساب معامل الخمود من خلال قيم معامل الامتصاص المحسوبة من طيف الامتصاصية [33] وذلك حسب المعادلة الآتية :

$$k = \frac{\alpha \cdot \lambda}{4\pi} \quad (17 - I)$$

حيث :

k : معامل الخمود .

α : يعبر عن معامل الامتصاص .

λ : طول الموجة الوارد على المادة .

يمثل معامل الخمود الجزء التخيلي لمعامل الانكسار بصيغته المركبة ونكتب :

$$n^* = n - ik \quad (18 - I)$$

حيث n الجزء الحقيقي ويمثل قرينة الانكسار و k الجزء التخيلي لمعامل التخامد [33] .

I . 6 . 2 . 6. معامل الانكسار n .

تمثل قرينة الانكسار (n) النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ C إلى سرعته في وسط معين ν ويعتمد معامل الانكسار على عدة عوامل منها نزع المادة والتركيب البلوري لها ، إذ يتغير تبعاً لتغير الحجم الحبيبي [34] حيث يكتب وفق العلاقة التالية .

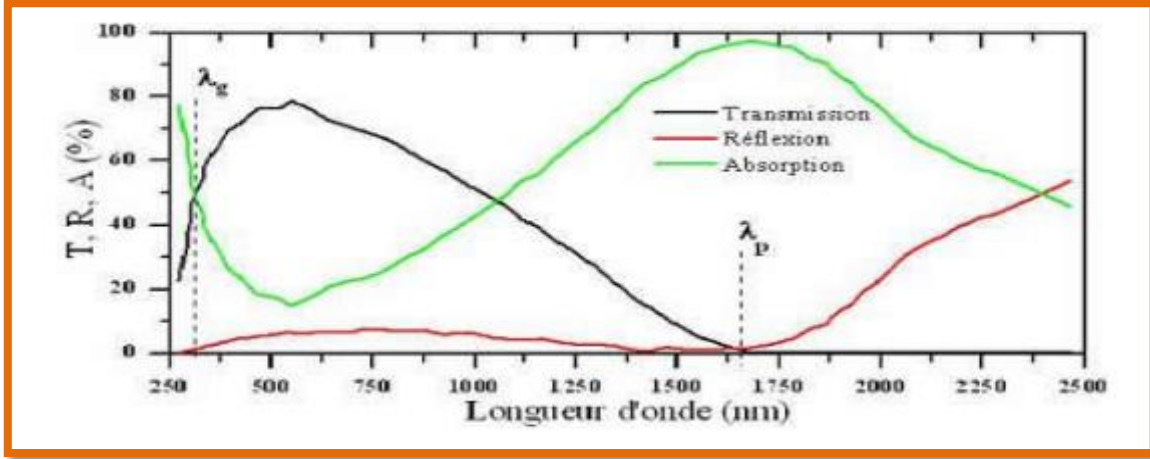
$$n = \frac{c}{\nu} = \left[\left(\frac{1+R}{1-R} \right)^2 - (K^2 + 1) \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1+R}{1-R} \quad (19 - I)$$

حيث :

R : الانعكاسية الضوئية.

K : معامل التخامد .

قام الباحث (Elangovan. E) و آخرون ، بدراسة طيف النفاذية والانعكاسية و الامتصاصية كدالة للطول الموجي λ لشرائح من أكسيد القصدير (SnO_2) المطعمة بواسطة F والمرسبة بتقنية الانحلال الكيميائي الحراري عند دراجة حرارة تقدر ب 400°C على ركائز زجاجية حيث نحصل على شرائح ذات سمك لا يتجاوز ($1.14\mu\text{m}$) [35] كما هو مبين في الشكل الموالي .



الشكل (2-I) : يوضح طيف النفاذية الانعكاسية والامتصاصية لأكسيد القصدير المطعم بالفلور .

أظهرت النتائج المتحصل عليها وجود طولين موجيين حديين (λ_g, λ_p) يمثلان كل من الطول الموجي الموافق لفجوة الطاقة الممنوعة (E_g) والطول الموجي الموافق لتوتر البلازما (w_p) على الترتيب أما الأطوال الموجية المحصورة عند هذا المجال فينطلق عليها النفاذة البصرية الموافقة لنفاذ الأمواج الضوئية غير الشريحة ونميز ثلاث مناطق رئيسية مرتبة حسب تغير الطول الموجي λ كمايلي :

✓ المنطقة الأولى عند المجال $\lambda < \lambda_g$ يمثل هذا المجال منطقة الطيف الفوق بنفسجي ، تكون عندها طاقة الفوتونات أكبر أو مساوية لمقدار فجوة الطاقة الممنوعة E_g للمادة وتستعمل عصابة التكافؤ الإلكترونيات في امتصاص الطاقة والانتقال الى عصابة النقل وكما هو معلوم أن قيم فجوة الطاقة الممنوعة E_g للأكاسيد الناقلة الشفافة محصورة بين $[3 - 4\text{ev}]$ ، فإن هذا المجال يكون موافقا للأطوال الموجية بين $[300 - 400\text{nm}]$ ، عندئذ يمكننا تحديد فجوة الطاقة الممنوعة E_g وذلك بالاعتماد على علاقة Tauc المعرفة كالآتي [36] .

$$\alpha = (h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \quad (20 - I)$$

حيث :

α : تمثل معامل الامتصاص .

h : ثابت بلانك .

ν : تواتر موجة طاقة الفوتونات الساقطة .

E_g : فجوة الطاقة الممنوعة .

✓ المنطقة الثانية عند المجال $\lambda < \lambda_p$ يمثل هذا المجال الطيف المرئي ومنطقة تحت الحمراء القريبة حيث تتميز الأكاسيد الناقلة الشفافة عند هذا المجال بشفافيتها العالية كما تلعب دور طبقة مضادة للانعكاس وتكون ناقلة جيدة للكهرباء من جهة أخرى [36] .

✓ المنطقة الثالثة عند المجال $\lambda \geq \lambda_p$ يمثل هذا المجال الطيف تحت الحمراء حيث تتميز الأكاسيد الناقلة الشفافة بامتصاصية عالية ونفاذية منخفضة ، ويعود انخفاض النفاذية عند هذا المجال حسب نموذج درود الذي يوضح النظرية الكلاسيكية للإلكترون الحر ، والتي تعتبر الإلكترونات الحر كبلازما إلكترونية مهتزة بالتواتر w_p والمرتبطة بالطول الموجي λ_p والذي يعبر عن بالمعادلة التالية [37] .

$$\lambda_p = \lambda_0 \sqrt{\frac{\epsilon}{1 - \epsilon}} \quad (21 - I)$$

حيث : ϵ تمثل السماحية الكهربائية ، λ_0 تمثل الطول الموجي الذي من أجله يصل الانعكاس الى أقل قيمة له ، والزيادة في الامتصاص عند الطول الموجي λ_p من طرف الطبقة الرقيقة للأكاسيد الشفافة الناقلة يسمح بإنتاج إلكترونات الحرة بالإضافة إلى تردد البلازما w_p الذي يعتبر مقدار فيزيائي يتعلق بكثافة الإلكترونات الحرة N_e للسماحية الكهربائية التي تتميز الأكاسيد الشفافة الناقلة ϵ_1 والسماحية الكهربائية في الفراغ ϵ_0 والكتلة الفعالة للإلكترون m^* ملحظة في المعادلة لتالية :

$$w_p = \frac{1}{2\pi} \frac{N_e e^2}{\epsilon_0 \epsilon_1 m^*} \quad (22 - I)$$

يرتبط الطول الموجي λ_p وتواتر البلازما w_p بالعلاقة التالية :

$$\lambda_p = \frac{2\pi c}{w_p} \quad (23 - I)$$

حيث أن c تمثل سرعة الضوء في الفراغ

تتعلق السماحية الكهربائية ϵ بقريئة الانكسار n ومعامل الخمود k [38] ويكتب بواسطة

$$\epsilon = (n - ik)^2 \quad \text{العلاقة التالية :}$$

✓ في حالة $w < w_p$ أو $\lambda \gg \lambda_p$ أن الجزء التخيلي للسماحية الكهربائية ϵ يصبح كبيرا أما

الجزء الحقيقي يكون سالب ، وهذا ما يعطي قريئة انكسار عالية

✓ في حالة $w \gg w_p$ أو $\lambda < \lambda_p$ الجزء التخيلي للسماحية الكهربائية يؤول إلى الصفر

إضافة إلى أن الامتصاصية منخفضة في الأكاسيد الشفافة الناقلة حيث نكتب في هذه

الحالة المعادلة التالية .

$$n = \sqrt{\epsilon_\infty \left(1 - \left(\frac{w_p}{w}\right)^2\right)} \quad (24 - I)$$

حيث أن ϵ_∞ تمثل السماحية الكهربائية عند الترددات العالية

I . 7 . الأكاسيد الناقلة الشفافة في الحالة الذاتية والمطعمة .

I . 1.7 . الحالة الذاتية :

هي عبارة عن أشباه نواقل خالية من الشوائب والعيوب وهي التي تمتلك أعداد متساوية من حاملات الشحنة السالبة والموجبة (الإلكترونات والفجوات) التي تمثل حالة توازن لشبه الناقل ($n_i = n = p$) وفيها تكون عصابة التكافؤ مملوءة كليا بالإلكترونات في حين تكون عصابة النقل فارغة كليا من الإلكترونات عند درجة الحرارة الصفر المطلق ولهذا تعد المواد شبه الموصلية عازلة في هذه الدرجة [39] .

I . 2.7. الحالة المطعمة :

تتم عملية التطعيم قصد تحسين الخواص الكهربائية والضوئية لـ TCOs ويصنف إلى نوعين (n,P) على حسب الذرات الشائبة (المطعمة) في الشبكة البلورية مما يؤدي إلى ظهور مستويات طاقة جديدة تقع في الفاصل الطاقوي بين حزمتي التوصيل والتكافؤ [40].

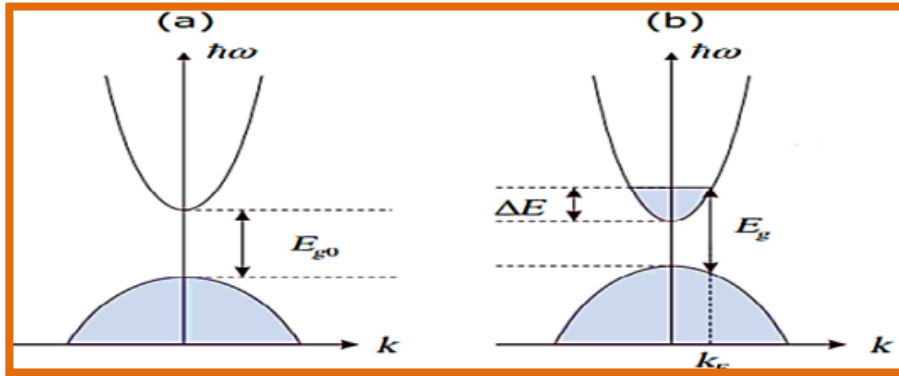
I . 1.2.7. التطعيم من نوع (n) .

يسمى هذا النوع من التطعيم بالنوع السالب كون حاملات الشحنة الأغلبية فيه هي الالكترونات وحاملات الشحنة الأقلية هي الفجوات ، ويتم الحصول على هذا النوع بإضافة شوائب مانحة إلى شبه الناقل حيث تقوم ذرات التطعيم بتكوين مستويات طاقة جديدة تقع تحت عصابة النقل مباشرة (BC) [41].

يتحقق هذا النوع من التطعيم عند استبدال ذرات المعدن أو الأكسجين داخل الشبكة البلورية لمادة TCO_s ويعتمد ذلك على ذرات التطعيم وكذلك بمدى انحلالها وذوبانها في الشبكة الأكاسيد الناقلة الشفافة [42]. مثل : التطعيم أكسيد القصدير SnO_2 بالعناصر التالية : الفلور (F) ، الكوبالت (CO)، النيكل (Ni)

I . 2.2.7. التطعيم من نوع (p) .

هذا النوع من التطعيم يسمى بالنوع الموجب كون حاملات الشحنة الأغلبية فيه هي الفجوات ويتم الحصول عليه بإضافة شوائب مستقلة إلى الناقل حيث تقوم ذرات التطعيم بتكوين مستويات طاقة جديدة ضمن الحزمة وعلى حافة قريبة جدا من عصابة التكافؤ (BV) [43]. مثل تطعيم أكسيد الزنك (ZnO) بالأزوت (N)، ويوضح الشكل (I - 3) حزمتي التكافؤ والنقل في حالة الذاتية a والمطعمة b [42].



الشكل (3-I): تمثل تخطيطي لبنية عصابة الطاقة في الحالة النقية (a) والمطعمة (b) [44].

$$\Delta E_g = E_g - E_{g_0} \quad (25 - I)$$

حيث :

E_{g_0} : الفاصل الطاقي الأساسي للمادة (غير المطعمة)

E_g : الفاصل الطاقي بعد التطعيم

ΔE_g : مقدار الإزاحة في الفاصل الطاقي

الجدول يوضح بعض الأكاسيد الناقلة الشفافة الذاتية و المطعمة .

الجدول (6-I) المعادن المستعملة في عملية تطعيم بعض الأكاسيد الناقلة الشفافة [44] .

الأكاسيد الناقلة الشفافة		
الأكاسيد الناقلة الشفافة الذاتية (النقية)	الأكاسيد الناقلة الشفافة المطعمة	
$CdO, SnO_2, ZnO, In_2O_3, Ca_2O_3, Y_2O_3, MgIn_2O_7, Zn_2LnO_5, ZnSnO_3, Zn_2SnO_4, CdSnO_2, In_4Sn_3O_2, ZnGa_2O_4, GaInO_3$	تطعيم من نوع p	تطعيم من نوع n
	$ZnO: B, Al, In, Ga, Sn, F, Cl$	$CuMO_2 (M = Al, Ga.)$
	$In_2O_3: Sn, Ti, Zr, F, Cl$	$SrM_2O_3: Cu$
	$SnO_2: Sb, As, F, Cl$	$In_2O_3: Ag$
	$CdSb_2O_6: Y$	$ZnO: (Ga et N)$

I . 8. الانتقالات الالكترونية في اشباه النواقل :

هناك نوعان من الانتقالات الالكترونية في شبه الناقل وهي الانتقالات المباشرة وغير المباشرة ، وذلك اعتمادا على موقع أعلى نقطة في حزمة التكافؤ ، وادنى نقطة في قعر حزمة النقل [45] .

I . 8. 1. الانتقالات الالكترونية المباشرة .

في اشباه النواقل ذات الفاصل الطاقي المباشر ، يحدث انتقال الإلكترون من أعلى نقطة في حزمة التكافؤ إلى قعر عصابة النقل عند النقطة نفسها في فضاء متجه الموجة \vec{k} أي :

$\Delta \vec{k} = 0$. بمعنى أن عصابة النقل والتكافؤ توافقان نفس المتجه \vec{k} أي إن الانتقال عمودي من حزمة التكافؤ إلى حزمة النقل ، وعندما يكون الفاصل الطاقي مباشراً ، ونميز نوعين [46] .

➤ **الانتقال المباشر المسموح** يحدث عن الانتقال بين أعلى نقطة وأوطأ نقطة لحزمتي التكافؤ والنقل على الترتيب .

➤ **الانتقال المباشر الممنوع** يحدث عند الانتقال بين النقاط المجاورة لأعلى نقطة وأوطأ نقطة لحزمتي التكافؤ والنقل على الترتيب .

يمكن حساب معامل الامتصاص للانتقالات المباشرة المسموحة من علاقة (Taos) [47] .

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g^{\text{opt}})^r \quad (26 - I)$$

حيث :

$h\nu$: طاقة الفوتون الممتصة بوحدة (ev).

B : ثابت يعتمد على طبيعة المادة .

E_g^{opt} : فجوة بصرية بوحدة (ev) .

r : معامل أسّي يحدد نوع الانتقال .

I . 8 . 2. الانتقالات الإلكترونية غير المباشرة .

الانتقال غير المباشر للإلكترونات عند عدم تطابق طاقتي قمة عصابة التكافؤ وقعر عصابة النقل أي عندما تكون عصابة قعر حزمة النقل وقمة حزمة التكافؤ في مناطق مختلفة لفضاء متجه الموجة \vec{k} بين نقطة في عصابة التكافؤ وأية نقطة في عصابة النقل وبصورة غير عمودية وبذلك يكون $(\Delta \vec{k} \neq 0)$ وعندها يكون الفاصل طاقي غير مباشر ، ونميز نوعين [46] .

➤ **الانتقال غير المباشر المسموح**

يحدث عندما يكون الانتقال بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ وأوطأ نقطة في حزمة النقل .

الانتقال غير المباشر الممنوع

يحدث عندما يكون الانتقال بين نقاط المجاورة لأعلى وأوطأ نقطة في حزمة التكافؤ وحزمة النقل على الترتيب يمكن حساب معامل الامتصاص للانتقالات غير المباشرة من المعادلة :

$$ahv = B(hv - E_g^{opt} \pm E_{ph})^r \quad (27- I)$$

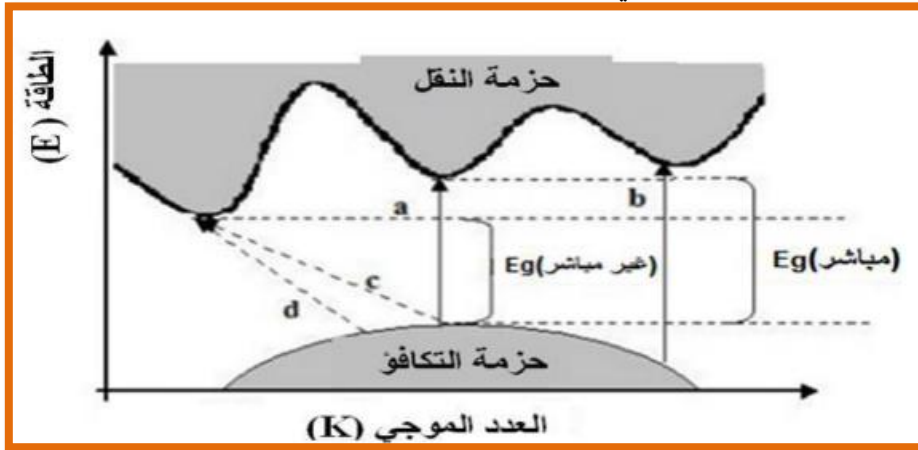
حيث :

hv : طاقة الفوتون الممتصة بوحدة (ev)

B : ثابت يعتمد على طبيعة المادة

E_g^{opt} : فجوة بصرية بوحدة (ev)

(+) في حالة امتصاص فوتون , (-) في حالة انبعاث فوتون .



الشكل (4 - I) : يوضح أنواع الانتقالات الالكترونية المباشرة وغير المباشرة [46]

حيث :

a : انتقال مباشر مسموح

b : انتقال مباشر ممنوع

c : انتقال غير مباشر مسموح

d : انتقال غير مباشر ممنوع

9. I . تطبيقات الأكاسيد الناقلة الشفافة .

تستخدم الأكاسيد الناقلة الشفافة على نطاق واسع في عدة مجالات هو من أهمها كما

هو موضح في الشكل [47] .



الشكل (I - 5) : أهم تطبيقات الأكاسيد الناقلة الشفافة [47] .

I . 10. أكاسيد النحاس وخصائصها .

I . 10. 1. معدن النحاس .

يعد النحاس أحد العناصر الكيميائية والانتقالية المهمة في الطبيعة ، وغالبا ما يتواجد في الطبيعة على شكل نحاس ثنائي التكافؤ (Cu^{+2}) وكذلك النحاس الثلاثي التكافؤ (Cu^{+3}) ، يتبلور كذلك في بنية مكعبة ممركرة الوجوه [48] .

الجدول (I - 7) الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنحاس [48] .

Cu	الصيغة الكيميائية
29	العدد الذري
63.54 g/mol	الكتلة المولية
1273°C	درجة التبخر
2855°C	درجة الغليان
8.935 g/Cm ³	الكتلة الحجمية
$a = 0.2866nm$	البعد البلوري

I . 10 . 2. أكاسيد النحاس .

يحتوي نظام $Cu - O$ على العديد من الأطوار المختلفة، لكن اثنين منهما فقط مستقرين هما CuO و Cu_2O لكن هناك أكسيد آخر للنحاس الذي يوافق تكافؤ مختلط للنحاس $Cu II CuI$ وهو غير مستقر وبالتالي نادرا ما يلاحظ وجوده [49].

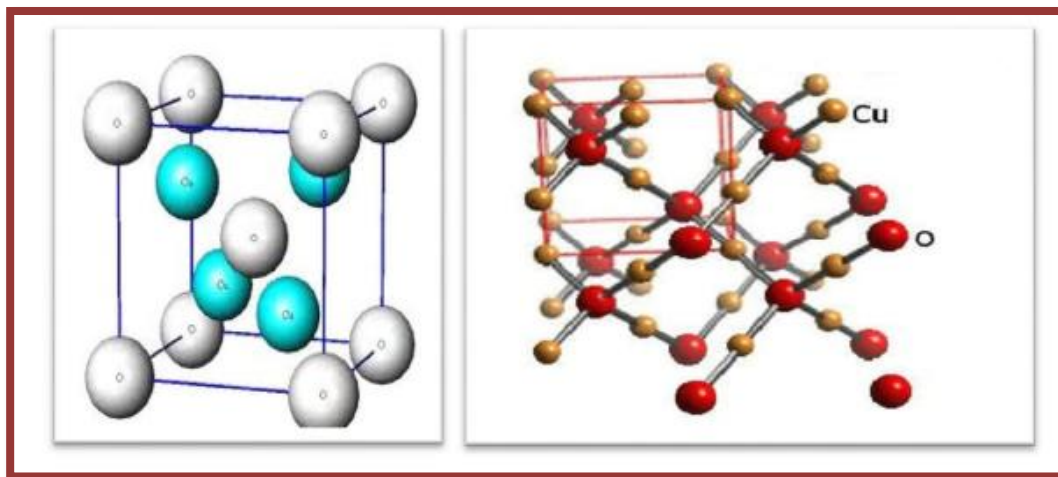
I . 10 . 3. أنواع أكاسيد النحاس .

I . 1.3.10. أكسيد النحاس الأحادي Cu_2O .

هو مسحوق أحمر يميل إلى البني (I - 6) له خصائص ضوئية عالية مما يسمح باستخدامه في تصنيع الخلايا الشمسية يستخدم بشكل شائع كصبغة حمراء في المينا والنظارات [50].



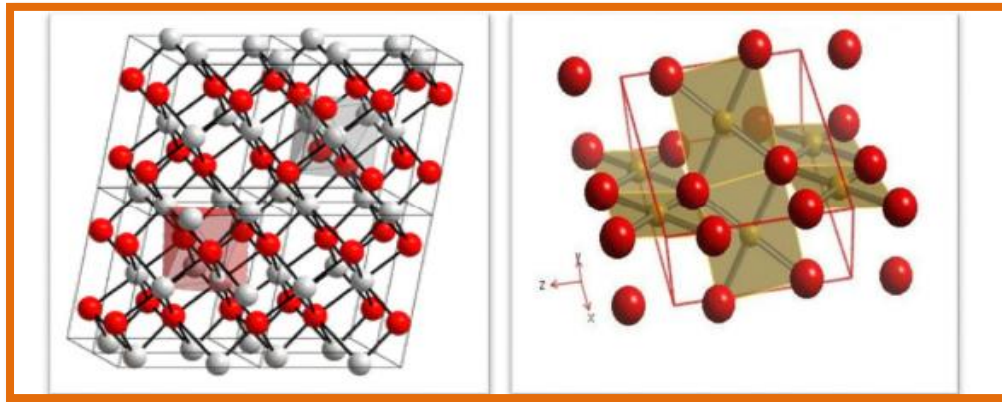
الشكل (I - 6) : أكسيد النحاس Cu_2O [50].



الشكل (I - 7) : تخطيط لبنية Cu_2O [50].

I . 10 . 2.3. أكسيد النحاس CuO .

أكسيد النحاس هو مسحوق أسود نصف ناقل من نوع p ذو نطاق طاقى (1.4-1.2ev) ، له خصائص مشابهة جزئياً لتلك الخاصة بالنحاس في حين خصائصه الموصلية مختلفة واستخدامها يتعلق أساساً بالمحفزات الصناعية والكيمياء بالإضافة إلى ذلك CuO هو أحد أشباه الموصلات التي تعبر عن خصائص مينة في درجة حرارة عالية [51]. الشكل (I - 8) .

الشكل (I - 8) : أكسيد النحاس CuO [50] .الشكل (I - 9) : تخطيط لبنية CuO [50] .

I . 10 . 4. خصائص الفيزيائية والكيميائية لأكسيد النحاس .

يعد أكسيد النحاس من الأكاسيد المستقرة كيميائياً ، والجدول (I - 8) يوضح أهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية لأكسيد النحاس [52] .

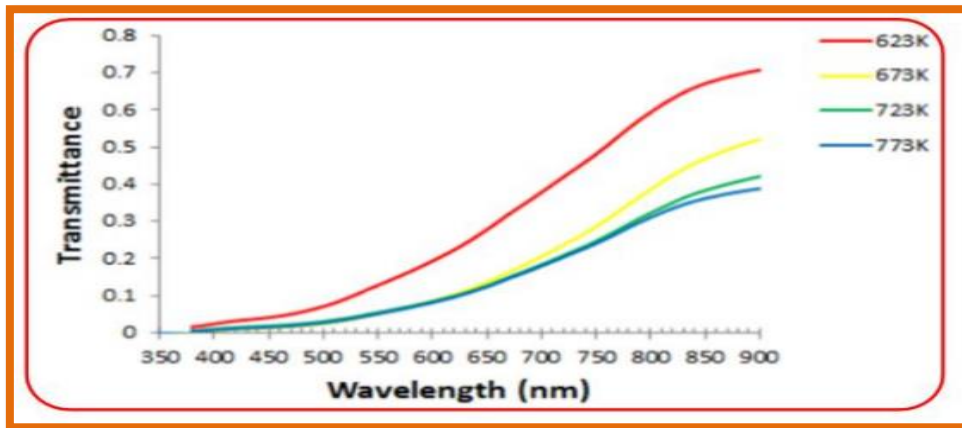
الجدول (I - 8) الخصائص الفيزيائية والكيميائية لأكاسيد النحاس [52] .

CuO	Cu_2O	الصيغة الجزيئية
أسود	بلورات حمراء بنية	اللون
79.545g/ml	143.09g/mol	الكتلة المولية
1201°C	1235°C	درجة الانصهار
2000°C	1800°C	درجة الغليان
6.31 g/cm ³	6.106 g/cm ³	الكثافة
(1.3 – 1.2)ev	(2.10 – 2.6)ev	الفصل الطاقى
a = 4.6837Å b = 3.4226Å c = 5.1288Å (أحادية الميل)	a = 4.1678Å (مكعبة)	البنية البلورية
نوع p	نوع p	نوع نصف الناقل
غير قابل للذوبان	غير قابل للذوبان	الذوبان في الماء

I . 10 . 5. الخصائص الضوئية ل CuO .

تتمتع الطبقات الرقيقة CuO بخواص بصرية عديدة ميزتها عن غيرها من المواد وجعلتها محل اهتمام للعديد من العلماء والباحثين أهمها:

النفاذية تتراوح بين (0 – 80) % كما أنها تختلف حسب درجة حرارة الوضع أو المعالجة الحرارية كما موضح في الشكل (I - 10) وعوامل أخرى كالتركيز ونسب التطعيم [53] .



الشكل (I - 10): النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية أكسيد النحاس وبدرجات حرارة مختلفة [53] .

I . 10 . 6. أكسدة Cu_2O إلى CuO :

يتم الحصول على CuO انطلاقاً من Cu_2O في درجة حرارة ($300^{\circ}C$) حيث يتم تشكيل CuO انطلاقاً من Cu_2O وليس عن طريق أكسيد النحاس المعدني مباشرة . , أونطالي تشكيل Cu_2O هو دائماً اقل من اونطالي تشكيل CuO [50] .

I . 10 . 7. تطبيقات أغشية CuO .

يعتبر أكسيد النحاس مادة واحدة للعديد من التطبيقات والبحوث العلمية وذلك بسبب وفرة مكوناته ، انخفاض تكلفة لـ CuO محلاً للعديد من التطبيقات أهمها [54] .

✓ **تطبيقات الطاقة الشمسية :** إذ يستخدم في المجمعات الضوئية – الحرارية وفي أجهزة تحويل الطاقة الشمسية .

✓ **الأجهزة المغناطيسية وأوساط التخزين المغناطيسية**

✓ **كواشف الغاز**

✓ **صناعة الأجهزة فائقة الناقلية** حيث أن انخفاض درجة الحرارة CuO تؤدي إلى مواد ذات توصيل فائق

✓ **الأجهزة الكهروضوئية** حيث له تطبيقات واسعة ومختلفة في الأجهزة الكهروضوئية

✓ **بطاريات الليثيوم** استخدام لليثيوم لوقت طويل وقدرة تخزين عالية .

الخلاصة .

تم في هذا الفصل لمحة عامة حول الأكاسيد الشفافة والمفاهيم المتعلقة بها انطلاقاً من تعريفها إلى خصائصها وأنواعها ثم خصصت الدراسة حول مادة أكسيد النحاس ، والذي هو محل دراسة هذه العمل , حيث تم التعرف على بعض خصائصها (البنوية ، الكهربائية ، الضوئية) كما تم التعرف على بعض تطبيقاتها .

قائمة المراجع العربية :

- [1] ر. عبد هلالا منيف ، ر . عبد الوهاب إسماعيل ، ص . جاسم محمد ، " دراسة الخواص التركيبية والبصرية لغشاء أكسيد الزنك الرقيق نانوي التركيب بطريقة الترسيب بالحمام الكيميائي " مجلة تكريت للعلوم الصرفة ، المجلد 18، العدد 1 ، جامعة كريت ، العراق ، 2013 .
- [9] م , عقون " دراسة تأثير زمن الترسيب الطبقات الرقيقة لأكسيد النيكل (NiO) على بعض الخصائص الفيزيائية " مذكرة ماستر اكايمي ، جامعة قاصدي مرياح ، ورقلة ، 2017 .
- [10] م . بن خليل " دراسة بعض الخواص البصرية والكهربائية لأغشية أكسيد الزنك المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري "، مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 30، العدد 6، جامعة بغداد ، العراق ، 2012.
- [15] ا. زيد عبد ، " دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية (NiO)"رسالة ماجستير ، جامعة ديالى ، العراق ، 2012 .
- [16] م . حريز بلقاسم " دراسة الخصائص البنيوية والضوئية والكهربائية لأكسيد القصدير المطعم بالفلور المتوضع بتقنية الأمواج فوق الصوتية . " مذكرة ماستر اكايمي ، جامعة الوادي ، 2014.
- [25] ر. الدليمي " دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $Ni_{(1-x)}Zn_xO$ المحضرة بطريقة التحلل الحراري "رسالة ماجستير ، جامعة ديالى ، العراق ، 2011.
- [26] م. ع شراحي " الدراسة الطيفية لطبقات أكسيد النحاس المتوضعة على ركائز من أكسيد الزنك (CuO/ZnO) بالغمس " مذكرة ماستر اكايمي ، جامعة الوادي ، 2017 .
- [27] ع. ردينة صديق " دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $Ni_{(1-x)}Zn_xO$ المحضرة بطريقة التحلل الحراري " رسالة ماجستير ، جامعة بابل ، العراق ، 2011 .
- [32] ج.بوصبيح صالح ، ص لبيهيات "دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعمة بالنحاس (Cu) " مذكرة ماستر اكايمي ، جامعة الوادي ، 2018 .
- [33] أ. بن هدية ، ح قاسمي " دراسة مقارنة الخصائص البصرية أكسيد الزنك (ZnO) المطعم بالكوبالت (Co) والحديد (Fe) " .مذكرة ماستر اكايمي ، جامعة الوادي ، 2021 .
- [39] ن. محمد علي الكرخي " دراسة الخصائص التركيبية والبصرية اغشية (ZnO/Sn) المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري " رسالة ماجستير ، جامعة ديالى ، العراق ، 2012 .

- [40] ب. حمصي، "الخصائص الضوئية والكهربائية والبنوية لشرائح أكسيد القصدير المطعم الأنتمون موضع بطريقة الأمواج فوق الصوتية " مذكرة ماستر فرع فيزياء جامعة الوادي ، الجزائر ، 2013 .
- [41] ن. قمو ، أ. ميموني " دراسة وتحضير أغشية لأكسيد الزنك النقية (ZnO) بتقنية الرذاذ الانحلال الحراري بتقنية الرذاذ الانحلال الحراري " مذكرة ماستر أكاديمي جامعة الوادي ، 2020 .
- [46] ع. مدخل ، " ترسيب الأغشية الرقيقة لأكسيد النحاس (Cu_xO_y) المحضرة بطريقة الرذاذ البلازمي المغناطيسي المستمر " مذكرة ماستر أكاديمي ، جامعة الوادي ، 2019 .
- [47] ن. حمروني ، ع. بليلة ، " الدارسة البنيوية والضوئية والكهربائية لشرائح أكسيد القصدير المطعم بالنحاس " مذكرة ماستر أكاديمي ، جامعة الوادي ، 2017 .
- [48] أ. وهاب ، ز. بنادي " دراسة تأثير طريقة التلدين على الخصائص البنيوية والضوئية لجزئيات أكسيد النحاس النانوية " مذكرة ماستر ، جامعة محمد خضير بسكرة ، 2019 .
- [49] أ. عزوزة ، " تخضير ودراسة أفلام رقيقة لأكسيد النحاس النقي (CuO) المطعم بالسترونسيوم (Sr) " مذكرة مقدمة لنيل شهادة ماستر في الفيزياء ، جامعة جيجل ، (2022).

قائمة المراجع الأجنبية :

- [2] k. Badeker, Electrical Conductivity and Thermo-electromotive Force of Some Metallic Compounds ,Ann.Ann.Phys.Vol22.p749,(1907)
- [3] y. Saadeddin , Preparation et caractérisation Des nouvelles électrodes transparente a base de SnO₂ (indice) et In₂ (indice) O₂ (indice) : sous forme de céramique et couches minces thèse université BordeauxI,(2009).
- [4] Par Ablation Laser et Caractérisation Physique , Thèse Doctorat En Physique , Université Frères Mentouri Constantine,(2015) F kermiche, Elaboration De Couches Minces ZnO₂
- [5] A.Douayar , Contribution a l'étude des propriétés structurales , optique et électriques des couche minces de l'oxyde de zinc () dope (fluor , indium , aluminium et néodyme)]
- [6] y. wang , x. Liao, G. yin, Y.Yao , "Preparation and characterization of Ni-doped ZnO Particles via a biossisted process", J .Colloids and Srfaces, vol ,372, no.3, p.165,(2010)

- [7] **A.A.M.Farag, M. Cavas, F. Yakuphanoglu, and F.M.Amanul** lah, "Photoluminescence and Optical of nano structure Ni doped ZnO thin films prepared by sol-gel spin coating technigue", J.Alloy and Compounds , vol . 509,p.7900,(2011)
- [8] **R. Barir ,B.Benhaoua, S.Benhamida, A.Rahal, T.Sahraoui, R.Gheriani,** Effet of precursor concentration on structural optical and electircal properties of NiO thin films Prepared by spray Pyrolysis , journal of nanomatériaux , Volume 2017, Article ID 5240639.
- [11] **N.BOUFAA,** Elaboration et caracterisation des nano poudre d étain (SnO_2) MEMOIRE DE MAGISTER , UNIVERSITE MENTOURI constantine , 2012
- [12] **M.Bouhenni ,** Structure and opto-electrical study of ZnO Thuin films elaborated by spray Pyrolysis , memoir of master.
- [13] **M.G.Yousif ,** solid stat physics , vol .2, Baghdad Universite , 1989.
- [14] **A.A.Yadav, E.U.Masumdar,A.V.Moholkar, M.Neumann-Spallart,** K.Y.Rajpure, C.H.Electrical and Optical properties of $SnO_2 < Sud > 2 \setminus Sud >$ thin films affect of the substrat , journal of Alloys and Compounds , VOL, N° , 1, p 350-3552009
- [17] **M.I. B.Bernardri , N.E Soledad, I. Santos ,E.RLeite , ELongo, J.A Varela,** Influence of the concentration of Sd_2O_3 and the viscosity of the precursor solution on the electrical and optical properties of SnO_2 thin films produced by the pechini method, Thin solid Films , Vol.405,p.228-233,2002
- [18] **A.Khawwam Mohammed,** Studying the effet of Annealing on the Structural and Optical Propeties of($Zn_{1-x}Fe_xO$)Thin Films Prepared by Chemical Spray Pyrolysis M ethod , Thusis the Degree of M.Sc Diyala Universite, Iraq , 2014.
- [19] **O,Boussoum ,** "Etude de l effet d une couche mince de sur les paramètres d une cellule solaire au Silicium" .Thèse de Magister Universite Mouloud M amerrie de Tizi-Ouzou , pp(43-44), Algérie (2011).
- [20] **F. Ynineb.**"Contribution a l'elaboration de couche minces d oxydes transports conduc- tours (TCO)", Mémoire du magister , Universite . Constantine , Algérie (2010).

- [21] **Dr. Davide . Ginley** , "Han book of Transparent Conducator " , Springer Science &Business Media, p534, (2010).
- [22] **D.B.PENGRA,J.STOLENBERRY**, R. VANDYCK, O. VILCHES, the Hall effect ,(2015).
- [23] **A. RAHAL**, " élaboration des verres conducteurs par déposition de ZnO sur Des verres ordinaires " , mémoire , université d El-Oued, 8-14, Algérie (2013).
- [24] **A.RAHAL** , " optimisation des conditin operatoires des couche minces de SnO₂ elaborees par ultrason "thèse de doctorat , universite de Biskra , 12-19,78, Algérie (2017).
- [28] **A. GAHTAR**, "élaboration et caractérisation des couche minces ZnO dopee en Aluminium déposées par spray ultrasonique " , mémoire de magister , université d El-Oued, Algérie
- [29] **K.L. Menour** , Etude et réalisation d une clulle solaire multicouches du type Si-SiO₂ - SnO₂ - ZnO par APCVD , Mémoire de Magister ,Universite Mouloud Mammeri , Tizouzou, 2011.
- [30] Chopra K.L.Thuin Film Phenomena. McGraw-Hill,1969.0882757466
- [31] **A.Rahal**, Elaboration des verrs conducteurs par deposition de ZnO sur des verres on dinaries . Universite d El oued.2013
- [34] **K.L.Chopra** , "Thuin Film Phenomena " Mc .Graw- Hill, New York ,(1985)
- [35] **AMARASAAD**."Caractérisation optique et structural des couches minces d oxyde complewes pour applications Photonique " , thèse de doctorat , universite de Sétif 1, Algérie (2015).
- [36] **R. Kareem Ismail AL-ageedie**, " Studying the effet of Thickness and Annealing on the Structural and Optical Propretés of () Films Prepared by Chemical Spray Pyrolysis Method " , Thusis the Degree of M. Sc . Diyala Université , Iraq, (2014) .
- [37] **S.M.H.Al-Jawad , A.S.Sabr , A.K.Elttayef** , " Doping Effet on Structure . Optical , & Sensing Propeties of Nanocrystalline (SnO₂) "
- [38] **A.Y.Saleh Aube-Yaqoud** , " Electrochromic Propretés of Sol-gel Ni-O based Films " , An- Najah National Université , Nablus , P alestine .(2012).

[42] **B. J. Thompson** , Optical Science And Engineering , Thésée doctorat , Univ of Rochestes , New Yourk , Americana , 1964.

[43] **A. Altaweel** , " Synthèse de nanostructures d oxyde de cuivre par micro-post-decharge micro – ondes a pression atmospherique" , Thésée de doctorat , Univeresite de Lorraine (2014).

[44] **A. Chapelle**, " Elaboration et Caractérisation de Films minces nano composites obtenus par pulvérisation cathodique radiofréquence en vue de leur application dans le domaine des capteurs de Co_2 " , These de doctorat, Université , de Toulouse ,(2012).

[45] **S.Mehadjbi** , "La synthèse des nano poudres de CuO avec la méthode précipitation Sci-Gel en utilisant le précurseur $CuSO_4$ et l étude de leurs propriétés structurales et optiques" Mémoire de Magister , Universite Mentouri-Constantine ,(2015).

[50] **F.Belaid , L.DjouadJ**, " Application electrocatalytique des couches minces de CuO_2 vis- a-vis de l'oxydation du fructose et des ions sulfites " Mémoire de Master , Université AMIRA – Bejaia, (2016).

الفصل الثاني

تقنيات الترسيب وطرق التوصيف

تمتلك الأغشية الرقيقة خصائص و مميزات لا تكون متوفرة في تراكيب المواد الأخرى . فحقيقة سمكها المتناهي في الصغر و كبر نسبة السطح الى الحجم منحها تركيباً فيزيائياً فريداً يضاهي تركيب أحادية البلورة أحيانا [1]. و يفوقها أحيانا أخرى , وتتمتع الأغشية بخصائص فيزيائية تختلف عن خصائص المواد المكونة لها و هي في حالتها الحجمية (Bulk) [2] . ان التطبيقات الواسعة و المهمة في مجال الطبقات الرقيقة على اختلاف أنواع المواد و مواصفاتها أوجبت الحاجة الماسة الى ظهور تقنيات تحضير تلائم خصائص تلك الاغشية و مجالات تطبيقاتها لذا شهدت تقنيات التحضير تطورات كبيرة [3,4] , و أصبحت على درجة عالية من الدقة في تحديد سمك الطبقة و تجانسها, ان استخدام طريقة دون غيرها يعتمد على عدة عوامل من أهمها المادة المستخدمة و مجال استخدام الاغشية المحضرة و كلفة التحضير , اذ تكون بعض الطرائق مناسبة لمواد معينة و غير مناسبة لمواد أخرى و بعضها تكون سهلة الاستعمال و بعضها الاخر تكون معقدة [5,6] .

سنتعرف في هذا الفصل على مفهوم الطبقات الرقيقة و طرق نموها و مبدأ ترسيبها اضافة الى بعض الطرق الفيزيائية و الكيميائية لتحضيرها . و قد تم اختيار طريقة الرش الكيميائي الحراري في بحثنا الحالي .

1. II . مفهوم الطبقات الرقيقة :

يستعمل مصطلح الأغشية الرقيقة لوصف طبقة أو طبقات عديدة من ذرات المادة لا يتعدى سمكها ميكرومتر واحد أو عدة نانومترات و هذا السمك يتغير من مادة لأخرى و هذا في الغالب يكون تبعاً للخواص الفيزيائية و لأنها رقيقة و هشّة (سهلة الكسر) يجب ترسيبها على مادة صلبة (الركيزة) مثل الزجاج أو السيليكون أو بعض الأملاح بحسب طبيعة الدراسة [1] . الفرق الجوهرى بين المادة في الحالة الصلبة و حالة الطبقات الرقيقة يتمثل في أنه : في الحالة الصلبة للمادة عموماً نهمل دور الحدود (السطوح) في الخصائص , ولكن في حالة الطبقات الرقيقة على العكس تأثير السطوح على الخصائص يكون هو الغالب [7] . تمتلك الأغشية الرقيقة خصائص فيزيائية تختلف عن خصائص المواد المكونة لها و هي في حالتها الطبيعية . [2]

II. 2. مبدأ ترسيب الطبقات الرقيقة :

لترسيب طبقة رقيقة على سطح ركيزة صلبة يجب أن تمر جسيمات المادة المكونة للشريحة عبر وسط ناقل بحيث يكون هذا الوسط في اتصال مباشر مع الركيزة . بمجرد وصول الجسيمات لسطح الركيزة جزء منها يتمسك بالسطح من خلال قوى فاندر فالز (Vender Waals), أو تتفاعل كيميائياً معها. حيث تكون هذه الجسيمات اما أيونات أو جزيئات وقد تكون ذرات أما بالنسبة لوسط النقل فيكون غالبا سائلا, غازا أو فراغا [8].

أ- وسط سائل : تمتاز هذه الطريقة بسهولة استخدامها و يرجع ذلك لتنوع طرق الترسيب في هذه الحالة مثل :طريقة المحلول الهلامي .

ب- وسط غازي أو فراغ : يعتبر هذا الوسط الأكثر استخداما في مختلف طرق الترسيب مثل :الترسيب الكيميائي للأبخرة ويكمن الاختلاف الأساسي بين الوسط الغازي و الفراغ في متوسط المسار الحر للجزيئات (المسار بين تصادمين).

كما يجب الإشارة الى أنه توجد طريقة مرجعية لترسيب الطبقات الرقيقة حيث يمكن استخدام طرق متنوعة اضافة الى ذلك فان تحضير الركيزة خطوة مهمة للحصول على شرائح جيدة [9] .

II. 3. مراحل تشكل و نمو الطبقات الرقيقة :

تعد البنية المجهرية للطبقات الرقيقة حساسة للغاية للخصائص الفيزيائية و الكيميائية للمادة المعينة خلال نموها و كذلك الشروط الفيزيائية للترسيب في كل مرحلة من مراحل تطور الطبقة الرقيقة بحيث تخضع مجمل الطرق الى :

تركيب الطبقات الرقيقة الى ثلاث مراحل و هي :

✚ انتاج الأنواع الأيونية و الجزيئية , الذرية المناسبة .

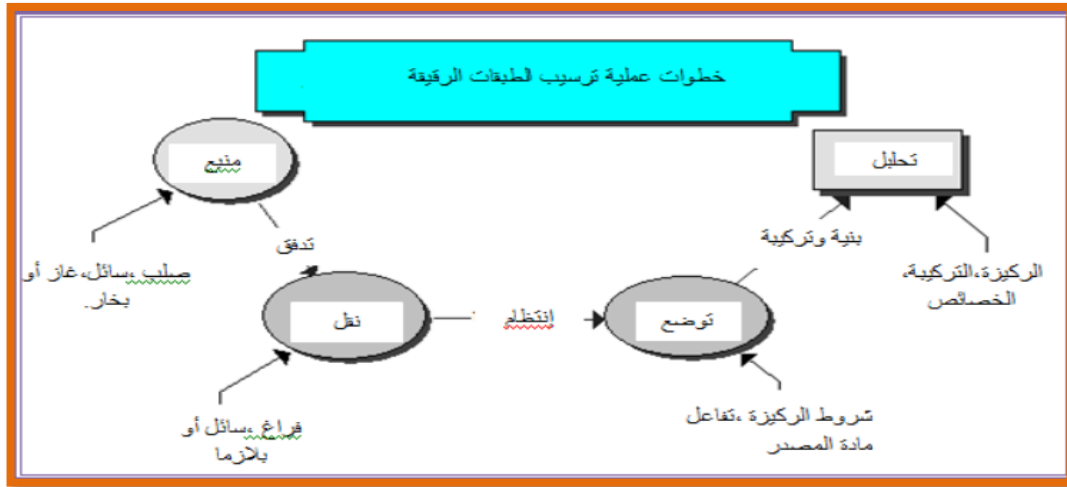
✚ نقل هذه الأيونات , الجزيئات و الذرات الى الركيزة .

✚ يتم تكثيف هذه العناصر المنتجة على الركيزة اما بطريقة مباشرة أو عن طريق التفاعل

الكيميائي لتشكيل ترسبات على هذه الركيزة . وغالبا ما يحدث في هذه الخطوة الأخيرة

المراحل الثلاث الالية و هي :الأنوية المنشأة والالتحام و النمو [10] .

✚ عمليات ترسيب الطبقات الرقيقة موضحة في الشكل (II -1).



الشكل (II - 1) : عمليات ترسيب الطبقات الرقيقة [11] .

ويتم تشكيل و نمو الطبقة المتوضعة بشكل رئيسي في الخطوات التالية :

❖ مرحلة توضع الذرات :

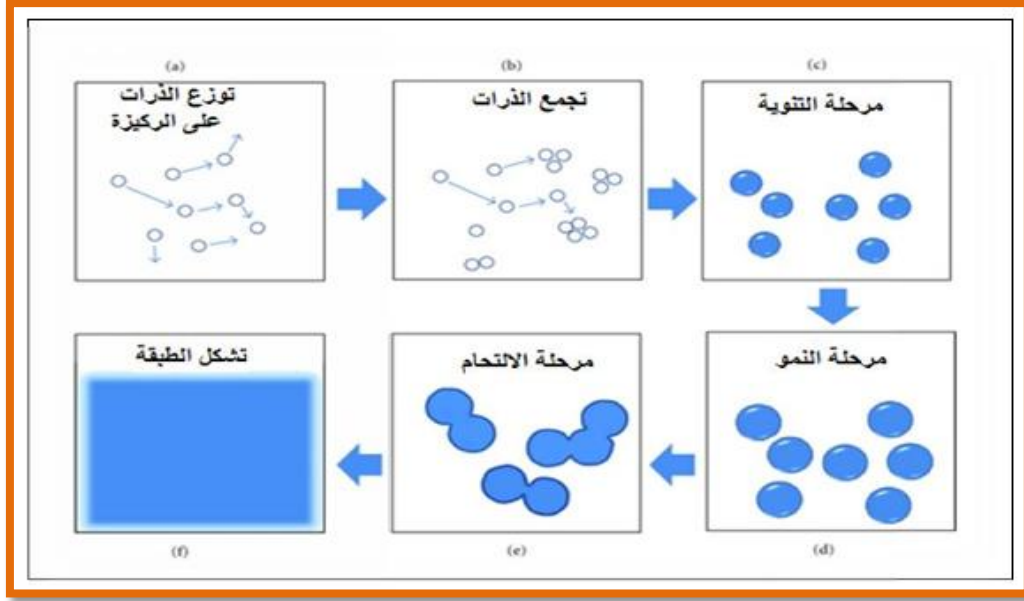
توافق هذه التغيرات التي تطرأ على حالة المادة و تتمثل هذه التغيرات في نقطة التحول التي تطور حالة المادة الى بنية فيزيائية أو كيميائية جديدة , تحول هذه المادة الى رذاذ و ترش على سطح الركيزة و يتم تكثيفها فيزيائيا من قبل سطح الركيزة بحيث تتفاعل ذرات المادة مع الركيزة و تشكل ما يعرف باسم المجموعات و تسمى بالأنوية المنشأة [9] .

❖ مرحلة الالتحام :

هي الخطوة الثانية من عملية تشكل الطبقات و تمتاز هذه المرحلة بالتحام المجموعات فيما بينها لتشكيل طبقة تغطي تدريجيا الركيزة [9] .

❖ مرحلة النمو :

تعد مرحلة النمو المرحلة الأخيرة في عملية تركيب الطبقة الرقيقة كما تعد هذه الظاهرة بمثابة تكملة لعملية الالتحام بحيث يتم تشكيل طبقة مستمرة و ذلك عن طريق ملأ الفجوات (الفراغات) و ذلك بزيادة درجة حرارة الركيزة والشكل (II - 2) يلخص المراحل الثلاثة [12] .



الشكل (II- 2) : رسم تخطيطي يوضح مراحل تشكل الطبقات [10].

II. 4. تصنيف أنماط نمو الطبقات الرقيقة :

لوحظ تجريبيا ظهور ثلاثة أنماط لنمو الطبقات الرقيقة وهي [13] :

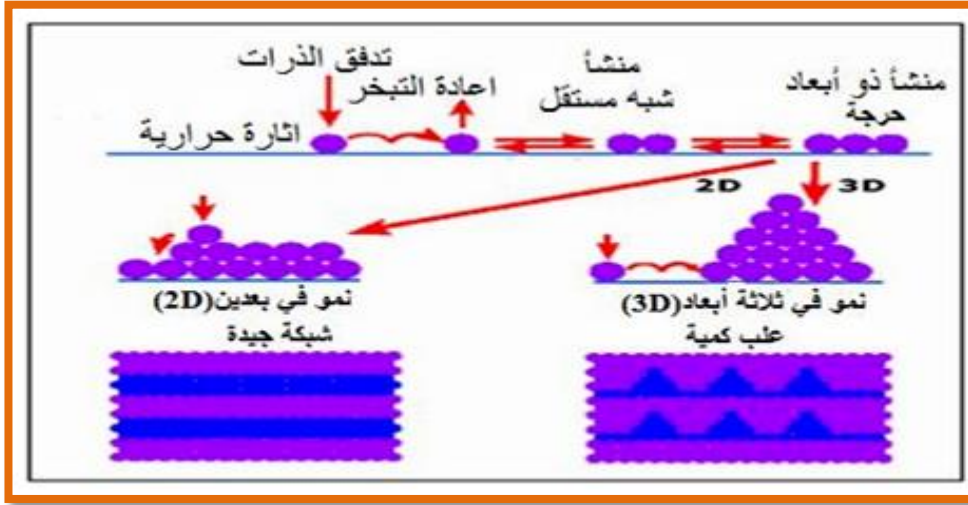
✚ نمط نمو ثنائي الأبعاد (2D) وفي هذا النمط يتم ترسيب الذرات طبقة بعد طبقة على الركيزة و يدعى عادة بنمط (Frank – Van der Merwe) . حيث عندها طاقة الربط بين الذرات المتوضعة أقل من أو يساوي طاقة الربط بين الطبقة الرقيقة والركيزة .

✚ نمط نمو ثلاثي الأبعاد (3D) وفيه تنمو الطبقات الرقيقة على شكل مجموعات و يسمى نمط (Weber – Volumer) . هذا النمط من النمو عادة ما يفضل

✚ لأن الذرات التي تشكل الطبقة المتوضعة تكون شديدة الالتصاق مع الركيزة مثل نمو طبقة من معدن على ركيزة عازلة .

✚ النمط المختلط و يسمى عادة نمط (Stranski - krastanov) و هو عبارة عن مزيج بين النمطين السابقين . النمو الأول ثنائي الأبعاد لتشكيل الطبقة الأولى أو الطبقات و مع ذلك بما أن طاقة التفاعل بين الذرات المتوضعة على السطح و الركيزة تنخفض تدريجيا و النمو يميل الى أن يصبح ثلاثي الأبعاد .

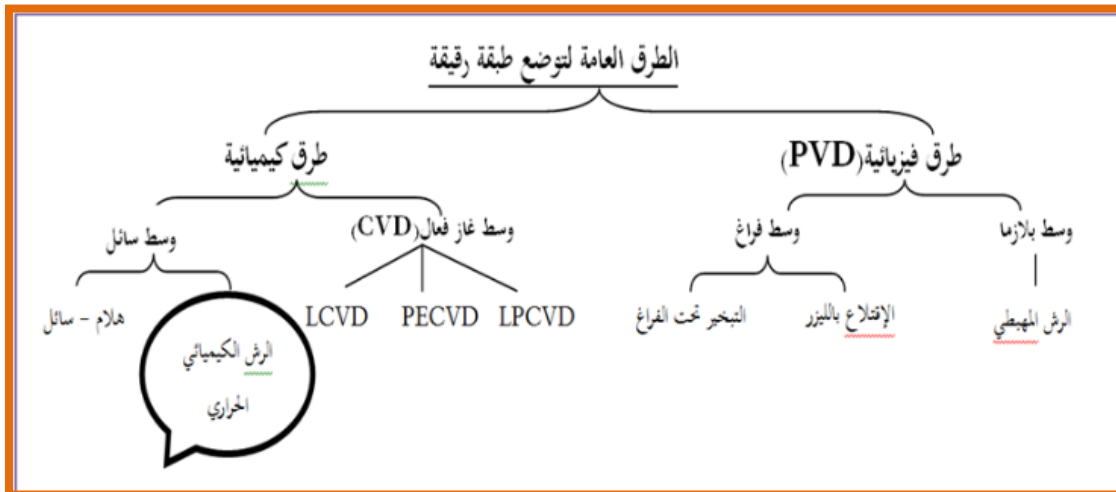
وتوضح كل هذه الأنماط في الشكل (II-3) .



الشكل (II-3) : مخطط لمختلف أنماط نمو الطبقات الرقيقة [14].

II. 5. ترسيب الطبقات الرقيقة :

ان التطبيقات الواسعة و المهمة في مجال الأغشية الرقيقة دفعت الباحثين الى استحداث طرائق مختلفة لتحضيرها و نتيجة للتطور العلمي فقد تطورت طرائق تحضير الأغشية و أصبحت على درجة عالية من الدقة في تحديد سمك الغشاء و تجانسه . و الشكل أدناه يوضح الطرق الأكثر شيوعا المستخدمة في اعداد الطبقات الرقيقة [15] . وعليه يمكن تقسيم طرق التحضير الى نوعين أساسيين كيميائية و فيزيائية .



الشكل (II-4) : مخطط يوضح تقنيات توضيع الطبقات الرقيقة [16].

II. 1.5. الطرق الفيزيائية :

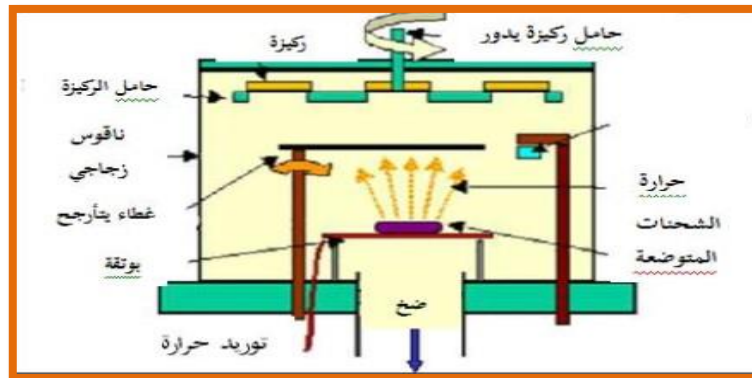
يمكن استخدام الطرق الفيزيائية على مجموعة من المواد بما في ذلك أشباه الموصلات .

II. 1.1.5. التوضع الفيزيائي للطور البخاري (PVD) :

تعتمد تقنية الترسيب الفيزيائي للأبخرة على عملية التبخر الحراري للمواد تحت ضغط منخفض كما تمتاز بعدة مميزات مقارنة بطريقة الترسيب الكيميائي للأبخرة (CVD). على سبيل المثال الأفلام التي يتم الحصول عليها عن طريق الترسيب الفيزيائي للأبخرة (PVD) تكون أكثر كثافة ويتم التحكم في عملية التوضع بسهولة كما أنها تعد من التقنيات الغير ملوثة و من بين طرق الترسيب الفيزيائي الأكثر استعمالا نجد طريقة التبخر تحت الفراغ , الرش المهبطي و الاقتلاع بالليزر [17] .

II. 1.1.1.5. التبخير تحت الفراغ :

تعتمد هذه التقنية على تبخير المادة المراد ترسيبها و ذلك بتسخينها تحت درجات حرارة عالية و تتم هذه العملية داخل بوتقة مفرغة من هواء تحت ضغط يتراوح من 10^{-4} pa الى 10^{-3} pa [18] . المواد التي تبخرت تترسب على سطح الركيزة عن طريق عملية التكثيف و التي تتشكل على سطحها طبقة رقيقة من هذه المادة , بحيث تختلف طرق التسخين منها التسخين باستخدام فعل جول أو باستخدام حزمة الكترونات مكثفة عالية الطاقة , حيث تستخدم الطريقة الأولى للمواد سهلة الذوبان أما الطريقة الثانية فهي تستخدم المواد المقاومة للحرارة . عندما يكون الضغط ليس منخفضا بما فيه الكفاية فان الترسيب يكون قليل التماسك [19] . كما هو موضح في الشكل (II-5) .



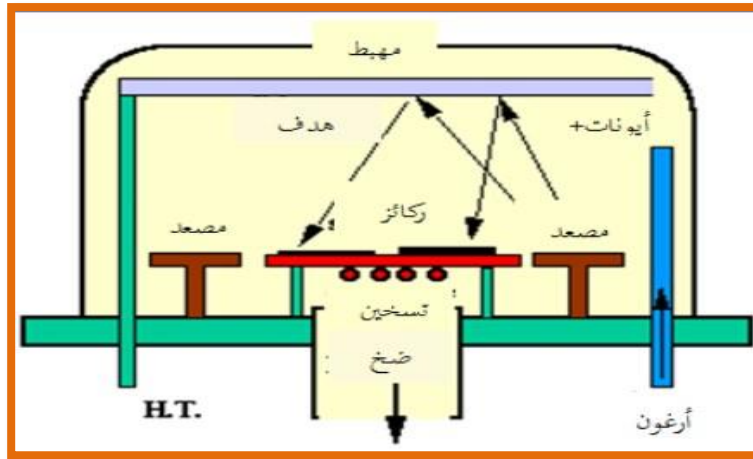
الشكل (II-5): رسم يوضح التوضع الفيزيائي لطور البخار [20] .

ومن مساوئ هذه التقنية [21] .

- الطبقات المتوضعة تكون ضعيفة الالتصاق بالركيزة .
- تحتاج الى طاقات عالية .
- المواد المستعملة يجب أن تكون لديها نقطة انصهار عالية
- الطبقات قد تكون ملوثة من خلال التفاعل مع البوتقة .

II . 2.1.1.5 . الرش المهبطي :

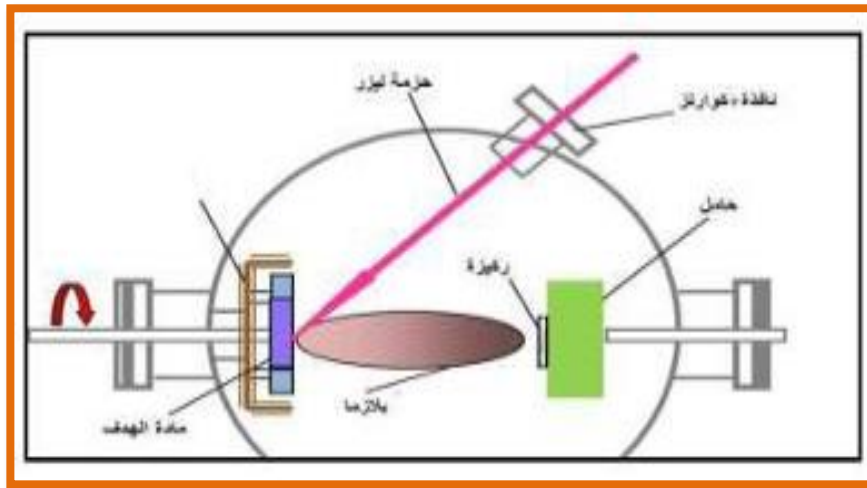
يمثل الشكل (II-6) الرسم التخطيطي لمبدأ الرش المهبطي و الذي يتمثل في اقتلاع ذرات مادة الهدف بواسطة قذفها بأيونات طاقوية ناتجة عن التفريغ الكهربائي للغاز المستخدم (غاز خامل و ثقيل كغاز الأرجون) .تثبت مادة الهدف على المهبط الذي يحمل فرق جهد يتراوح بين (3 الى 5KV) . بالنسبة للمصعد و موازيا له تفصل بينهما مسافة بضع سنتيمترات (بين 3 الى 5cm) . اذا كان الضغط المطبق بين اللبوسين يتراوح بين (1 الى 10^2 pa) تتسارع الأيونات الطاقوية تحت تأثير الحقل الكهربائي الناتج نتجهة نحو المهبط فتتصادم مع مادة الهدف و يتبادلان كمية الحركة فيما بينهما , ينتج عن ذلك اقتلاع ذرات محايدة كهربائيا تتوضع على الركيزة مشكلة طبقة رقيقة [17] .



الشكل (II-6) : رسم تخطيطي لتقنية الرش المهبطي [22] .

3.1.1.5. II. الاقتلاع و الترسيب بالأشعة (الاقتلاع بالليزر) :

هي تقنية تتمثل في ارسال حزمة ليزر مكثفة على هدف كبير بالنسبة للحزمة (الهدف مصنوع من المادة المراد ترسيبها) بحيث تكون استطاعتها عالية بما فيه الكفاية لإخراج كمية من مادة الهدف التي تكون عمودية على سطح الركيزة لتشكيل سحابة من المادة المقتلعة التي تترسب على الركيزة الساخنة وهذا من أجل توفير الطاقة اللازمة لتحفيز تبلور الطبقة الرقيقة . بحيث هذه الأخيرة تكون موضوعة على التوازي مع الهدف كما هو مبين في الشكل (II-7) . تجريبيا , فقد لوحظ تحسن في نوعية الترسيبات عن طريق هذه التقنية ويرجع ذلك الى الحد من عيوبها وزيادة حجم الحبيبات . ومع ذلك فمن عيوب هذه التقنية محدوديتها بسبب التكلفة الباهظة لليزر [24,23] . كما أن لهذه التقنية العديد من المزايا بما في ذلك بساطة تنفيذها , الالتصاق الجيد , امكانية استخدام أهداف صغيرة و بالإضافة الى ذلك ان هذه التقنية لا تتطلب أي مصدر للحرارة المسببة للتلوث [25] .

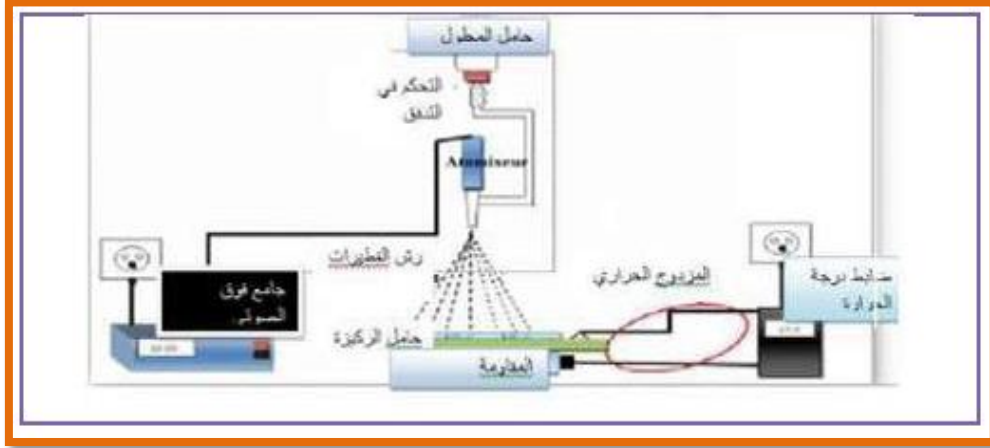


الشكل (II-7) : رسم تخطيطي يوضح عملية الترسيب بتقنية الاقتلاع بالليزر [26] .

2.5. II. الرش بالموجات فوق الصوتية :

هذه الطريقة تعتمد على رش المحلول المكون من العناصر المتفاعلة على شكل رذاذ باستغلال طاقة الأمواج فوق الصوتية عن طريق مولد الموجات فوق الصوتية عالية التردد (40KHz) و هذا بهدف تقسيم المحلول الابتدائي السائل الى حبيبات رذاذ صغيرة (قطرات متناهية الصغر) قطر كل منها في حدود $40 \mu\text{m}$ على ركيزة ساخنة بحيث توفر درجة الحرارة طاقة التنشيط لتفاعل الكيميائي بين المركبات [27] .

بحث يمكن تحقيق هذه التقنية في الهواء (الضغط الجوي) [28] , كما يمكن تحقيقها في غرفة تحت الفراغ [29] .

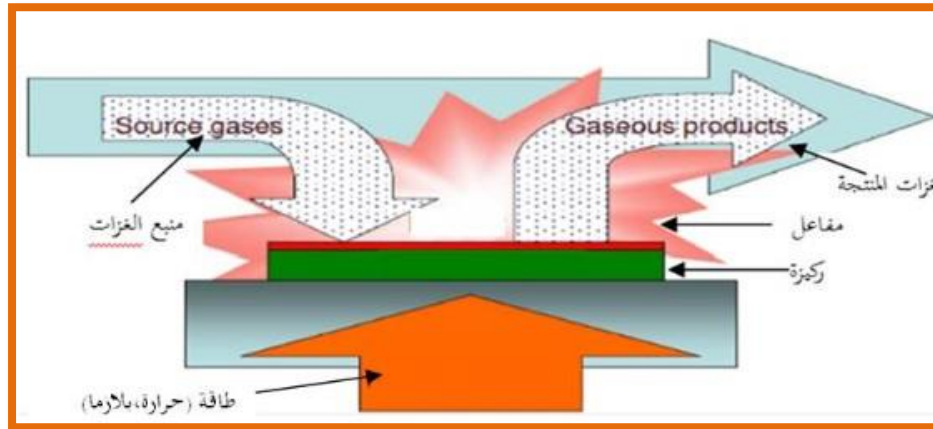


الشكل (II-8) : رسم تخطيطي يوضح عملية الترسيب بتقنية الرش بالموجات فوق صوتية [30] .

II. 3.5. الطرق الكيميائية :

II. 1.3.5. التوضع الكيميائي لطور البخاري (CVD) :

أول استخدام لهذه التقنية كان سنة 1983 م (لتوضع التنغستن من أجل المصابيح المتوهجة) [31] . فتقنية (CVD) تشير لنا من خلال اسمها على أنها تشكيل طبقة على ركيزة انطلاقاً من التفاعلات الكيميائية بين المكونات المستخدمة في أشكالها الغازية و ذلك عن طريقة طاقة التنشيط . هذا التفاعل الكيميائي يتطلب توريد حرارة من الركيزة سواءاً بفعل جول الحث , الاشعاع الحراري أو الليزر . الشكل (II-9) يوضح مبدأ تقنية (CVD) [20] .



الشكل (II-9) : رسم يوضح مبدأ تقنية (CVD) [20] .

عموما تتضمن منظومة ثلاثة أجزاء رئيسية [31] .

- ✓ جهاز تغذية المكونات الغازية .
- ✓ مفاعل الترسيب و هو نوعان : مفاعلات الجدار الساخن و مفاعلات الجدار البارد .
- ✓ جهاز استرجاع / اعادة تدوير الغاز .

و هناك عدة طرق لتقنية (CVD) من بينها :

أ- تقنية التوضع الكيميائي للأبخرة تحت ضغط منخفض (LPCVD) .

التوضع يتم تحت ضغط منخفض كما أنه يوجد هناك نوعان من المفاعلات [20] :

- مفاعل الجدار الساخن : في هذه الحالة الحاوية كلها ساخنة مما يسمح لنا بإجراء التوضع عند ضغط منخفض يقدر بحوالي 9,99Pa كما أن التوضع على الركيزة يكون جيد .
- مفاعل الجدار البارد : الركيزة فقط ساخنة بحيث يكون التفاعل غير فعال على مستوى الركيزة كما أن التوضع يجرى في الضغط الجوي .

ب- تقنية التوضع الكيميائي بواسطة البلازما (PECVD) .

تستخدم هذه الطريقة البلازما لتنشيط التفاعل الكيميائي , كما أن هذا التفاعل يتم في درجة الحرارة المنخفضة أقل من $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, لأن درجات الحرارة العالية تؤدي الى ظهور شوائب على مستوى الطبقة المتوضعة , غير أنه لتحسين جودة الطبقات المتوضعة فمن الضروري تسخين الركائز قليلا [32] . ومن عيوب هذه التقنية امكانية تفاعل المسند مع البلازما و بالتالي الحصول على شريحة غير متجانسة على طول المسند [33] .

ج- تقنية التوضع الكيميائي للأبخرة بواسطة أشعة الليزر (LCVD) [32] .

يتم استخدام أشعة الليزر اما لتفعيل المواد الغازية و اما لتسخين الركيزة لزيادة التفاعل على سطحها. من اجابيات هذه التقنية أنها سهلة التنفيذ , تسمح بالحصول على ترسبات في سرعة عالية , تكوين طبقة رقيقة ذات سمك و تركيب متجانس بالاضافة الى الالتصاق الجيد. إلا أن لهذه التقنية سلبيات تتمثل في درجة حرارة التفاعل العالية جدا في كثير من الأحيان , تكوين طبقات رقيقة ملوثة بفعل بقايا المستحضرات الغازية .

II 2.3.5. تقنية هلام - سائل (Sol-gel) :

عرفت تقنية المحلول الهلامي منذ أكثر من 150 عاما وذلك بفضل أعمال العالم Ebelmen [34]. حيث يتمثل المبدأ الأساسي لهذه التقنية في ترسيب طبقة رقيقة صلبة انطلاقا من محلول سائل و ذلك عن طريق مجموعة من التفاعلات الكيميائية عند درجة حرارة الغرفة [32]. حيث تتم عملية الترسيب في ثلاثة خطوات هي : [32].

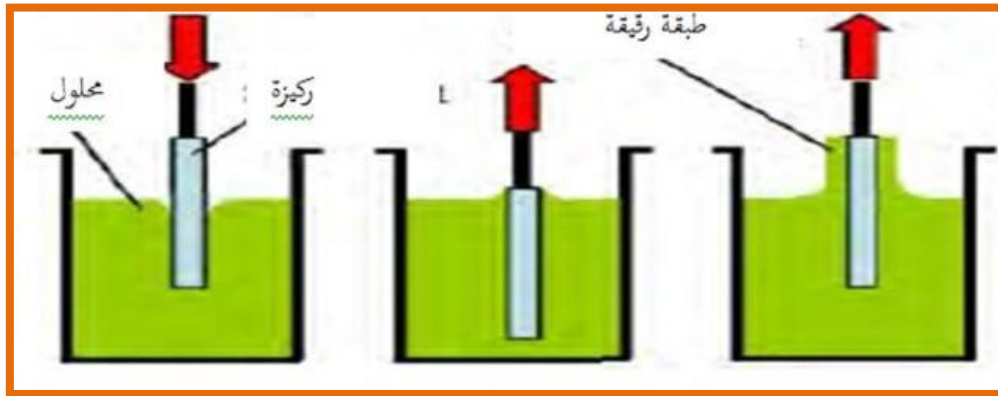
- تحضير محلول التوضع .
- تشكيل طبقات رقيقة .
- المعالجة الحرارية .

وهناك عدة طرق يمكن استعمالها لترسيب طبقات بتقنية هلام - سائل ومن بينها

طريقتين أساسيتين :

أ- طريقة الترسيب بالغمر (Dipcoating) .

الشكل أدناه يشير الى الخطوات الأساسية لهذه العملية . حيث يتمثل مبدأ هذه التقنية في غمر الركيزة في محلول ثم سحبها بسرعة ثابتة ثم تجفف الركيزة في الهواء فنحصل على طبقة ذات طبيعة هلامية , و أخيرا تخضع لعملية المعالجة الحرارية لإعطاء طبقة صلبة ذات نوعية جيدة [32].

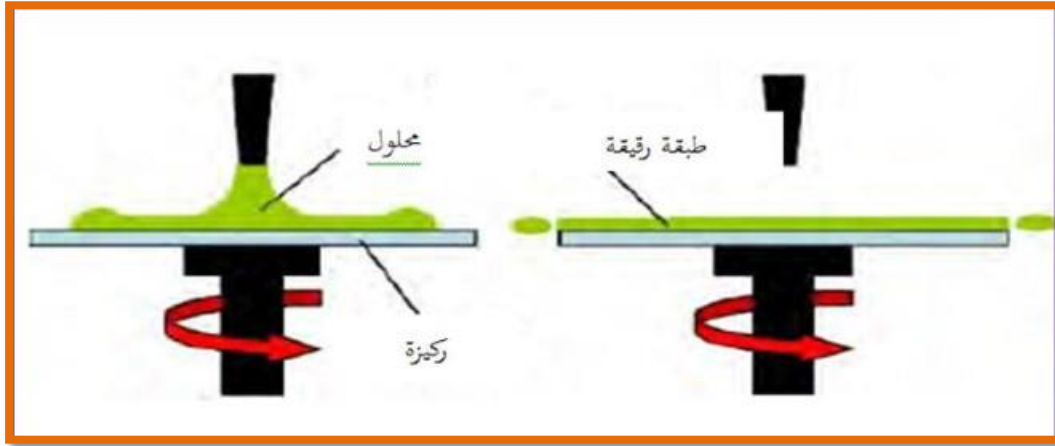


الشكل (II-10) : مخطط لتقنية Sol-Gel بطريقة الغمر [25].

ب - طريقة الترسيب الدورانية (Spin coating) .

تستند هذه الطريقة على نفس المبدأ السابق إلا أن هذه الطريقة تعتمد على صب المحلول قطرة قطرة على ركيزة دائرية تدور بسرعة عالية (آلاف الدورات في الدقيقة)

فتتوزع مادة الترسيب على الركيزة بفعل قوة الطرد المركزي [35] كما في الشكل (II- 11).



الشكل (II- 11) : مخطط لتقنية Sol-Gel بطريقة الترسيب الدورانية [36].

عموما يتم وصف هذه الطريقة في أربع خطوات :

- يوضع محلول الترسيب على ركيزة ثابتة .
- يتم تدوير الركيزة الى غاية السرعة القصوى المطلوبة حيث يتجانس توزيع المحلول بفعل القوة الطاردة المركزية كما يتم اخراج فائض السائل المتوضع بفعل هذه القوة أيضا .
- تثبيت سرعة المسند للتحكم في سمك الطبقة .
- تتبخر المذيبات و تتشكل طبقة هلامية .

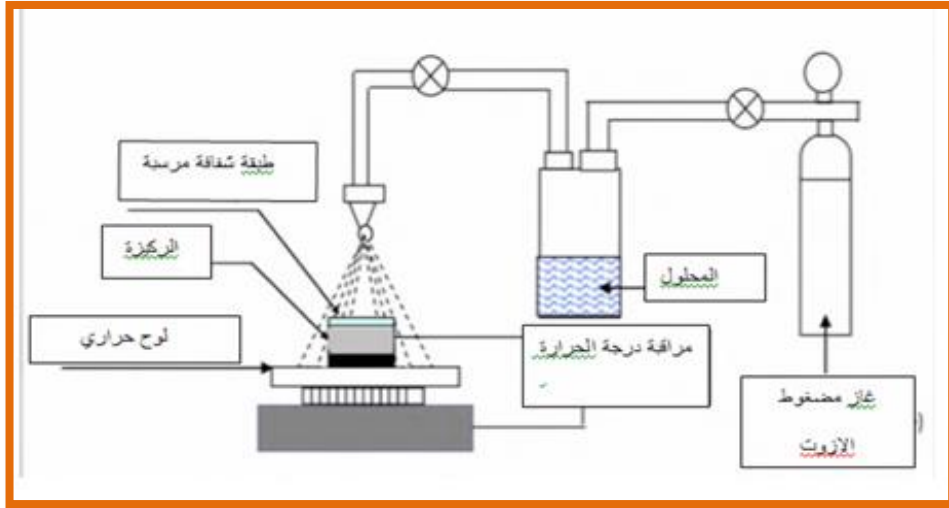
بالرغم من ايجابيات تقنية هلام - سائل المتمثلة في درجة الحرارة المنخفضة , النقاوة

العالية . إلا أنه كيميائيا تعد هذه الطريقة معقدة نوعا ما [25] .

II 3.3.5. طريقة الرش الكيميائي الحراري (Chemical Spray Pyroly Method) :

تعد هذه التقنية من الطرق الكيميائية و هي الطريقة المتبعة في بحثنا الحالي . وقد تطورت في الستينات من القرن الماضي و ذلك بسبب الحاجة الملحة الى تقنية أقل كلفة لتحضير الألواح ذات المساحات الكبيرة في الصناعات الفوتوفلتائية . حيث حضرت الأغشية الرقيقة للكبريتيدات و السيانيدات غير العضوية بالتحلل على قاعدة ساخنة .

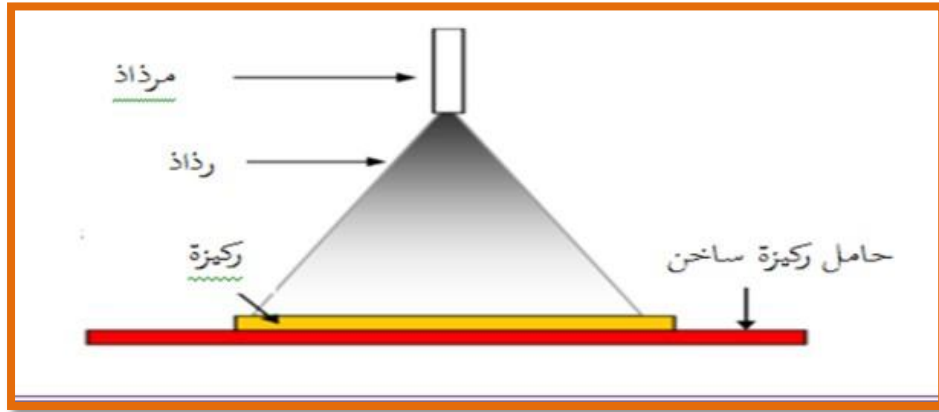
و أول من استخدم هذه الطريقة الباحثان (Hotle & Auger) عام 1959 م اذ قاما بتحضير غشاء من النحاس الأسود على قاعدة الألمنيوم باستخدامه سطحاً انتقائياً [37] .
و هي تقنية تعتمد على رش المحلول الذي يحوي ذرات المادة المراد تحضير منها الطبقة الرقيقة بالاستعانة بضغط الهواء على شكل رذاذ على سطح الركيزة الساخنة بحيث تتفاعل المواد الكيميائية مكونة لطبقة صلبة و تستخدم هذه التقنية لمعالجة السطوح , كما تستخدم في البحوث العلمية من أجل تحضير طبقات رقيقة متفاوتة السمك . وهي تمثل طريقة إنتاج بسيطة و غير مكلفة . كما أنها تستخدم لترسيب طبقات رقيقة كثيفة , طبقات مسامية و كذلك لإنتاج مسحوق أو طبقات متعددة فوق بعضها حيث استخدمت هذه الطريقة المرنة لعدة عقود في صناعة الزجاج و إنتاج البطاريات الشمسية [38] .



الشكل (II-12): مخطط يوضح منظومة الرش الكيميائي الحراري [39] .

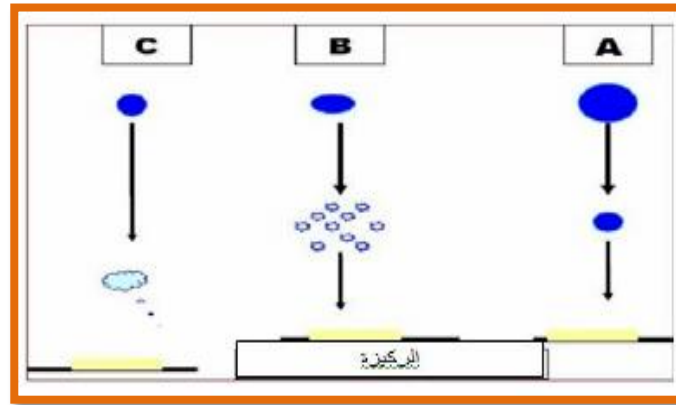
II. 1.3.3.5. مبدأ تقنية CSP :

تتلخص هذه الطريقة برش محلول المادة المراد تحضير الغشاء منها على قواعد ساخنة و بدرجة حرارة معينة من نوع المادة المستخدمة , اذ يحدث تفاعل كيميائي بين ذرات المادة و القاعدة الساخنة و نتيجة هذا التفاعل يتكون الغشاء الرقيق [40] . الشكل (II-13).



الشكل (II-13) : يوضح مبدأ تقنية الرش الحراري [41].

ان مبدأ تكوين الأغشية الرقيقة بطريقة الرش الكيميائي الحراري يعتمد على حجم قطرة المحلول النازلة من جهاز الرش (Nozzle) لأن حجم القطرة اذا كبيرا فان الحرارة تكون غير كافية لتحويله الى بخار و هذا يؤدي الى تكوين راسب صلب غير متجانس , أما اذا كانت القطرة صغيرة جدا فان القطرة تجف قبل وصولها الى قاعدة الترسيب و أما اذا كان حجم القطرة متوسطا و هي الحالة المثالية (الحالة B) للترسيب اذ يتبخر المذيب قبل الوصول الى القاعدة و بالتالي تصل الى القاعدة الساخنة على هيئة بخار فيحصل التفاعل على القاعدة لتكوين الغشاء [42]. الشكل (II-14) يبين حجم القطرات الموضحة سابقا.



الشكل (II-14) : حالات الترسيب المختلفة اعتمادا على حجم القطرة المكونة [43].

II. 2.3.3.5. ايجابيات طريقة الرش الكيميائي الحراري :

- + تعد طريقة اقتصادية لقلة تكلفة الأجهزة المصنعة و المستخدمة في تحضير الأغشية .
- + يمكن تحضير أغشية ذات تجانس جيد وبمساحات كبيرة .

✚ يمكن تحضير أغشية على مدى واسع , لها درجات انصهار مختلفة و التي يصعب تحضيرها بطرق مختلفة .

✚ يمكن تغيير عوامل الترسيب للحصول على أغشية منتخبة من حيث الصفات التركيبية و البصرية و الكهربائية وذلك عن طريق مزج مادة أو مادتين أكثر أو تغيير تركيز العناصر الداخلة في تركيب الغشاء أو تغيير درجة حرارة القاعدة [42,44].

II 3.3.3.5. سلبيات طريقة الرش الكيميائي الحراري :

✚ تتطلب الكثير من الجهد و الوقت للحصول على أغشية متجانسة .
✚ تستخدم فيها المحاليل الكيميائية فقط , أي لا يمكن ترسيب مسحوق المادة بشكل مباشر أو باستخدام السبائك [42,44].

II 6. تقنيات معاينة و تحليل الأغشية الرقيقة :

هناك عدد كبير من الطرق و التقنيات لمعاينة الطبقات الرقيقة , وذلك لتحديد الخصائص البنيوية و الكهربائية و البصرية للأغشية المرسبة سنذكر منها :

II 1.6. طرق تحديد الخصائص البنيوية .

II 1.1.6. انعراج الأشعة السينية (DRX) .

تقنية انعراج الأشعة السينية تستخدم بشكل واسع في تحديد الخواص البنيوية للأجسام الصلبة , حيث تمكن من معرفة طبيعة التركيب البلوري و الأطوار الرئيسية و كذلك الاتجاه السائد للأغشية المحضرة في ظروف معينة و كذا دراسة التركيب الذري لها . و للوصول الى كل هذه المعلومات يجب الاستعانة بمنحنيات الانعراج الناتجة [45] .

II 2.1.6. مبدأ انعراج الأشعة السينية (DRX) .

عند تسليط حزمة أحادية الطول الموجي من الأشعة السينية على مادة جزء من هذه الحزمة تنعكس بواسطة المستويات الذرية للبلورات في اتجاهات معينة . حيث من أجل قياس حيود فوتونات الأشعة السينية , يجب أن يحدث انعكاس الحزمة بالنسبة للمستويات الذرية بزاوية معينة , حيث يعتمد مبدأ قياس حيود هذه الأشعة على قانون براغ [46] .

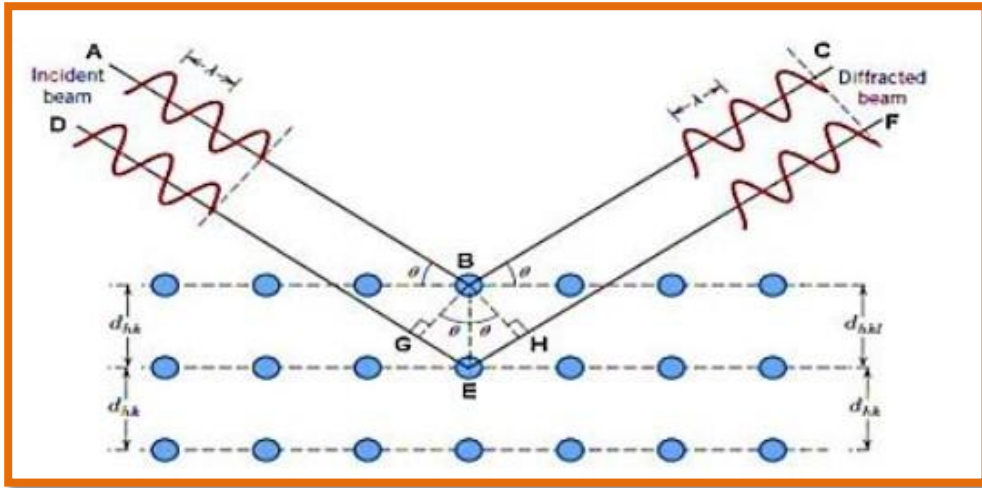
$$2 d_{hkl} \sin \theta = n \lambda \quad (1- \text{II})$$

حيث: d_{hkl} : المسافة بين مستويين بلوريين متتالين .

θ : زاوية انعراج الأشعة السينية .

λ : الطول الموجي للأشعة السينية .

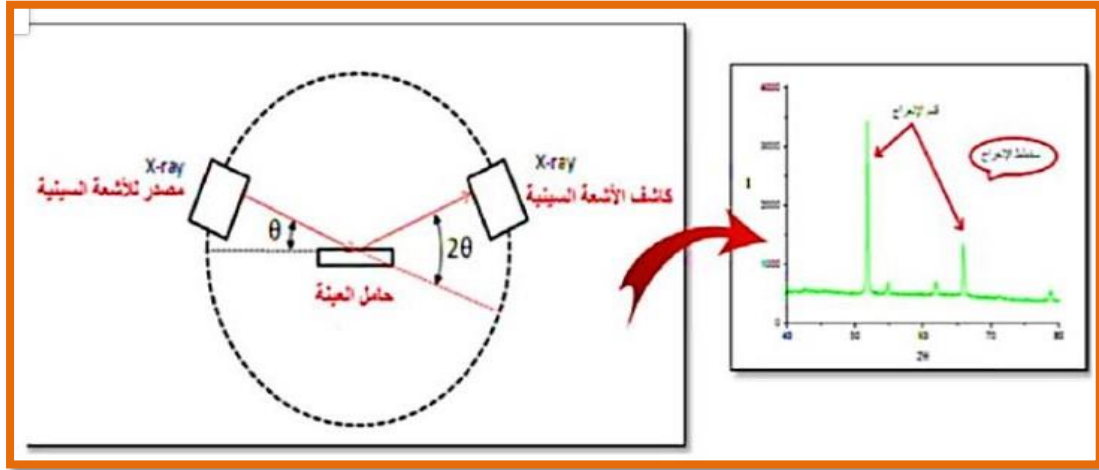
بين الشكل (15- II) الأشعة الساقطة بزاوية θ على عدد من المستويات المتوازية ذات الاحداثيات (hkl) و التي تنفصل عن بعضها بمسافة d_{hkl} , و كذلك بين الأشعة الممكنة عن تلك المستويات و بنفس زاوية السقوط θ [47] .



الشكل (15- II): رسم تخطيطي يوضح نمط حيود براغ [47] .

3.1.6. II جهاز انعراج الأشعة السينية .

يتكون جهاز انعراج الأشعة السينية من حامل العينة , كاشف الأشعة السينية و مقياس الزاوية الذي يتحرك عليه الكاشف لتسجيل شدة الأشعة المخرجة بدلالة الزاوية 2θ , حيث تولد مواضع الزاوية 2θ و شدات القمم المنعرجة مخططا ثنائي البعد يدعي مخطط الأشعة السينية المنعرجة .



الشكل (II- 16) : مخطط يظهر انعراج الأشعة السينية [48].

حيث توجد عدة طرق لتحديد التركيب البلوري تعتمد على شكل العينة ان كانت بلورة أحادية أو مادة على شكل مسحوق , وكذلك على نوع الأشعة المستخدمة ان كانت أشعة ذات طيف مستمر أو أشعة وحيدة الموجة [48].

II 4.1.6. المعلومات البنيوية .

❖ ثابت الشبكة .

نعلم أنه بالنسبة للخلية هناك علاقة تربط بين مستويات ميلر (hkl) والمسافة البينية d_{hkl} وثابت الشبكة للعينة ففي حالة الشبكة المكعبة والتي تمثل النمط السائد لتركيب (NiO) يتم الحصول على المسافات بين الشبكات d_{hkl} باستعمال العلاقة [49].

$$d_{hkl} = \frac{a^0}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \quad (2- \text{II})$$

❖ الحجم الحبيبي .

يتم حساب الحجم الحبيبي للأغشية والذي يتعلق بكل من الخواص البنيوية و الميكانيكية للمادة باستخدام علاقة شيرر التالية [47].

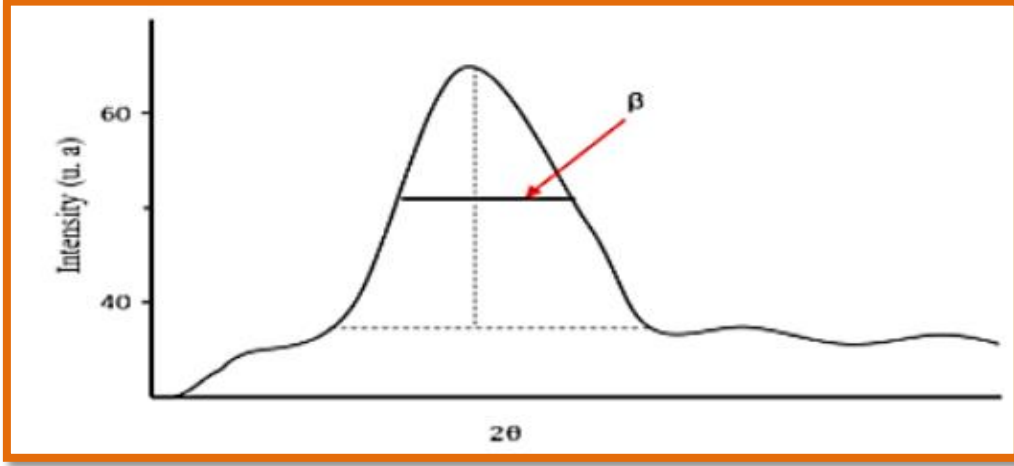
$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3- \text{II})$$

حيث :

β : قيمة العرض عند المنتصف (FWHM).

K : ثابت قيمته 0.9 .

θ : زاوية الانعراج .

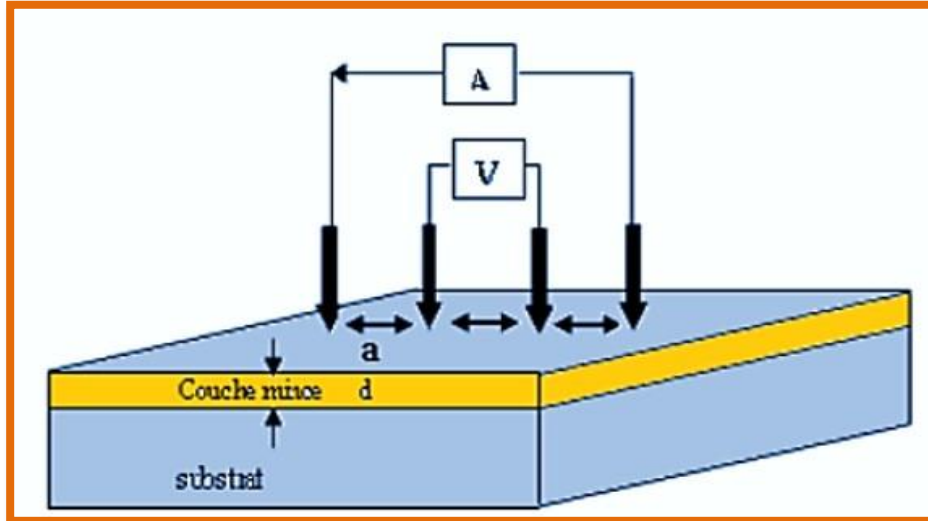


الشكل(Π-17) : طريقة تحديد عرض منتصف القمة β [50].

Π. 2.6. طرق تحديد الخصائص الكهربائية .

Π. 1.2.6. تقنية المسابر الأربعة .

تهدف تقنية المسابر الأربعة لمعرفة قيمة المقاومة السطحية R_{sh} و من ثم تحديد قيمة الناقلية للأغشية الرقيقة , حيث يتكون الجهاز من أربع مسابر متصلة بالعينة موضوعة بشكل مستقيم و المسافة بينهما متساوية , يعتمد مبدؤها على توفير مصدر تيار I يمر عبر المسابرين الخارجيين و يقاس الجهد U بين المسابرين الداخليين كما يوضحه الشكل(Π-18) .

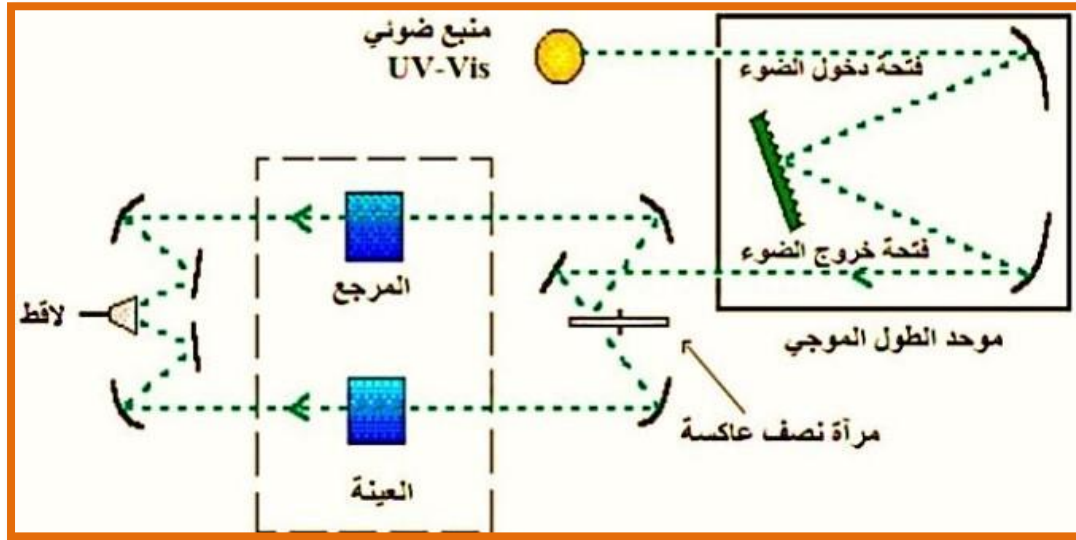


الشكل(Π-18) : رسم تخطيطي يوضح تقنية المسابر الأربعة [51].

II 3.6. طرق تحديد الخصائص الضوئية .

II 1.3.6. التحليل الطيفي للأشعة المرئية و الفوق بنفسجية (UV-VIS) .

يقسم المجال الضوئي الى عدة مجالات منها فوق البنفسجية و المرئية و تحت الحمراء , و في هذه التقنيات سوف نقوم بقياس الطيف الضوئي في مجال الأشعة فوق البنفسجية و في المجال المرئي و يعتمد مبدأ هذه التقنية على تفاعل الاشعاع الكهرومغناطيسي مع العينة المراد تحليلها , جزء من الشعاع الساقط يمتص أو ينفذ عبر العينة . فعند امتصاص المادة لهذه الطاقة في نطاق الأشعة فوق البنفسجية و المرئية يؤدي الى اثاره الالكترونية و انتقالها من مستوى أدنى الى مستوى طاقة أعلى , حيث تقع هذه التحولات الالكترونية في النطاق الطيفي (200-800 نانومتر) [53] .



الشكل (II-19) : رسم تخطيطي يوضح جهاز التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية [54] .

في هذه التقنية يتم توجيه طول موجة من الضوء الصادر من منبع الضوء (VIS-UV) ثم ينقسم الى حزمتين عبر المرآة العاكسة فتوجه احدهما الى العينة و الأخرى تمر عبر المرجع الحامل للعينة ليستقبل بعدها الكاشف الحزمتين النافذتين و يتم بعدها مقارنة النتائج المتحصل عليها ورسمها عبر برنامج حاسوبي [52] .

II 2.3.6. تحديد الفاصل الطاقي E_g .

يعرف الفاصل الطاقي E_g بأنه الطاقة اللازمة لنقل الالكترونات من قمة حزمة التكافؤ إلى أسفل حزمة النقل , و قد سميت الممنوعة لأن المستويات فيها خالية من حاملات الشحنة و لا تستقر فيها الالكترونات في أنصاف النواقل النقية و تتواجد فيها لفترة قصيرة في أشياء النواقل المطعمة .المعادلة التي تربط بين معامل الامتصاص α و الفاصل الطاقي E_g تعطى بعلاقة (Tauc) كالتالي [55] :

$$(\alpha h\nu)^n = D(h\nu - E_g) \quad (8- \text{II})$$

حيث :

D : ثابت .

$h\nu$: طاقة الفوتون (ev) .

E_g : الفاصل الطاقي (ev) .

من أجل نصف ناقل ذو فجوة مباشرة يكون $n = \frac{1}{2}$ ونصف ناقل ذو فجوة غير

مباشرة يكون $n = 2$ [55].

II 3.3.6. تحديد طاقة أورباخ E_u .

تعد هذه الطاقة من الثوابت المهمة التي تميز الخصائص البصرية و البنيوية للطبقة الرقيقة حيث تعتبر معيار لتحديد حالة اضطراب المادة و حسب علاقة أورباخ فان العلاقة بين هذه الطاقة و معامل الامتصاص هي [56].

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{h\nu}{E_u}\right) \quad (9- \text{II})$$

حيث : α_0 : معامل الامتصاص الذي من أجله تكون قيمة الامتصاص دنيا .

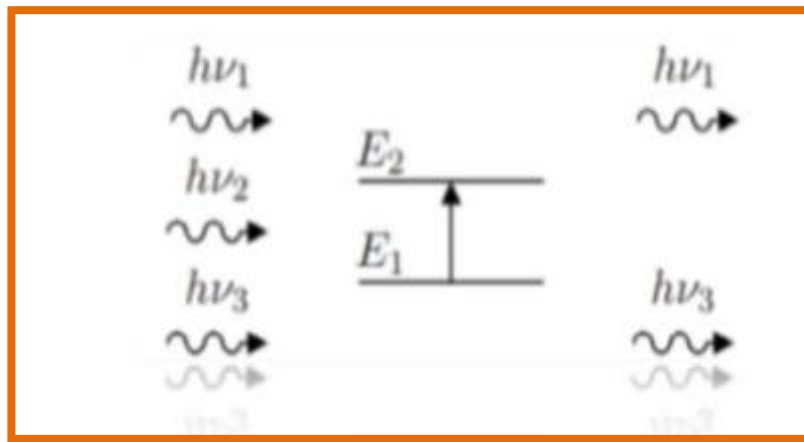
II 4.6. مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR.

ترتكز تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR على امتصاص جزيئات المادة المدروسة للأشعة تحت الحمراء , و يتم تحويلها حسب تواترها إلى طاقة دوران أو طاقة اهتزاز و بما أن طاقة الاهتزاز أكبر من الدوران ,

فان أي تغيير في طاقة الاهتزاز يرافقه عدة تغيرات في طاقة الدوران , مما يؤدي الى انتاج عصابات امتصاص اهتزاز دوران حيث ينقسم مجال الأشعة تحت الحمراء الى ثلاث مناطق حسب العدد الموجي الى : [57].

- الأشعة تحت الحمراء القريبة cm^{-1} (4000-13300).
- الأشعة تحت الحمراء المتوسطة cm^{-1} (400-4000).
- الأشعة تحت الحمراء البعيدة cm^{-1} (20-400).

حيث أن أغلب التحليلات الطيفية تجري في المنطقة تحت الحمراء الوسطى لأن هذه المنطقة توافق مجال طاقة اهتزاز جزيئات المادة , لهذا يمكن أن نجد فيها كفاية من المعلومات لتحديد البنية الجزيئية للمركبات المدروسة .
الفوتون الذي طاقته ($h\nu$) المساوية لفارق الطاقة ($E_2 - E_1$) هو الذي يمتص فقط , و بالتالي يختفي الفوتون الممتص من الاشعاع الصادرة , و يؤدي امتصاص بعض الفوتونات الواردة الى ظهور خطوط توافقها في منحنى طيف الأشعة تحت الحمراء للجزيئات , يميز هذا الامتصاص الروابط الذرية أو الجزيئية بما أن كل نمط اهتزاز يوافق حركة وحيدة للجزيء أي أنه يوجد توافق مباشر بينه وبين الاشعاع الممتص [58].



الشكل (II- 20) : يوضح امتصاص الأشعة تحت الحمراء .

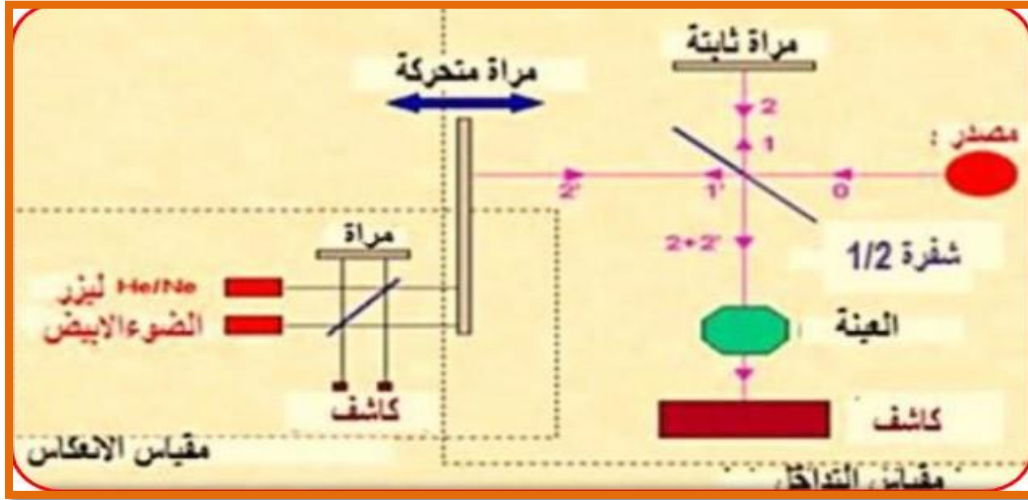
1.4.6. II. مبدأ مطيافية الأشعة تحت الحمراء .

يستخدم جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (IR Affinity) كما هو موضح في الشكل (II - 21) من أجل الحصول على الطيف الخاص بالعينة المدروسة , عن طريق قياس امتصاصها للأشعة تحت الحمراء عبر نطاق من الترددات , يتم مقارنة نمط الامتصاص مع أطيف الأشعة تحت الحمراء للمواد المعروفة لتحديد ماهية المادة المدروسة و مبدأ عمله موضح في الشكل (II - 22) .



الشكل (II - 21) : صورة توضح جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء .

يكون مصدر الضوء متعدد الأطوال الموجية , حيث تنقسم الحزمة الضوئية الى نصفين و توجه كل حزمة باستخدام مرايا العتبة , يمكن لواحدة من بين هذه المرايا أن تتحرك حتى تسمح بالحصول على منحني , أي وجود فرق في مسير حزمة ضوئية , و في مركز الجهاز يوجد كاشف (عادة يكون حراري) يقوم بقياس شدة الاشارة فنحصل على اشارة مأخوذة من العينات و تقوم بجعل هذه الاشارة رقمية , ثم يتم حساب تحويل ثم يتم تحويل فورييه للحصول على طيف الأشعة تحت الحمراء [59].



الشكل (II - 22) : رسم تخطيطي يوضح مطيافية الأشعة تحت الحمراء [60].

الخاتمة :

من خلال هذا الفصل توصلنا الى معرفة الطبقات الرقيقة من حيث مفهومها و مبدأ ترسيبها و الية نموها كما تضمن أيضا دراسة نظرية حول تقنيات الترسيب الأكثر استخداما المعتمدة في تحضير طبقات رقيقة من الأكاسيد الناقلة الشفافة , حيث اتضح لنا أن طرق الترسيب هذه متعددة وتختلف اختلافا جوهريا على بعضها البعض كما تصنف تقنيات الترسيب الى طرق فيزيائية و أخرى كيميائية حيث تمتاز هذه الأخيرة بعدة طرق أهمها تقنية الرش الكيميائي الحراري والتي ستكون محل دراستنا .

قائمة المراجع العربية :

- [10] قمو. نور الايمان , " دراسة و تحضير أغشية رقيقة لأكسيد الزنك النقي (ZnO) بتقنية الرذاذ الانحلال الحراري "مستر أكاديمي .جامعة قاصدي مباح ورقلة. 2020 .
- [17] عبید , سعدية , " دراسة ثلاثية الأبعاد للمقادير الكهربائية في جهاز الرش المهبطي المغنطوني باستعمال طريقة الحجوم المنتهية " . مذكرة ماجستير , جامعة قاصدي مباح ورقلة , 2012 .
- [25] العقون. مريم , " دراسة تأثير زمن الترسيب الطبقات الرقيقة لأكسيد النيكل (NiO) على بعض الخصائص الفيزيائية " ,مستر أكاديمي .ج. قاصدي مباح .ورقلة . 2017 .
- [30] م.براءة , ن. دبة , تأثير درجة الحرارة على الخصائص الفيزيائية للطبقات الرقيقة لأكسيد النيكل (NiO) , مذكرة مستر ,جامعة قاصدي مباح ورقلة , (2017) .
- [31] ا. غربي " اعداد و معايرة جهاز للترسيب بالرش الكاثودي " مذكرة ماجستير , جامعة ورقلة , 2007 .
- [32] ك.كاملي-"اعداد و توصيف الخواص الفيزيائية و الكيميائية للأغشية الرقيقة من كبريتيد القصدير باستخدام الرش بالموجات فوق الصوتية : تأثير مصادر القصدير " . مذكرة ماجستير , جامعة بسكرة, 2013 .
- [33] م.ص.كروش , دراسة خصائص أكسيد الحديد الثلاثي ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) المطعم بالكوبالت (Co) , مذكرة مستر,جامعة حمى لخضر الوادي , (2018) .
- [39] ب.الله, مروه , دبة نبيلة " تأثير درجة الحرارة على الخصائص الفيزيائية للطبقات الرقيقة لأكسيد النيكل (NiO) " ,مستر أكاديمي ,جامعة قاصدي مباح ,ورقلة . 2017 .
- [42] حمصي بن سالم , دراسة الخصائص البنيوية و الضوئية و الكهربائية لأكسيد القصدير المطعم بالأنتموان المتوضع بتقنية الأمواج فوق الصوتية .مستر فيزياء , جامعة الوادي 2014 .
- [44] ردينة صديق عبد الستار الدليمي " دراسة الخصائص التركيبية و البصرية المحضرة Ni(1-x)Zn xO للأغشية بطريقة التحلل الكيميائي الحراري " مذكرة ماجستير جامعة ديالي 2011 .
- [47] تامة .دنيا زاد , "تحضير و دراسة الخصائص الضوئية و البنيوية و الكهربائية لأغشية أكسيد النيكل المطعم بالمغنزيوم بطريقة الرش الكيميائي الحراري , جامعة الوادي . 2024 .
- [48] ع.دقة .ط مصباحي , " تحديد بعض خصائص أغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعم بالحديد (Fe) "مذكرة مستر أكاديمي , جامعة الوادي 2017 .

- [50] ج.بوصبيح صالح,ص.لبهيات , " دراسة الخصائص التركيبية و البصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعم بالنحاس (Cu) " مذكرة ماستر أكاديمي , جامعة الوادي 2018 .
- [53] م . حريز بلقاسم . " دراسة الخصائص الضوئية و البنيوية و الكهربائية لأكسيد القصدير المطعم بالفلور المتوضع بتقنية الأمواج فوق الصوتية مذكرة ماستر أكاديمي جامعة الوادي .2010 .
- [54] سقني ليلي .تحديد خصائص أكسيد القصدير(SnO2) المطعم بالحديد (Fe) . مذكرة ماستر أكاديمي جامعة الوادي .2016 .
- [57] زكري ن. الإيمان نغموش علي حليلة , "تحضير و دراسة فيزيوكيميائية لأغشية كبريتيد الكوبالت المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري "ماستر أكاديمي .جامعة الوادي .2023 .
- [58] ع.س.أبو المجد , "التحليل الطيفي باستخدام الأشعة تحت الحمراء " ,الأكاديمية الحديثة للكتاب الجامعي,ص . 45-26-12 .
- [59] ع. دقة , أ. مصباحي , "تحديد بعض خصائص أغشية أكسيد النيكل(NiO) المطعم بالحديد Fe.ماستر أكاديمي , جامعة الوادي ,(2017).
- [60] حوامدي. رجا , "دراسة الخصائص البنيوية و الضوئية لأغشية أكسيد النحاس " , ماستر أكاديمي .جامعة الوادي .2019 .

قائمة المراجع الأجنبية :

- [1] J.I.,Ponkove,(1971),"Optical Processes in Semiconductors"1sted,Prentice-Hall,Inc, New JERSEY,pp. ,(34-36).
- [2] K.L.,Chopra.,S.Major and D.K.pand ya,(1983),"Transparent Conductors Astatus Review""Thin Solid Films",Vol ,(1),(102)p .
- [3]Kanagai,M.M.Yohino,"Electrical and Optical properties for solar cells groun by Metalorganic chemical vapor deposition J.Appl.phys,vol.70,No,11, P.7119,1991.
- [4]Juarez,D.R.Perez and G.Delgado."Properties of ZnO : Al thin films obtained by the sol-Gal method " Modernphysics letters B,vol,15,Nos.17,18,19, P.730,2001.
- [5]A.MOUSTAGHFIR,"laboration et caracterisation de couches minces dioxide de zinc", Universite`BLAISE PASCAL,p19,(November 2004).

- [6] **M.MITSUYA** and **S.IMAZEKI**, "Metal coating of organic thin films for thickness Measurements by a stylus method ", Rev.Sci.Instrum, American Institute of Physics, Vol 61,(1990).
- [7] **F.J.YUSTA**,**M.L.HITCHMAN** and **S.H.SHAMLIAN**, "CVD preparation and characterization Of tin dioxide films for electro-chemical applications", J.Mater.Chem.,vol7,p1421,(1997).
- [8] **Daranfad Ouarda**, "Elaboration et caracte`risation des couches minces de Sulfure de zinc preparer's par spray ultrasonique" Me`moiré de MAGISTER, universite Mentouri de constantine.
- [9] **A.Rahal**, Elaboration des verses conducteurs par deposition de ZnO sur des verses ordinaries. Universite` d'Eloued. 2013.
- [11] **N.Attaf**, "Etude Energe`tique d`une De`charge Luminescente dans le Depot de Couches Minces de a-Si:H", Three's de DOCTORAT.
- [12] **F.Ynineb**, Contribution a` l`elaboration de couches minces dioxides' Transparent Conducteurs (TCO), Three's de doctorat, Universite` Constantine, 2010.
- [13] **T.Gungor**, **H.Tolunay**. Drift mobility measurements in a-SiNx:H . Journal of Non - Grystalline Solids. Vol 282, 197-202, 2001.
- [14] **A.RAHAL**, "Elaboration des verses conducteurs par de`position de ZnO sur des verses Ordinaries", Memoire de Magstier , UNIVERSITE D'ELOUED ,(2013).
- [15] **Bintou Ouedraogo** "De`velveloppe, ent de couches absorbantes a` base de composites Al₂O₃-NiO pour des applications en e`nergie solaire". The`se de DOCTORAT, Universite Mentouri de Constantine 1, 2013.
- [16] **S.Hariech** "Elaboration et caracte`risation des couches de sulfure de cadmium(cds) Preparer's par Bain chimique (CBD)", Memoiré de MAGISTER , Universite Mentouri de Constantine 1(2009).

- [18] **D.Tainoff**, Influence des De`fauts sur les Proprieties' Optiques et Electroniques de Nanoparticules de ZnO , these de doctoral at , universite` de Claude Bernard –Lyon 1,2009.
- [19] **A.Benzagouta**, These de doctorate, Effect de la stoechiome`trie sur les proprietior's Structurelles , dynamiques et e`lectroniques des system's Si-C, etude par la dynamiques Mole`culaire. Universite` de Constantine (2004).
- [20] **Bahi Azzououm ahmed** "Etude des couches minces du monoxide de nickel NiO" Me` moiré de MAGISTER, Universite D`oran, 2014.
- [21] **Fayssal ynineb**, " Contribution a` l'elaboration de couches minces dioxides Transparent conducteurs (TCO)",Me' moiré de de MAGISTER, Universite Mentouri de Constantine 2009.
- [22] **A.Chennoufi** , "L`effet de la molarite` et de la tempe`rapture du substrata sur les proprieties' des couches minces dioxyde d`Indium (In2O3) par spray ultrasonique"Me' moiré de Magstier ,Universite` Mohamed Khider Biskra,(2012).
- [23]**F.Khenatcha**,e`tude des couches minces du trioxyde de bismuth Bi2O3 e`labore`es par La technique de pulve`risation chimique . ecole normal supe`rieure de l`enseignement Technologique d`oran,2011.
- [24] **S.Tricot** "Comparaison des proce`de`s d`ablation par faisceau laser et par faisceau d`e`lectrons pour la croissance de couches minces ", These de Doctorate, universities` d`orle`ans, (2008).
- [26]**B.Khrira**. "Optimisation des congitions (Molarite` et pressiob) des films d`e`laboration Minces de(ZnO) par spray ", Univ Mohamed Chider, Biskra (2003).
- [27]**I.W.LENGGORO,Y.C.KANG,T.KOMUYAMA and N.TOHGE**," Formation of Submicron Copper Sulfide Particles Using Spray Paralysis Method " ,J.Appl. Phys, vol37,p L288-L290,(1998).
- [28]**D.VAUFREY**,"Re`alisation dolled a` emissions par la surface : Optimisation De structures ITO /semiconducteurs organiques , These de doctor at " , UMR CNRS5512, (2003).

- [29] **C.MAZON,J.Muci ,A.Ortiz-Conde**, "Spray paralysis of ZnO thin films for Photovoltaic applications : effect of gaz flow rate and solute concentration ", Photovoltaic Specialists Conference , vol2,p 1156-1161 ,(1991).
- [34]**W.Hamd**,Elaboration par voie sol– gel et etude microstructurale de gels et de couches Minces de SnO₂, these de doctor at , Universite` de Limoges,2009.
- [35]**S.Hariech** "Elaboration et caracte`risation de couches minces desuleured cadmium(cds) Preparer's par Bain chimique(CBD)", Me' moiré de MAGISTER, Universite` D`oran,2014.
- [36]**S.BOUKROUH**. Syntheses et caracte`risation de films minces de dioxyde de titan TiO₂ Preparer's par pulve`ration reaction DC magnetron , disines a la photocatalyse ,These de doctorate, University` Mentouri Constantine 2005.
- [37] **L.I.Popova, M.G. MICHAÏLOV,V .K.GUEORGUIEV, A.SHOPOV**, "Structure and Morphology of thin SnO₂ Soli d Films", Elsevier. Vol 186,p259- 262(1990).
- [38] **E.Charef** , De`termination des Caracte`ristiques Optiques des Couches Minces du ZnO E'labore'es par Spray Ultrasonique . Centre Universitaire d`EL-Oued ,2012.
- [40] **S. H. Jeong , J.W .Lee, S. B .Lee , J . H . Boo**, " Deposition of aluminum doped Zinc oxide Films by RF magnetron sputtering and study of their structural, electrical and optical properties ", Thin Solid films, 435,(2003) 78-82 .
- [41]**H.Moualkia** , " Elaboration et caracte'risation de couches minces de sulfurs de Cadmium (Cds) ", These de DOCTORAT Universite` Constantine , 2010.
- [43]**K.L . Chopra .S .Major and D. K . pandya** " Transparent Conductos – Astatus , Review " Thin solid film .Vol .(102), pp.(1-46), (1983).
- [45]**A.HAFDALLAH**,"Etude du Do page des Couches Minces de ZnO Elaboreespar Spray Ultr-asonique ",Memoire de magister , univrs ite` de Constantine, pp(9-12),2007.
- [46]**A.Hafdallah**,"Etude du Do page des Couches Minces de ZnO Elaborees par Spray Ultr-asonique ",Theme De Magister, univrs ite` de Constantine,2007.

[49] **N.Bouchaala** , "Etude des propotes structural et physic-chimique Dessystemes Nd-Fe-CO².These de doctor rat. Universite` Paris-Est.(2017).

[51] **Y.Goutel**" ,aboration et caracterisation des couches mines dioxyde de nickel (NiO) these de master ,University de Larbi Tebessi-Tebesse,(2016).

[52] **Frank. A. Settle, Prentice Hall** , "Handbook of instrumental techniques for Analytical chemistry ",U.S.A,(2017).

[55] **D.Wojcieszak et al**, Journal of Nano Research ,18-19,2012,187-193.

[56] **A.Tibrewala**, "Piezoresistive Effect in Diamond-like Carbon Films ",Cuwillier, Germany (2016).

الفصل الثالث

العمد التجريبي و تحليل النتائج

نعرض في هذا الفصل الجانب التجريبي لهذا البحث ، حيث نقدم وصفا موجزا لجهاز الرش الكيميائي الحراري المستعمل لتحضير أغشية أكسيد النحاس النقية والمحضرة تحت درجات حرارة أرضية مختلفة ($350,375,400,425^{\circ}\text{C}$) والتي اختيرت اعتمادا على دراسات سابقة . كما يتضمن هذا الفصل عرض نتائج المعاينة وتحليل الخصائص الضوئية (النفاذية ، الامتصاصية ، الانعكاسية ، الفاصل الطاقى ، معامل الامتصاص الخ.) لهذه الاغشية باستعمال جهاز مطيافية الأشعة فوق البنفسجية _ المرئية (UV_VIS) والمسابر الاربعة .

III. 1. ترسيب الاغشية بتقنية الرش الكيميائي الحراري :

يهدف دراسة الخواص البصرية والبنوية لأغشية أكسيد النحاس النقية (CuO) يتم ترسيب هذه الأخيرة على قواعد زجاجية باستخدام منظومة الرش الكيميائي الحراري وباستخدام كبريتات النحاس المائية ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) كمصدر لأكسيد النحاس. تعتمد منظومة الرش الكيميائي الحراري على عدة عوامل أهمها :

- ✚ نوع المواد الأولية .
- ✚ نوعية الركيزة الزجاجية .
- ✚ معدل الترسيب .
- ✚ درجة حرارة الأرضية (أي درجة حرارة الركيزة) .
- ✚ الضغط .
- ✚ بعد الركيزة عن جهاز الرش .

ان مبدأ ترسيب الأغشية يعتمد على تفاعل شوارد النحاس المتواجدة في المحلول مع الأكسجين الذي مصدره الهواء مشكلة طبقة رقيقة من أكسيد النحاس .

III. 1. 1. التركيب التجريبي لمنظومة الرش الكيميائي (Spray Pyrolysis)

الشكل (III-1) يوضح التركيب التجريبي للرش الكيميائي الحراري المستعمل ، حيث تستخدم وسائل و أدوات بسيطة وغير مكلفة أغلبها مصنوعة محليا . إن العمل على ترسيب أغشية أكسيد النحاس النقية (CuO) تم إنجازه على مستوى مخبر الأستاذ المشرف بجامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي حيث يحوي التركيب على العناصر الأساسية التالية :

- ❖ **خزان المحلول :** وهو عبارة عن خزان زجاجي بسعة (100ml) مفتوح من الأعلى توضع فيه المواد المراد رشها .
- ❖ **السخان الكهربائي :** يتم استخدام السخان الكهربائي بغرض رفع درجة حرارة الركيزة إلى درجة حرارية معينة ، حيث يعمل في مدى حراري يتراوح بين (450_{0C}°) كما أنه يحتوي على مقياس لدرجة الحرارة .
- ❖ **جهاز الرش :** هو الجهاز الذي يتم من خلاله رش المحلول على الركيزة .
- ❖ **حامل جهاز الرش :** هو حامل للخزان كما أنه يعتبر مقياس المسافة بين الركيزة و جهاز الرش .
- ❖ **ضاغط الهواء :** يتم استخدام ضاغط الهواء لدفع الهواء المضغوط داخل جهاز الرش ، حيث يحتوي على صمام مزود بمقياس ضغط الهواء يتم من خلاله التحكم بضغط الهواء الخارج منه باتجاه جهاز الرش وذلك لضمان نزول المحلول على الركيزة في شكل رذاذ دقيق جدا .



الشكل (III-1) يوضح التركيب التجريبي للرش الكيميائي الحراري .

III 1. 2. تحضير الأغشية الرقيقة.

III 1. 2. 1. الشروط التجريبية لتحضير أغشية أكسيد النحاس :

خلال هذا العمل التجريبي تم استعمال محلول كبريتات النحاس المائية ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) كمصدر للنحاس ، ومن أجل الحصول على أغشية رقيقة ذات جودة جيدة تم تطبيق عدة شروط تجريبية أهمها :

- ✓ ضبط درجة الحرارة الركيزة في كل مرة على أحد الدرجات المبرمجة في هذا العمل ($350, 375, 400, 425^\circ\text{C}$).
- ✓ معدل رش المحلول (5mL/min) .
- ✓ الرش لمدة 10 دقائق متقطعة ، حيث لا يمكن الرش على القواعد دفعة واحدة تجنباً لبرودتها .
- ✓ المسافة العمودية بين نهاية جهاز الرش و القاعدة الزجاجية تقريبا (30cm) .
- ✓ ضغط الهواء (2bar) .

III 1. 2. 2. تهيئة القواعد الزجاجية .

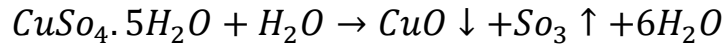
القواعد الزجاجية المستعملة في هذا العمل من نوع (Microscopic Glass slides REF217102) لها لأبعاد $25,4 \times 76,2 \times 1,2 \text{ mm}^3$ ، للحصول على أغشية جيدة تم تنظيف هذه القواعد للتخلص من الشوائب لأن وجود الشوائب يؤثر على جودة الأغشية المحضرة يمر التنظيف عبر عدة مراحل حيث تغسل جيدا بالماء المقطر ثم توضع في محلول الايثانول ثم محلول الميثانول وفي الأخير تغسل جيدا بالماء المقطر لضمان جودة التنظيف ثم تجفف باستعمال المناديل الورقية الشكل (III - 2) يوضح نوع القواعد الزجاجية المستخدمة .



الشكل (III - 2) : يوضح نوع القواعد الزجاجية المستخدمة .

III 1. 3.2. تحضير المحلول المستخدم :

تم ترسيب الطبقات الرقيقة لأكسيد النحاس (CuO) انطلاقاً من محلول كبريتات النحاس المائية ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ، بداية بإذابة كتلة منه قدرها ($m=2.4968g$) في حجم ($V=100mL$) من الماء المقطر لتحضير محلول ذو تركيز ($C=0.1mol/L$) مع إضافة ($v=1mL$) من حمض كلور الهيدروجين (HCl) ، ثم يوضع المحلول فوق الخلاط المغناطيسي لمدة (30min) للتأكد من إذابة المادة في الماء المقطر بشكل تام بعدها رش المحلول على القواعد الزجاجية الساخنة بدرجات مختلفة ونحصل على غشاء CuO وفقاً للمعادلة التالية :



وقد استخدمت العلاقة (III - 1) للحصول على الوزن المراد إذابته .

$$m=C.V.M \quad (1- III)$$

C : التركيز المولي (mol/L).

V : حجم المحلول (L).

M : الكتلة المولية (g/mol) .



الشكل (III-3) يوضح أهم خطوة تحضير المحلول .

III 1. 4.2 . ترسيب الاغشية الرقيقة .

بعد تحضير المحلول المراد ترسيبه وتنظيف الركائز وتجهيز منظومة الرش نبدأ عملية الترسيب بتقنية الرش الكيميائي حيث توضع الركائز فوق السخان الكهربائي حتى تصل الى درجة حرارة المطلوبة (350°C) ويرش المحلول عبر دفعات (5mL) حتى انتهاء المحلول المحضر (100mL) وبعد الانتهاء من عملية الرش يغلق السخان الكهربائي وتترك القواعد الزجاجية فوقه حتى تصل الى درجة حرارة الغرفة للسماح للأغشية المحضرة بإكمال عملية الأكسدة والنمو البلوري وعدم تكسر القاعدة الزجاجية بسبب الاختلاف المفاجئ لدرجة الحرارة. ونكرر نفس الخطوات مع بقية درجات الحرارة ($375,400,425^{\circ}\text{C}$).

III 2. تحديد سمك العينات .

يعد السمك أحد أهم معلمات الغشاء الرقيق لهذا توجد طرق كثيرة لقياس سمك الأغشية الرقيقة ، وفي دراستنا الحالية تم استخدام الطريقة الوزنية إذ توزن القاعدة الزجاجية النظيفة بميزان كهربائي حساس ، إذ أن وزن القاعدة قبل الرش يرمز له (m_1) وبعد الرش (m_2) ويكون فرق الوزن (Δm) عبارة عن وزن مادة الغشاء

المترسبة على القاعدة ،ويمكن حساب سمك الغشاء بتطبيق العلاقة الآتية :

$$d = (\Delta m / \rho . s) \quad (2 - III)$$

حيث أن :

ρ : كثافة أكسيد النحاس وتقدر ب $6.31g/cm^3$.

S : مساحة الغشاء (cm^2) .

الجدول (III-1) يبين قيم سمك العينات .

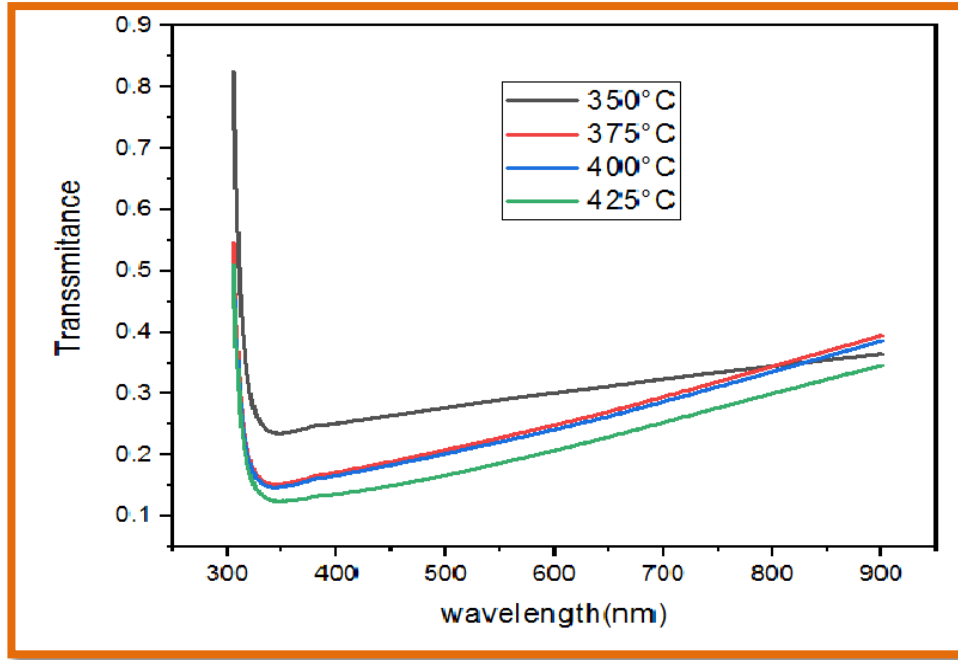
425°C	400°C	375°C	350°C	درجة الحرارة
529,311	481,210	409,028	304,766	d(nm)

III. 3. الخصائص الضوئية :

إن دراسة الخصائص الضوئية للأغشية الرقيقة تعتمد على التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية و المرئية ، الذي تم إنجازه في مخبر VTRS بجامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي - حيث تسمح لنا دراسة هذه الخصائص بإعطاء فكرة على التطبيقات المتاحة لهذه الأغشية. ومن أهم هذه الخصائص : النفاذية ، الامتصاصية , معامل الامتصاص ، والفاصل الطاقى..... الخ.

III. 3. 1. النفاذية %T.

النفاذية (Transmittance) هي النسبة المئوية لشدة الضوء الذي يمر عبر مادة أو غشاء رقيق إلى شدة الضوء الساقط عليه . و هي مقياس لقدرة الغشاء على السماح بمرور الضوء عند أطوال موجية معينة .



الشكل (III-4) أطياف النفاذية للطبقات الرقيقة لأكسيد النحاس كدالة للطول الموجي عند درجات حرارة مختلفة .

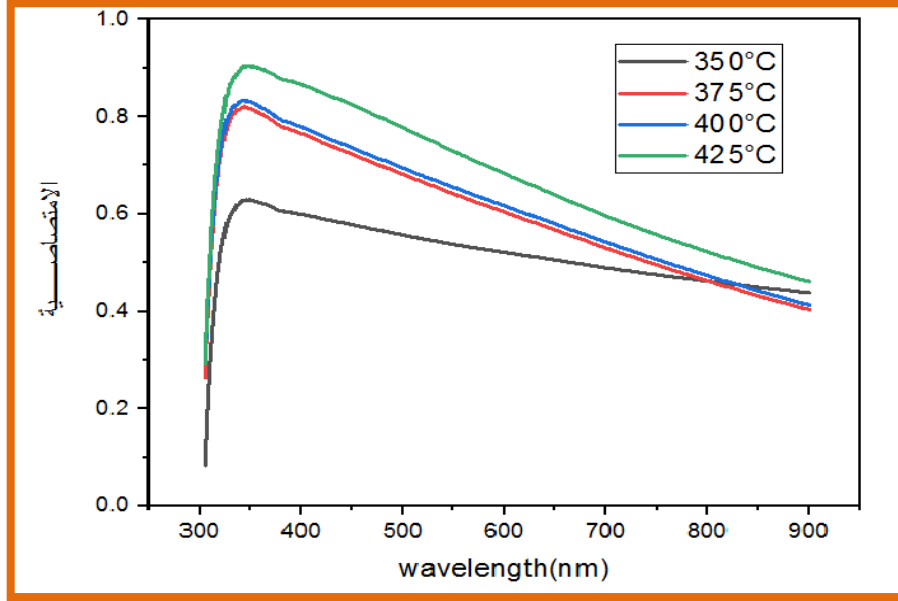
يوضح الشكل (III-4) العلاقة البيانية للنفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية رقيقة من أكسيد النحاس المحضرة عند درجات حرارة مختلفة (325 - 375 - 400 - 425)°C في النطاق الطيفي (300 - 900) nm حيث تبين أن جميع العينات تظهر انخفاضا حادا في النفاذية عند الأطوال الموجية القصيرة الأقل من 400 نانو متر (المنطقة فوق البنفسجية) يلي ذلك ارتفاع تدريجي في النفاذية مع زيادة الطول الموجي في المنطقة المرئية (400 - 900) nm وهذا يرجع إلى أن المادة شبه موصل ذو فجوة طاقة كبيرة نسبيا وأن طاقة الفوتون في المنطقة عالية وأن النفاذية تعاني من امتصاص عالي [1].

كما نلاحظ من خلال حساب القيمة المتوسطة للنفاذية لأغشية رقيقة من أكسيد النحاس المحضرة عند درجات حرارة مختلفة $(325 - 375 - 400 - 425)^{\circ}\text{C}$ وكانت قيمها على التوالي 30,69 , 26,12 , 25,41 , 22,11 على الترتيب انها نقصت بصورة ملحوظة و يمكن تفسير هذا الانخفاض في النفاذية على أساس التغيرات في البنية المجهرية للأغشية مع ارتفاع درجة حرارة التحضير. فزيادة درجة الحرارة تؤدي عادة الى تحسين التبلور و زيادة حجم الحبيبات مما يساهم في تقليل المسامية و زيادة الكثافة و بالتالي تقليل كمية الضوء النافذ [3,2]. كما أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي الى زيادة العيوب البلورية مما يزيد امتصاص الضوء داخل الغشاء و يؤدي الى انخفاض النفاذية [5,4].

تتوافق هذه النتائج مع ما ورد في الأدبيات العلمية , حيث أشار Al-Hilli و زملاؤه في 2007 الى أن التلدين الحراري يؤدي الى تحسين التبلور على حساب الشفافية البصرية [6] كما أشار Haacke عام 1976 الى وجود علاقة عكسية بين التوصيل الكهربائي و النفاذية الضوئية في الأغشية الرقيقة [7] و أكد Izaki سنة 1996 أن نمو الحبيبات الناتج عن التلدين يسبب زيادة في التبعثر و بالتالي انخفاض النفاذية [8].

III. 3. 2. الامتصاصية % A

الامتصاصية (Absorbance) في الأغشية الرقيقة هي مقياس لقدرة الغشاء على امتصاص الضوء الساقط عليه عند طول موجي معين , أي تحويل طاقة الضوء الى طاقة داخلية (حرارية أو الكترونية).



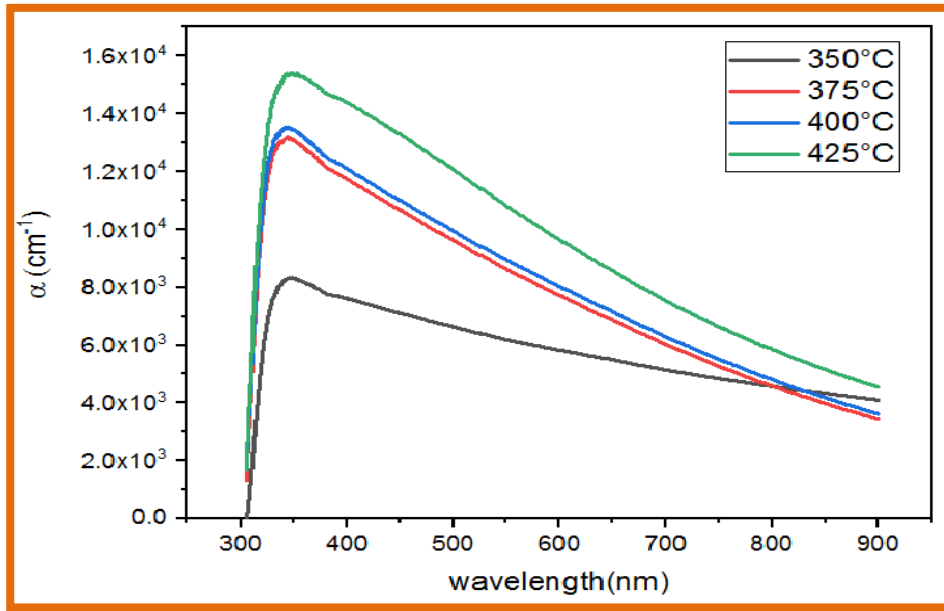
الشكل (III- 5) طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي عند درجات حرارة مختلفة

الشكل (III- 5) يوضح بيان الامتصاصية الضوئية % A كدالة لطول الموجة ضمن النطاق (300 – 900) nm لأغشية رقيقة عند درجات حرارة لمختلفة 325 , 375 , 400 , 425 , حيث أبدى طيف الامتصاص سلوكا معاكسا للنفاذية حيث أن الامتصاصية لكافة الأغشية تكون أعظم ما يمكن عند المجال الطيفي الفوق البنفسجي (UV) (300 – 350) nm و بذلك يمكن استخدامها في تطبيقات الخلايا الشمسية , كما نلاحظ أن الامتصاصية تقل مع زيادة الطول الموجي في الطيف المرئي و يعني هذا فيزيائيا أن الفوتون الساقط لم يستطع أن يهيج الالكتران و ينقله من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل لأن طاقة الفوتون الساقط أقل من قيمة فجوة الطاقة لشبه الموصل و لهذا أصبحت الامتصاصية تقل بزيادة الطول الموجي [9] . و من جهة أخرى فان انخفاض الامتصاصية التدريجي مع زيادة طول الموجة نحو المنطقة تحت الحمراء (IR) يوحي بأن هذه المواد لا تمتص بشكل فعال في هذه المنطقة , و هو سلوك طبيعي لمواد نصف ناقلة ذات فجوة طاقة كبيرة نسبيا [6] .

ومن الملاحظ أيضا أن الامتصاصية تزيد كلما زادت درجة الحرارة حيث تبلغ القيمة المتوسطة للامتصاصية 51,18 , 60,05 , 61,28 , 67,72 عند درجات الحرارة المختلفة 325 °C , 375 , 400 , 425 على الترتيب . هذا الارتفاع في درجة الحرارة يؤدي الى تحسن البنية البلورية للأغشية , مما يؤدي الى تقليل العيوب البنيوية التي قد تمنع الامتصاص . كما يكون ناتجا عن زيادة سمك الأغشية أو كثافتها مع ارتفاع درجة الحرارة مما يؤدي الى امتصاص أكبر للفوتونات [10]. كما أن زيادة حجم الجسيمات النانوية مع ارتفاع درجة الحرارة مما يقلل من التشتت الداخلي و يعزز امتصاص الضوء في نطاق uv-vis [11] .

III 3.3 . معامل الامتصاص α :

معامل الامتصاص هو مقدار فيزيائي يصف مدى سرعة تناقص شدة الضوء عند مروره داخل مادة نتيجة الامتصاص ويرمز له غالبا بـ α .



الشكل (III-6) منحنى تغيرات معامل الامتصاص بدلالة طول الموجة.

تم حساب معامل الامتصاص α بالعلاقة (I - 16) انطلاقا من أطياف النفاذية لأغشية أكسيد النحاس النقي والمحضرة عند درجة حرارة الأرضية المختلفة ، ورسمت العلاقة لمعامل الامتصاص كدالة لطول الموجة كما يوضحه الشكل (III-6) .

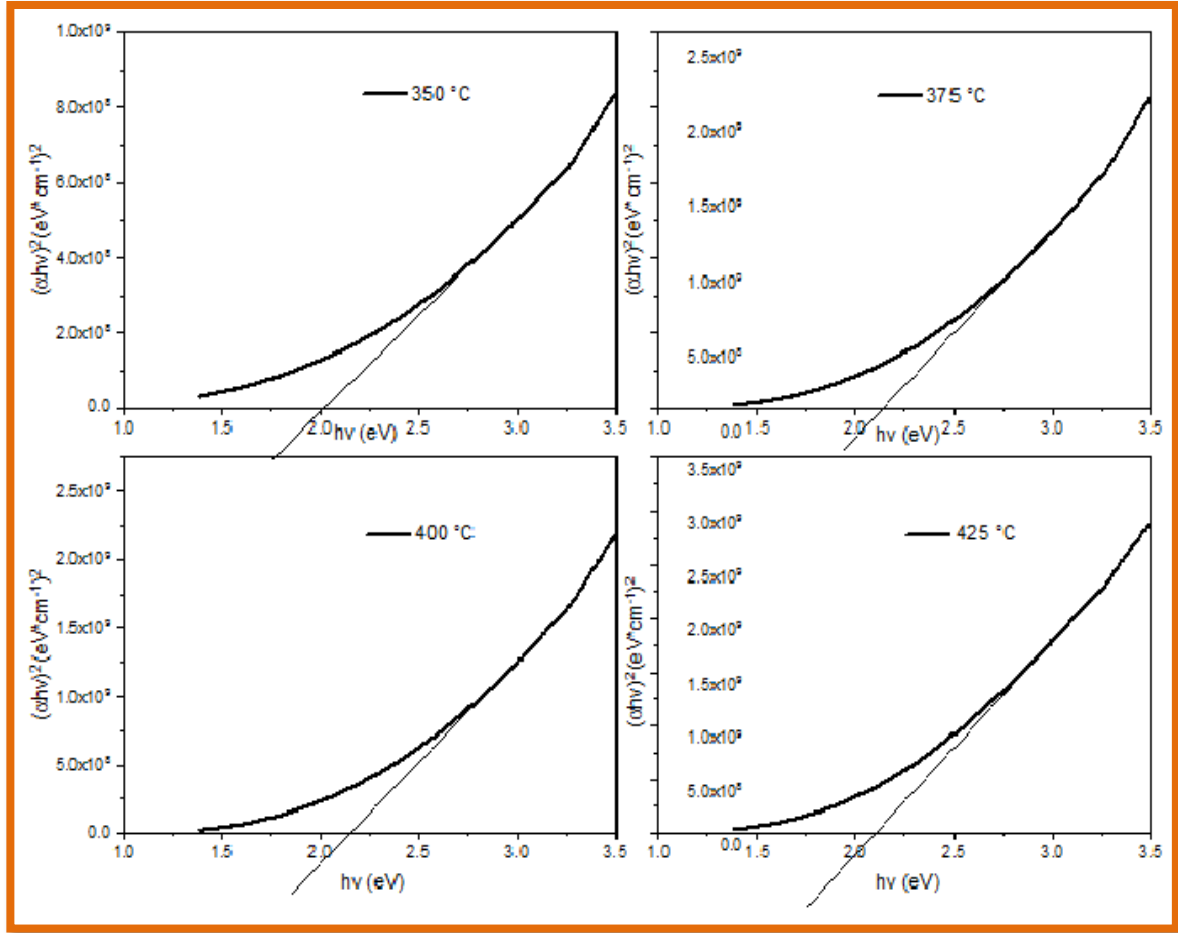
حيث نلاحظ أن معامل الامتصاص يزداد عند كل طول موجي في منطقة الأشعة فوق البنفسجية هذا السلوك سببه الاثارة الالكترونية من النطاق التكافئي الى النطاق التوصيلي و هو يشير الى أن الطاقة الضوئية كافية لتجاوز فجوة الطاقة في أكسيد النحاس [12]. و بعدها نلاحظ انخفاض معامل الامتصاص تدريجيا مع زيادة الطول الموجي في الطيف المرئي حيث أن الفرق بين المنحنيات يصبح أقل وضوحا عند الأطوال الموجية الأعلى حيث ظهر تقارب القيم. ونفسر ذلك أنه في المناطق التي يقل فيها الامتصاص (الأطوال الموجية الكبيرة) يكون الامتصاص محكوما بانتقالات غير مباشرة أو امتصاص ضعيف نتيجة التشتت و هذا أسلوب طبيعي في أشباه الموصلات [13].

ومن خلال القيمة المتوسطة لمعامل الامتصاص التي بلغت 5818,567 , 7783,164 , 8070,147 , 9634,586 عند درجات الحرارة المختلفة $^{\circ}\text{C}$ 350 , 375 , 400 , 425 على الترتيب . نلاحظ زيادة لمعامل الامتصاص بزيادة درجة الحرارة ويرجع ذلك لكون الامتصاص الضوئي في المواد يعتمد على التركيب البنيوي و العيوب البلورية . حيث عند زيادة درجة حرارة التحضير تزداد حركية الذرات مما يؤدي الى تحسين التبلور و تقليل العيوب و بالتالي ارتفاع معامل الامتصاص [14]. كما تزداد كثافة الحقول الالكترونية مما يرفع من احتمالية انتقال الالكترونات و بالتالي زيادة معامل الامتصاص [15].

III 3. 4. الفاصل الطاقي E_g :

ان الفاصل الطاقي يعطي فكرة واضحة عن الامتصاص البصري حيث يكون الغشاء شفافا للإشعاع الذي تكون طاقته أقل من الفاصل الطاقي ($h\nu < E_g$) و ماصا للإشعاع الذي تكون طاقته أكبر منها ($h\nu > E_g$) [16].

تم تحديد الفاصل الطاقي للأغشية الرقيقة من خلال علاقة $Tauc$ انطلاقا من رسم منحنى تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ كدالة لطاقة الفوتون ($h\nu$) و من امتداد الجزء المستقيم للمنحنى الذي يقطع محور طاقة الفوتون عند النقطة ($(\alpha h\nu)^2 = 0$) , نقطة التقاطع هذه على قيمة الفاصل الطاقي للانتقال المباشر المسموح كما يوضح الشكل (III-7).



الشكل (III- 7) منحني تغيرات $(\alpha hv)^2$ لأغشية أكسيد النحاس النقي بدلالة طاقة الفوتون

الشكل (III- 7) منحني تغيرات $(\alpha hv)^2$ لأغشية أكسيد النحاس النقي بدلالة طاقة الفوتون عند درجات حرارة الأرضيات مختلفة. نلاحظ من خلال قيم الفاصل الطاقى المتحصل عليها أنها تتزايد بمقدار قليل مع زيادة درجة حرارة حيث تراوحت قيمتها بين (2.01eV) إلى غاية (2.15eV) وذلك عند زيادة درجة حرارة القاعدة من (350-400°C) على الترتيب، ويمكن ان نفسر زيادة فجوة الطاقة بحدوث إزاحة لحافة الامتصاص نحو الطاقة العالية ، ويرجع هذه التزايد في قيمة فجوة الطاقة إلى الفعل Burstien- Moss إذ إن المستويات القريبة من حزمة التوصيل تكون ممتلئة بالالكترونات لذلك فإن الالكترونات تحتاج لطاقة أكبر للانتقال فيبدو وكأن فجوة الطاقة تزداد [17،18].

وفي المقابل تنقص قيمة الفاصل الطاقى عند درجة الحرارة (425°C) حيث وصلت قيمته إلى (2.11ev) ، وسبب هذا التناقص الحاصل قد يكون ناتج عن زيادة في حجم الحبيبات يؤدي إلى تناقص في فجوة الطاقة أو يمكن أن يكون أيضا ناتج عن اتساع عرض ذبول المستويات الوضعية داخل فجوة الطاقة الناتجة عن تزايد العيوب البلورية في الغشاء [19] .

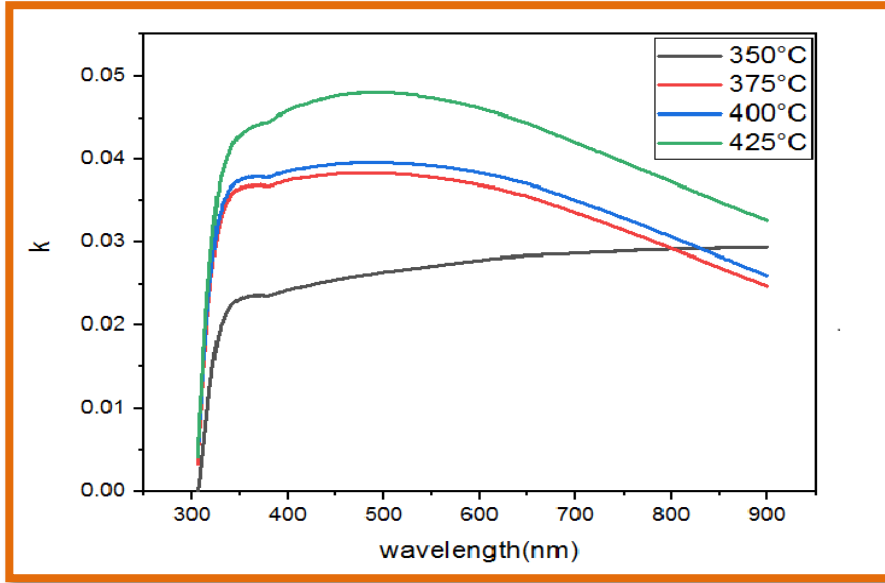
الجدول (III- 2) يوضح قيم الفجوة الطاقة لطبقات أكسيد النحاس بدلالة درجة حرارة .

جدول (III- 2) يوضح قيم الفجوة الطاقة لطبقات أكسيد النحاس بدلالة درجة حرارة .

درجة الحرارة (°C)	الفاصل الطاقى (ev)
350	2,01
375	2,12
400	2,15
425	2,11

III. 3. 5. معامل الخمود K .

معامل الخمود هو مقدار التوهين الحاصل في شدة الأشعة الكهرومغناطيسية ، ومن ثم فهو يمثل مقدار الطاقة الممتصة في الغشاء الرقيق . الشكل (III- 8) يوضح تغير معامل الخمود بدلالة طاقة الفوتون لأغشية أكسيد النحاس ، حيث تم احتساب معامل الخمود لجميع الأغشية المحضرة وفق العلاقة (I – 17) .



الشكل (III-9) تغير معامل الخمول k لكبريتات النحاس مع طول الموجة

يظهر الشكل (III-9) تغير معامل الخمول k لكبريتات النحاس مع طول الموجة عند درجات حرارة مختلفة حيث من خلاله نلاحظ أن قيمة معامل الخمول k تزداد مع طول الموجة بشكل سريع في البداية أي في المجال الطيفي فوق البنفسجي حيث أنه في هذا المجال تحدث الانتقالات الالكترونية الأساسية من نطاق التكافؤ الى نطاق التوصيل مما يسبب امتصاصا عاليا [14]. ثم نلاحظ تباطأ هذه الزيادة في معامل الخمول في المجال المرئي حتى تميل الى الاستقرار , حيث أنه في هذا المجال تنخفض كثافة الامتصاص نتيجة قلة الانتقالات الالكترونية المباشرة , كما أن البنية البلورية تتدخل لتحديد امتصاص الضوء [20].

ومن خلال القيمة المتوسطة لمعامل الخمول التي بلغت 0,02656 , 0,033688 , 0,034995 , 0,041998 عند درجات الحرارة المختلفة 350 , 375 , 400 , 425 °C على الترتيب . نلاحظ زيادة في معامل الخمول مع زيادة درجة الحرارة ومنه فان زيادة درجة الحرارة تؤدي الى ارتفاع واضح في قيم K عبر جميع الأطوال الموجية , حيث تظهر أعلى قيمة له في العينة المعالجة عند 425°C مما يدل على ازدياد الامتصاصية البصرية في هذا النطاق , حيث أن ارتفاع درجة الحرارة يحسن البنية البلورية ويقلل من العيوب و الشوائب و بالتالي يسمح بامتصاص ضوئي أكبر [21].

هذه النتائج تتفق مع ما ورد في دراسة Mahde و اخرون(2012) حيث أكدت الدراسة أن معامل الخمود يزداد بوضوح مع زيادة درجة الحرارة في أغشية CuO [22]. كما دعمت دراسة Bouguila و اخرون(2013) هذا الاتجاه من خلال ربط التحسينات البلورية بتغير الخصائص البصرية للأغشية الرقيقة [23].

III. 4. الخصائص الكهربائية :

حظيت الطبقات الرقيقة لأكسيد النحاس في الآونة الأخيرة اهتماما كبيرا من طرف الباحثين لما تحمله من خصائص كهربائية جيدة والتي يمكن استغلالها في العديد من التطبيقات منها : شاشات العرض المسطحة والخلايا الشمسية .ومن بين هذه الخصائص نجد : المقاومة الكهربائية ،الناقلية الكهربائية والمقاومة السطحية .

III. 4. 1. المقاومة السطحية و الناقلية :

تعتبر الناقلية أحد أهم الخصائص الكهربائية ويمكن التعبير عنها انطلاقا من قيم كل من المقاومة السطحية R_S وسمك d ولقياس المقاومة السطحية R_S باستخدام تقنية المسابر الأربعة حيث يتم تطبيق تيارا كهربائي I بين سلكين خارجين وتتم قراءة قيمة فرق الجهد V عبر السلكين الداخليين ومن ثم يتم حساب المقاومة السطحية R_S من العلاقة الموالية .

$$R_S = \frac{1}{K} \cdot \frac{V}{I} \quad (3- III)$$

$$K = \frac{Ln2}{\pi} \quad (4- III)$$

حيث :

$$\frac{1}{k} \text{ معامل التصحيح يقدر بـ : } 4.53236$$

كانت النتائج كتالي : الجدول (3- III) يوضح سمك العينات و المقاومة السطحية ودرجة الحرارة .

درجات الحرارة	350°C	375°C	400°C	425°C
سمك d (cm)	3,05E-05	4,09E-05	4,81E-05	5,29E-05
المقاومة السطحية R_S (Ω)	2,1988 E+7	1,0513E+7.	5,9226E+6	3,5140E+6

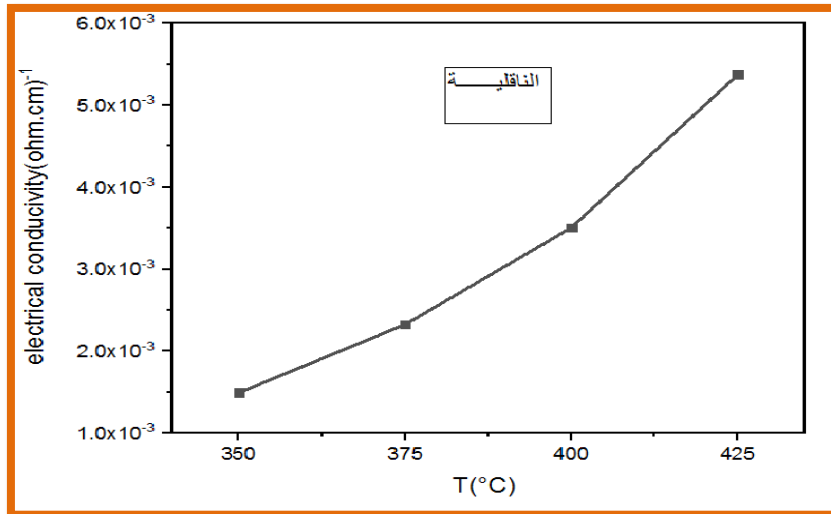
نلاحظ من خلال الجدول المرفق أن المقاومة السطحية تنخفض بشكل ملحوظ مع ارتفاع درجة حرارة التحضير من 350°C إلى 425°C تُفسر هذه الظاهرة بأن درجات الحرارة الأعلى أثناء التحضير تساهم في تحسين البنية البلورية للغشاء كما يمكن في زيادة حجم الحبيبات البلورية، مما يقلل من العيوب البنيوية والفواصل الحبيبية التي تعيق حركة الشحنات الكهربائية [24]، كما تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى تكوين أغشية أكثر كثافة وذات سمك أكبر نسبيًا، وهو ما يساهم بدوره في تقليل المقاومة السطحية. فزيادة السمك تعني وجود مسارات أكثر انتظامًا لحركة الإلكترونات [25]

تشير هذه النتائج إلى أن تحسين خصائص النقل الكهربائي للأغشية يتطلب التحكم الدقيق بدرجة حرارة التحضير، حيث أن زيادة درجة الحرارة حتى حد معين يؤدي إلى تحسينات واضحة في التوصيل الكهربائي، خصوصًا إذا ما ارتبط ذلك بزيادة محسوبة في السمك دون التسبب في إجهادات حرارية أو شقوق في البنية البلورية.

ومن ثم يتم حساب قيم الناقلية σ للأغشية الرقيقة من خلال العلاقة التالية :

$$\sigma = \frac{1}{R_s d} \quad (5- III)$$

بعد الحساب تم الحصول على البيان (10 - III)



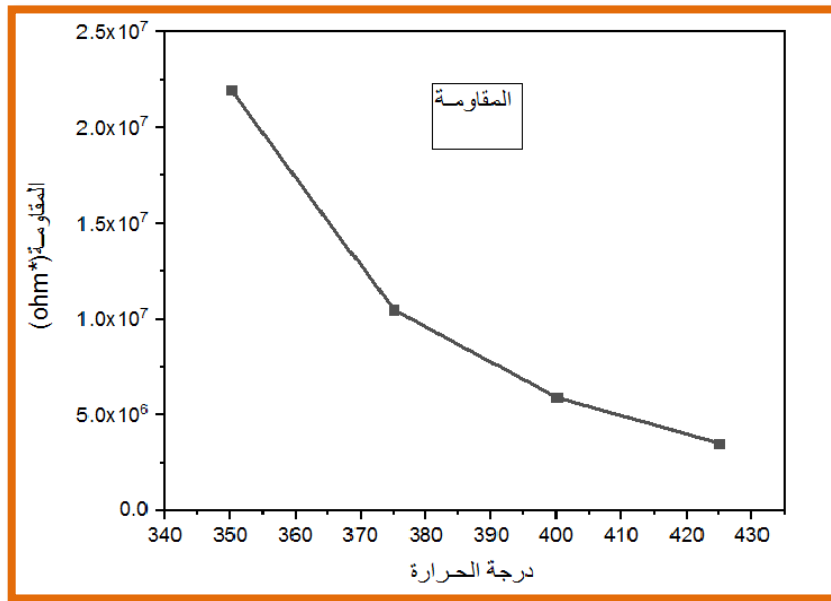
الشكل (10 - III) يوضح تغيرات (σ) بدلالة درجات حرارة .

يُلاحظ من البيان أن الناقلية الكهربائية تزداد تدريجيًا مع ارتفاع درجة حرارة التحضير هذا السلوك يعكس العلاقة العكسية بين المقاومة السطحية والناقلية وهو ما يؤدي إلى تحسين في البنية البلورية للاغشية نتيجة لزيادة درجة الحرارة وتقليل العيوب البلورية وزيادة عدد الحوامل الحرة فكلما كانت البلورات أكبر وأكثر انتظامًا كانت مقاومة الغشاء أقل وناقلية الشحنات أعلى ، بالإضافة إلى ذلك فإن درجة الحرارة الأعلى تساهم في تقليل تراكم العيوب مثل الفجوات [27,26]

المقاومية هي مقلوب الناقلية وحدتها ($\Omega \cdot \text{cm}$) وتعتبر عن مقاومة المادة لسريان التيار الكهربائي عبرها ، مسببة تحويلًا للطاقة الكهربائية إلى حرارة أو ضوء أو أي أشكال أخرى للطاقة [20] .

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

بعد الحساب تم الحصول على البيان (III - 11).



الشكل (III - 11) يوضح تغيرات (ρ) بدلالة درجات حرارة .

يُظهر البيان أن مقاومة الأغشية الرقيقة تقل بشكل واضح مع زيادة درجة حرارة التحضير , حيث تنخفض من حوالي $670 \Omega \cdot \text{cm}$ عند 350°C إلى أقل من $186 \Omega \cdot \text{cm}$ عند 425°C ، يمكن أن يرجع هذا السلوك إلى التحسينات البنيوية والمجهرية التي تطرأ على المادة بارتفاع درجة الحرارة ، وتشمل تحسن في البنية البلورية حيث تؤدي درجات الحرارة العالية إلى إعادة ترتيب الذرات داخل الشبكة البلورية ، مما يقلل من العيوب التركيبية كالفجوات [28] وكذلك نمو الحبيبات البلورية بارتفاع درجة الحرارة ، يساهم في زيادة حجم الحبيبات، مما يقلل من الحواجز بين الحبيبات التي تعيق حركة الإلكترونات [29] وأيضاً تحسن التوصيل الناتج عن نقص العيوب لذلك عند درجات الحرارة الأعلى تُقلل من عدد الفجوات والمسامية داخل الغشاء، مما يقلل من التبعر ويُحسن الناقلية [30] كما يكمن أن يتغير في الحالة التكافؤية (خصوصاً في CuO) قد يؤدي التسخين إلى تحوّل $\text{Cu}^+ \leftrightarrow \text{Cu}^{2+}$ مما يؤثر إيجاباً على عدد حاملات الكهرباء .

عموماً يمكن القول أن انخفاض المقاومة مع زيادة درجة حرارة التحضير يُشير إلى أن تقريباً درجة مثلى لتحقيق 425°C الأغشية تصبح أكثر توصيلاً، تعد درجة حرارة التحضير أدنى مقاومة وأفضل ناقلية ، هذا التحسن في الخواص الكهربائية يجعل أغشية أكسيد النحاس مرشحة لتطبيقات في الخلايا الشمسية، أجهزة العرض، والأنظمة الكهروضوئية تتلخص هذه الخصائص الكهربائية التي تحصلنا عليها لعينة أكسيد النحاس في

الجدول الآتي:

الجدول (III - 4) قيم المقاومة السطحية والمقاومة الكهربائية والناقلية الكهربائية لأغشية أكسيد النحاس

النقية المحضرة في درجات حرارة مختلفة .

درجات الحرارة	350°C	375°C	400°C	425°C
سمك d (cm)	3,05E-05	4,09E-05	4,81E-05	5,29E-05
المقاومة السطحية RS (Ω)	2,1988E+7	1,0513E+7	5,9226E+6	3,5407E+6
الناقلية σ 1-($\text{Cm} \cdot \Omega$)	1,492E-03	2,325E-03	3,508E-03	5,376E-03
المقاومة ρ ($\text{Cm} \cdot \Omega$)	670	430	284	186

الخلاصة :

تم في هذا الفصل طرح مجريات العمل التجريبي وما تضمنه من خطوات لتحضير أغشية لاكسيد النحاس النقي المحضرة عند درجة حرارة الأرضيات المختلفة ومرسبة بطريقة الرش الكيميائي الحراري المعرفة بالشروط المناسبة، إذ لوحظ أن درجة الحرارة يؤثر على الخصائص البصرية والكهربائية، تيم تحديد الخصائص البصرية باستعمال مطيافية الأشعة فوق البنفسجية-المرئية (UV- VIS)، بعد معاينة الشرائح والحصول على النتائج وجد أن نفاذية هذه الأغشية نقصان بزيادة درجة الحرارة ، كما تبين أن للسلك دور مهم في التأثير على النفاذية، كما ان الفاصل الطاقى (Eg) شهد تزايدا في قيمته. أما بالنسبة للخصائص الكهربائية والتي تم الحصول عليها بجهاز المسابر الأربعة والذي أظهر تزايد في قيم الناقلية بالمقابل تناقص في قيم المقاومة الكهربائية بزيادة درجة الحرارة .

- [6] صلاح الدين علي الهلالي, محمد خضير, "دراسة الخصائص التركيبية و البصرية لأغشية ZnO المحضرة بطريقة الرش الحراري", مجلة الفيزياء العراقية, المجلد 5, العدد 2, 2007 .
- [7] جورج هاكي , " معامل جودة جديد للموصلات الشفافة " مجلة الفيزياء التطبيقية , ترجمة عن Journal of Applied Physics , 1976
- [8] ماساكي ايزاكي , تومويا أومي , " تحضير أغشية ZnO الشفافة بطريقة التفاعل الكهرو كيميائي " , مجلة نمو البلورات , ترجمة عن . Journal of Crystal Growth, 1996.
- [9] محمد علي الكرخي , "دراسة الخصائص التركيبية و البصرية لأغشية (ZnO:Sn) المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري , رسالة ماجستير , جامعة ديالي , العراق , 2012 .
- [16] ج. بوصبيح صالح , ص. لبيهيات , دراسة الخصائص التركيبية و البصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعمة بالنحاس (Cu) , مذكرة ماستر أكاديمي , جامعة الوادي , 2018 .
- [20] م , عقون " دراسة تأثير زمن الترسيب الطبقات الرقيقة لأكسيد النيكل (NiO) على بعض الخصائص الفيزيائية " مذكرة ماستر أكاديمي , جامعة قاصدي مرباح , ورقلة , 2017 .
- [22] مهدي.م.أ , حسن, ز بودينا, م, ويام, ف.ك. (2012) " تأثير درجة حرارة التلدين على الخصائص الهيكلية و البصرية لأغشية CuO الرقيقة المحضرة بالتبخير الحراري .مجلة علوم الأسطح التطبيقية . 258(14)5281-5285.

[1] Neamen, D, A. (2012). Semiconductor physics and Devices :Basic Principles (4th ed). McGraw-Hill Education.

[2] Patil , p.s. (1999). Versatility of chemical spray pyrolysis technique Materials chemistry and physics , 59(3), 185-198.

[3] Kumar , M , Singh , R. (2014). Effect Of deposition temperature on optical And structural properties of copper oxide thin films deposited by Pyrolysis. Spray technique., Materials science in semiconductor processing 27, 399-406.

[4] Santhosh Kumar , M. C, et al. (2017). Effect Of annealing temperature Structural, optical electrical properties of CuO thin films , Materials Today: proceedings, 4(4), 4186-4191.

[5] Sanchez , J, A , et al . (2006). structural and Optical properties of CuO thin films , prepared by spray Pyrolysis . Thin solid films, 515(1), 247-251.

- [10] Dutta,D.p.Tyagi,A.K.(2010).Effect of annealing temperatir on the optical properties of CuO thim films.journal of Mateuals science .
Materials in Electronics ,21(6)541-546.
- [11]Wang,L,et.al.(2008).Synthesis and optical properties of CuO.
Nanostructures .Materialsletter,62(27),4109-4111.
- [12]S.A.Makhlouf,"Optical properties of CuO thin films,"Thin Solid Films,
Vol.516,no.17,pp.5585-5592,2008.
- [13]N.B.Chaure et al, "Optical and structural properties of copper oxide
Thin films," Semiconductor Science and Technolog y,Vol.21,pp.1477-
1482,2006 .
- [14]Pankove,J.I.(1971).Optical Processes in Semiconductors.Dover
Publications.
- [15]Moss,T.s.(1950)."The Interpetion of the Propertier of Indium
Antimonide"Proceedings of the Physical Society Section B.
- [17]H.S.BAHIDH,"Optical and Structural Properties Of (ZnO-SNO2) and their
Mixture Prepared by Chemical Spray
Pyrolysis "M.SC.Thesis,College Of Science for Women of University of
Baghdad .(2009).
- [18] R.Ferro and J.A.Rodriguez,"Study of Some Optical Properties of CdO : F
Thin Films "State.Sol . (b),Vol,220,P.299,(2000).
- [20]Heavens,O.S," Optical Properties Of Thin Solid Films",Dover Publication,
1991.
- [21]M.A.Wahab , "Solid State Physics ,"Narosa Publishing House .
- [23] Bouguila,N,Ezzaouia,H,Amlouk,M.(2013)."Study of the Physical
Properties of copper oxide Thin Films grown by spray Pyrolysis ",
Thin solid Films 548,322-327.

[24] B. Ghosh et al., "Influence of substrate temperature on the properties of sprayed SnO₂ films," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 44, no. 3, pp. 201–210, 1996.

[25] M. A. Majeed Khan et al., "Effect of thickness on structural, electrical and optical properties of ZnO thin films," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 16, no. 6, pp. 1749–1755, 2013


[26] Ahmed, A. M., et al. (2016). *Effect of annealing temperature on the structural and electrical properties of CuO thin films prepared by spray pyrolysis*. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 41, 285–291

[27] Kumar, M., et al. (2019). *Influence of substrate temperature on structural, optical and electrical properties of CuO thin films prepared by sol-gel spin coating technique*. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(5), 4763–4771

[28] Chopra, K. L., Major, S., & Pandya, D. K. (1983). Transparent conductors — A status review. *Thin Solid Films*, 102, 1–46.

[29] Minami, T. (2005). Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes. *Semiconductor Science and Technology*, 20, S35–S44.

[30] Look, D. C. (2001). Recent advances in ZnO materials and devices. *Materials Science and Engineering: B*, 80, 383–387



الخاتمة العامة

في هذا العمل تم تحضير اغشية رقيقة من أكسيد النحاس وهذا عن طريق تقنية الرش الكيميائي الحراري حيث تم ترسيب هذه الاغشية على قواعد زجاجية عند درجات حرارة مختلفة $^{\circ}\text{C}$ (350 , 375 , 400 و 425) حيث قمنا باستعمال محلول من مادة كبريتات النحاس المائية ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) كمصدر لأكسيد النحاس. بتركيز (0.1mol/L) وبعد ترسيبنا للشرائح المطلوبة قمنا بتوصيف الشرائح المحضرة عن طريق الأجهزة التالية : جهاز التحليل الطيفي (UV – VIS) وجهاز المسابر الأربعة. اهتم في هذا العمل بدراسة مدى تأثير تغيير درجة حرارة الركيزة لترسيب شرائح أكسيد النحاس المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري على الخصائص الضوئية والكهربائية.

حيث أظهرت النتائج ان منحى طيف النفاذية تبلغ اقصى قيمة لها (30,68%) عند درجة الحرارة (350°C)، كما نجد أيضا ان قيم طيف الامتصاصية تزداد عند درجات الحرارة حيث بلغت % 67,72 عند 425°C وكانت 51,83 عند درجة حرارة 325°C , بالإضافة الى معامل الامتصاص حيث يمتلك اكبر قيمة (9634,586) عند 425°C ويأخذ ادنى قيمة له (5818,567) عند 350°C . اما فيما يتعلق بالفاصل الطاقوي فنجد زيادة حيث بلغت على التوالي 2,01 , 2,12 , 2,15 عند 350°C , 375°C , 400°C على الترتيب ثم انخفاض لتصل الى 2,11 عند 425°C ، كذلك معامل الخمود تزداد قيمته (من 2,65 الى 4,19) وذلك بين درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$ (350 الى 425)، الى جانب ذلك مكنت دراسة الخواص الكهربائية باستعمال تقنية المسابر الأربعة من الحصول على مقاومة كهربائية حيث وصلت الى قيمة حدية عند درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (350) فكانت (670) الى ان تصل الى اقل قيمة عند درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (425) وهي (186) اما الناقلية الكهربائية تتزايد بزيادة سمك الشريحة .

لهذا العمل آفاق وإعادة نتطلع إليها مثل معاينة العينات بتقنيات أخرى كالماسح الإلكتروني الضوئي وحيود الأشعة السينية وغيرها من طرق المعاينة. كما يمكن دراسة تأثير تغير الشروط التجريبية لعملية الترسيب على خصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه الأغشية كالتغيير في زمن الترسيب أو إضافة عنصر تطعيم، حيث يمكن لكل شرط من الشروط المذكورة سابقا أن يكون موضوع بحث جديد في هذا المجال.

المُلخَص

الملخص

تضمن هذا العمل تحضير و دراسة الخصائص الضوئية والكهربائية للأغشية الرقيقة لأكسيد النحاس , حيث تم ترسيب الأغشية المحضرة على ركائز زجاجية نظيفة عند درجات حرارة مختلفة $^{\circ}\text{C}$ (350 , 375 , 400 و 425) بواسطة تقنية الرش الكيميائي الحراري . تمت الدراسة في مدى الأطوال الموجية (300-900)nm وذلك باستخدام جهاز التحليل الطيفي للأشعة المرئية و فوق البنفسجية , فقد أظهرت النتائج تأثير جميع الخصائص الضوئية للأغشية بزيادة درجة الحرارة حيث شهدت النفاذية انخفاضا ملحوظا حتى وصلت الى حوالي 22.11 عند درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ 325 من جهة أخرى فقد لوحظ تزايد الامتصاصية حتى بلغت 67,72 عند درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ 425 , أما الفاصل الطاقى فقد تزايدت قيمته من 2,01 الى 2,15 تبعا لزيادة درجة الحرارة .

Abstract

This work involves the preparation and study of the optical and Electrical properties of thin films of copper oxide. The films were deposited on glass substrates at different temperatures (350°C , 375°C , 400°C , 425°C) using the spray Pyrolysis technique. The study was conducted in the wavelength rang of (300-900)nm using a UV-Visspectrophotometer.

The results showed that all the optical properties of the films were Affected by the increase in temperature. It was observed that the optical band gaz decreased significantly to about 2.11eV at 325°C .

On the other hand , the absorbance increased and reached 67.72

At 425°C .As for the refractive index, its value increased from 2.01 to 2.15 as the temperature increased.