

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة
قسم علوم المادة



مذكرة ماستر

علوم المادة
فيزياء
فيزياء طاقوية وطاقات متجددة
رقم: أدخل رقم تسلسل المذكرة

إعداد الطالبة:
بحري نور الهدى

يوم:
2024/06/13

تحضير ودراسة الخصائص البنيوية والبصرية لأغشية أكسيد النحاس النقي
والمطعم بالسترونتيوم (Sr)

لجنة المناقشة

رئيس	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ.د.	سنفوقة نور الدين
مشرف	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ.مح ب	العاقل عبد الغاني
مناقش	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ.د.	رحمان ساعد
مناقش	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ.مس أ	اوحباب نور الدين

السنة الجامعية: 2024/2023

شكر و تقدير

بسم الله وكفى، الصلاة والسلام على النبي المصطفى، وعلى أهله وصحبه ومن سار سيره
واتبع هديه وإقتفى.

هي خطوات كتبت علينا فمشيناها ومن كتبت عليه خطوات مشاها.

ها نحن نصل إلى ضوء آخر النفق، إلى خاتمة المشوار ونهاية المطاف، وعندما نكون عند
عتبات مسك الختام يعجز اللسان عن الكلام، لكن الواجب يقتضي أن ننزل الناس منازلهم، و
نقول للمحسن أحسنت وللمسيء غفر الله لك، ونحن لن يضع الله في طريقنا إلا المحسنين
الذين يجودون بالنفس والنفيس من أجل غاية نبيلة وهدف عظيم كريم.

وبمناسبة تخرجنا هذا لا يسعنا إلا نتقدم بالشكر الجزيل لكل من علمنا و أنار طريقنا ووقف
إلى جانبنا معلما وناصحا ومرشدا أهدي باسمي أغلى عبارات الاعتراف والامتنان لما قدموه
لنا من مجهودات، ونخص بالذكر الأستاذ المؤطر العاقل عبد الغاني و

و الأستاذ برفسور سنقوقة نور الدين رئيس اللجنة و الأستاذة الممتحنين البروفيسور رحمان
ساعد و الأستاذ اوحباب نور الدين وإلى من قدم لنا يد المساعدة الأستاذة عبد السلام نورة.

إهداء

أهدي ثمرة جهدي هذا إلى من لو جاز السجود لغير الله لسجدت لها، إلى أول من رأت عيني ونطق لساني ونبع حناني التي أسع لرضاها وأطمع في دعائها إلى من جننتي تحت قدميها أُمي الحنونة الغالية حفظها الله .

إلى من فطرني المولى على حبه والإحسان إليه، إلى من ساهم في تربيته وسعى جاهدا من أجل أن أكون في أعلى وأفضل المراتب إلى الذي كان وراء كل خطوة خطوتها في طريق العلم، أبي الحبيب الغالي رعاه الله.

إلى من تقاسمت الحياة معهم أخوتي كل باسمه

صفية، حنان، محمد، عبد الرحمان وهديل

إلى الذين لا تحلو الحياة إلا بهم فرحت المنزل وعنصر المشاغبة
أولاد أختي الأعزاء يونس، دارين و لينا

إلى كل أساتذة قسم الفيزياء وكل الأصدقاء و الزملاء
و أخص بالذكر بوغزالة نسرين.

II.....	شكرو تقدير
III.....	إهداء
IV.....	الفهرس
VIII.....	قائمة الأشكال
VIII.....	قائمة الجداول
1.....	المقدمة العامة
3.....	مراجع المقدمة العام
❖ الفصل الأول : دراسة مكتبية على الأكاسيد الشفافة الناقلة	
5.....	1.I تمهيد
5.....	2.I. الأكاسيد الشفافة الناقلة
5.....	1.2.I لمحة تاريخية عن الأكاسيد الناقلة الشفافة
5.....	2.2.I تعريف الأكاسيد الشفافة الناقلة
6.....	3.2.I أنواع الأكاسيد الشفافة الناقلة
7.....	4.2.I مميزات الأكاسيد الشفافة الناقلة
7.....	5.2.I الخصائص الضوئية و الكهربائية
8.....	6.2.I الخصائص الكهربائية
11.....	7.2.I الخصائص الضوئية
13.....	8.2.I الأكاسيد الناقلة الشفافة في الحالة النقية و المطعمة
14.....	9.2.I معايير اختيار الأكاسيد الشفافة الناقلة
15.....	10.2.I تطبيقات الأكاسيد الناقلة الشفافة
15.....	3.I. عموميات حول أكسيد النحاس
15.....	1.3.I النحاس
16.....	2.3.I أكسيد النحاس الثنائي
17.....	3.3.I البنية البلورية لأكسيد النحاس
18.....	4.3.I الخصائص الكهربائية لأكسيد النحاس
18.....	5.3.I الخصائص الضوئية لأكسيد النحاس
19.....	6.3.I استخدامات أكسيد النحاس
19.....	1.4.I الستورنتيوم
20.....	2.5.I سبب اختيار الستورنتيوم
20.....	6.I الخلاصة
21.....	مراجع الفصل الأول
❖ الفصل الثاني: طرق ترسيب الطبقات الرقيقة و تقنيات التحليل	
25.....	1.II تمهيد
25.....	2.II مفهوم الطبقات الرقيقة
25.....	3.II مبدأ ترسيب الشرائح الرقيقة

27.....	4.II طرق تحضير الشرائح الرقيقة.....
28.....	1.4.II الطرق الفيزيائية.....
29.....	1.1.4.II الترسيب الفيزيائي للأبخرة (PVD).....
29.....	2.1.4.II الترسيب بالليزر النبضي.....
30.....	2.4.II الطرق الكيميائية.....
31.....	1.2.4.II الترسيب الكيميائي للأبخرة (CVD).....
31.....	1.1.2.4.II ترسيب البخار الكيميائي منخفض الضغط (LPCVD).....
31.....	2.1.2.4.II عملية الترسيب الكيميائي بالبخار المعزز بالبلازما (PECVD).....
32.....	3.1.2.4.II عملية الترسيب الكيميائي بالبخار للمركبات المعدنية العضوية (MOCVD).....
32.....	2.2.4. II تقنية المحلول الهلامي (gel-Sol).....
34.....	1.2.2.4. II الطلاء بالطرد المركزي.....
37.....	5.II طرق و تقنيات المعاينة.....
37.....	1.5.II الخصائص البنيوية.....
37.....	1.1.5.II إنعراج الأشعة السينية (DRX).....
38.....	1.1.1.5.II المعلومات البنيوية.....
39.....	2.1.1.5.II تطبيقات إنعراج الأشعة السينية.....
40.....	2.6.II الخصائص الضوئية.....
40.....	1.2.6.II التحليل الطيفي للأشعة المرئية و الفوق بنفسجية (UV-VIS).....
41.....	1.1.2.6.II معامل الامتصاص.....
42.....	2.1.2.6.II الفاصل الطاقى.....
43.....	3.6.II الخصائص الكهربائية.....
43.....	1.3.6.II تقنية النقاط الأربعة.....
43.....	7.II الخلاصة.....
44.....	مراجع الفصل الثاني.....
❖ الفصل الثالث: تحضير الطبقات الرقيقة و دراسة خصائصها	
47.....	1.III تمهيد.....
47.....	2.III العمل التجريبي.....
47.....	1.2.III اختيار المواد.....
47.....	2.2.III تحضير المحاليل.....
47.....	1.2.2.III تحضير المحلول النقي.....
48.....	2.2.2.III تحضير المحلول المطعم.....
49.....	3.2.III تحضير المسند.....
49.....	1.3.2.III اختيار المسند.....
49.....	2.3.2.III تنظيف المسند.....
50.....	4.2.III ترسيب الطبقات الرقيقة بطريقة الطلاء بالطرد المركزي (spin-coating).....
50.....	5.2.III المعالجة الحرارية للطبقات الرقيقة.....

51.....	III.3. الخصائص البصرية.....
51.....	III.3.1. مطيافية الأشعة فوق البنفسجية و المرئية(UV-VIS).....
51.....	III.3.1.1. طيف النفاذية.....
52.....	III.3.1.2. تحديد السمك.....
53.....	III.3.1.3. معامل الامتصاص.....
54.....	III.3.1.4. معامل التخامد.....
54.....	III.3.1.5. الفجوة البصرية.....
56.....	III.3.1.6. معامل الإنكسار.....
57.....	III.4. الخصائص الكهربائية.....
57.....	III.4.1. الدراسة الكهربائية بتقنية المسابر الأربعة.....
57.....	III.5. معامل الجودة.....
59.....	مراجع الفصل الثالث.....
60.....	الخاتمة العامة.....

12.....	1.I. الاعتماد الطيفي للمواد الشفافة شبه الموصلة
17.....	2.I. البنية البلورية لأكسيد النحاس الثنائي
18.....	3.I. نفاذية أكسيد النحاس بدلالة الطول الموجي
28.....	1.II. مخطط لأنواع تقنيات الترسيب في الشرائح الرقيقة
29.....	2.II. رسم التخطيطي لنظام التبخر الحراري
30.....	3.II. رسم التخطيطي لنظام الترسيب بالليزر النبضي
31.....	4.II. يمثل الترسيب الكيميائي للأبخرة (CVD)
35.....	5.II. يمثل خطوات تقنية الطلاء بالطرد المركزي
39.....	6.II. إنعراج الأشعة السينية DRX
40.....	7.II. رسم التحليل الطيفي للأشعة المرئية وال فوق البنفسجية UV-VIS
41.....	9.II. طريقة التداخل لتحديد سمك الشرائح الرقيقة
43.....	9.II. تقنية النقاط الأربعة
48.....	1.III. مخطط تحضير المحلول النقي لأكسيد النحاس
49.....	2.III. مخطط تحضير محلول أكسيد النحاس المطعم بالسترونتيوم
51.....	3.III. طيف نفاذية مختلف العينات المحضرة
52.....	4.III. مخطط لآلية عمل برنامج Hebal optics
53.....	5.III. معامل الامتصاص لمختلف الشرائح المحضرة
54.....	6.III. تغير معامل التخماد لمختلف العينات المحضرة
55.....	7.III. الفاصل الطاقى لأغشية أكسيد النحاس النقي و المطعم

6.....	1.I. الأكاسيد البسيطة و المركبة.....
6.....	2.I. بعض أنواع الأكاسيد الشفافة
7.....	3.I. الخصائص الكهربائية و الضوئية للأكاسيد الناقلة الشفافة.....
8.....	4.I. الفاصل الطاقى لبعض الأكاسيد الناقلة الشفافة.....
13.....	5.I. تطعيم الأكاسيد الناقلة الشفافة.....
15.....	6.I. بعض الخصائص الفيزيائية للنحاس.....
16.....	7.I. الخواص الفيزيائية لأكسيد النحاس الثنائي.....
47.....	1.III. المواد المستخدمة في بحثنا.....
48.....	2.III. كتل نترات السترنسيوم المستخدمة لتحضير المحلول المطعم.....
53.....	3.III. الجدول سمك الشرائح حسب نسبة التطعيم.....
55.....	4.III. الفجوة البصرية للشرائح الرقيقة لأكسيد النحاس النقي و المطعم بالسترنسيوم.....
56.....	5.III. معامل الانكسار لشرائح أكسيد النحاس النقية و المطعمة بالسترنسيوم.....
57.....	6.III. الخصائص الكهربائية لشرائح أكسيد النحاس النقي و المطعم بالسترنسيوم.....
58.....	7.III. معامل الجودة بالنسبة لتطعيم لأكسيد النحاس.....

المقدمة العامة:

تعتبر فيزياء المواد فرع من الفيزياء يدرس الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد والمركبات على مستوى الذرة والجزيء والشبكة البلورية، يهتم فرع فيزياء المواد بفهم طريقة ترابط الخصائص الذرية والتركيبية بالخصائص الكهربائية، المغناطيسية، البصرية، الحرارية والميكانيكية للمواد [1].

تطورت تكنولوجيا فيزياء المواد بشكل كبير على مدار العقود القليلة الماضية، حيث أصبح لدينا الآن فهم عميق للخصائص الفيزيائية على مستوى الذرة والشبكة البلورية، وأصبح من الممكن تحسين الخصائص الميكانيكية والكهربائية والبصرية والحرارية للمواد بشكل متقدم، وهذا يعزز من إمكانيات تطبيقاتها في مجالات مثل صناعة الأجهزة الإلكترونية عالية الأداء، المواد النانوية، الطاقة المتجددة، الطب وغيرها [2].

وتعد تقنية الشرائح الرقيقة Thin films واحدة من أهم التقنيات التي ساهمت في تطوير دراسة أشباه الموصلات و أعطت فكره واضحة عن العديد من الخصائص الفيزيائية [3]، ويطلق عادة مصطلح الشرائح الرقيقة على طبقة أو عدة طبقات قد لايتعدى سمكها واحد ميكرون ناتجة عن تكثيف الذرات أو الجزيئات، وهو الذي يجعلها تمتلك خواص فريدة وهامه تختلف عما إذا كانت عبارة عن جسيم سميك كالصفات الفيزيائية والهندسية وعلى توازن تركيبها الميكروية، وبسبب السمك الرقيق لهذه الشرائح وسهولة تشققها ترسب على مواد أخرى تستخدم كقواعد ترسيب، ويعتمد نوع القاعدة على طبيعة الاستخدام والدراسة مثل الزجاج و الكوارتز و السليكون و الألمنيوم [4] ، للشرائح الرقيقة استعمالات صناعية متعددة إذ تدخل في تركيب الأجهزة الإلكترونية بشكل مقاومات ومكثفات و ترانزستورات وغيرها وتعد أساسا لتصنيع الخلايا الشمسية ، كما تدخل في صناعة الكواشف الكهروضوئية ضمن نطاقات طيفية محددة و لها عديد التطبيقات [5]، ويتم تصنيع أو ترسيب "Deposition" الطبقة الرقيقة على نوعين: الترسيب الكيميائي والترسيب الفيزيائي.

نتيجة للتطور العلمي فقد تطورت طرق ترسيب الشرائح الرقيقة و أصبحت على درجة عالية من الدقة في تحديد سمك و تجانس الطبقة، حيث تعددت طرق ترسيبها وأصبح لكل طريقة خصائصها ومميزاتها لتؤدي الغرض الذي استعملت من اجله [6]، ومن بين هذه الطرق طريقة الطلاء بالطرد المركزي ضمن تقنية المحلول الهلامي (sol-gel) الذي سيتم عرضهما في هذا العمل، حيث أن الشرائح المحضرة بهذه الطريقة تمتاز بمواصفات فيزيائية و كيميائية مهمة [7-8].

يعد أكسيد النحاس (CuO) من الأكاسيد الناقلة الشفافة المهمة ،لامتلاكه خصائص بصرية وكهربائية و مغناطيسية فريدة ومتميزة مما أهله لأن يكون عنصرا فعالا في الكثير من التطبيقات فيزيائية مثل:الخلايا الشمسية ،حساسات الغاز و الصمامات الباعثة للضوء[8].

من خلال هذا العمل قمنا بترسيب شرائح رقيقة من أكسيد النحاس النقية المطعمة بالستروننتيوم بنسب مختلفة على قواعد زجاجية، حيث سيتم تقديم دراسة تجريبية توضح تأثير نسب التطعيم بالستروننتيوم على الخصائص الكهربائية و البصرية لشرائح (CuO) المحضرة بتقنية (sol-gel) و بطريقة الطلاء بالطررد المركزي .

سيتم بسط هذا العمل في فصول ثلاث نعرضها في ما يلي :

❖ الفصل الأول :

سنعرض فيه دراسة نظرية لأهم المعلومات و المفاهيم حول الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCO) و ابرز ما تتميز به، كذلك سنخصص دراسة لأكسيد النحاس (CuO) و خواصه الكهربائية و الضوئية .

❖ الفصل الثاني :

سنقدم فيه تعريفا عاما للشرائح الرقيقة و أهم طرق الترسيب الفيزيائية و الكيميائية للشرائح، كما سيتم التطرق فيه إلى شرح موجز لبعض طرق و أجهزة المعاينة و التوصيف المستعملة في تعيين خصائص الشرائح المحضرة كطيف إنعراج الأشعة السينية (DRX)، و طيف نفاذية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-VIS) وطريقة الأربع نقاط .

❖ الفصل الثالث :

و فيه سنعرض أهم النتائج التجريبية المتحصل عليها و التي تخص الخصائص البصرية و الكهربائية لشرائح أكسيد النحاس النقية و المطعم بالستروننتيوم بغية التعرف على مدى تأثير نسبة التطعيم على هذه الشرائح.

مراجع المقدمة العامة:

مراجع باللغة العربية :

- [1] س. عزازة حسين، غ. جليل عبد السادة، تأثير التشويب بالنحاس Cu على الخواص التركيبية لأغشية فرايت الخارصين، مجلة جامعة كربلاء العلمية، المجلد. 16، العدد، 1، 2018، ص. 126-131.
- [2] ع. نجم صالح، ا. ابراهيم حسن، دراسة تأثير نوع و طبيعة الارضية على الخواص البصرية لأغشية (NiO) المحضرة بطريقة الطلاء الدوراني، مجلة تكريت للعلوم الصرفة، العدد. 20، الرقم 1، 2015، ص. 126-131.
- [3] س. بنعمر، دراسة الخواص الفيزيائية للطبقات الرقيقة لأكسيد الزنك (ZnO) المطعم بالحديد المتوضع بتقنية رذاذ الإنحلال الحراري، مذكرة ماستر اكاديمي، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، 2016.
- [6] غ. سرحان احمد الدليمي، تحضير أغشية رقيقة من صبغة ليزيرية و مطعمة بالبوليمر و قياس سمكها، مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة و التطبيقية، المجلد. 25، العدد. 2، 2012.
- [7] ع. دقة، ط. مصباحي، تحديد بعض خصائص أغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعم بالحديد (Fe)، مذكرة ماستر اكاديمي، جامعة الوادي، 2017.

مراجع باللغة الاجنبية :

[4] O.Caporaletti ,Electrical and optical properties of sputtering ZnO thin films solar energy material,vol.7,1982,p.65.

[5] R. Barnum, Biotechnology, An introduction, 2nd Edition, Thomson Brooks, 10,Davis drive, Belmont CA 94002, USA, 2005.

[8] F.Cesbron, P. Lebrun, Le Cléach J.-M.,DevilleJ.Quartz Et Autres Minéraux De La Silice ,Minéraux Et Fossiles ,Hors Série N°11 ,P100 ,(2000) .

الفصل الأول:
دراسة مكتبية على الأكاسيد
الشفافة الناقلة.

1.1. تمهيد:

يعد التحكم في تكنولوجيا الأكاسيد الناقلة الشفافة بتحقيق أفضل شفافية للضوء المرئي و في نفس الوقت ناقلة جيدة تحديا صناعيا مهما للغاية لما لها من خواص فيزيائية و كيميائية جد مهمة، فهي تدخل في عديد التطبيقات التقنية الحديثة مثل صناعة الخلايا الشمسية و في مجال الأقمار الصناعية و الاتصالات، فضلا على استخدامها كمرشحات و مرايا عالية الكفاءة إلى غير ذلك من الاستخدامات الواسعة و في هذا الفصل سنتعرف على بنية هذه الأكاسيد إضافة إلى مختلف خواصها و سنخرج أخيرا إلى أكسيد النحاس الذي سيكون محل دراستنا هذه [1].

2.1. الأكاسيد الشفافة الناقلة:**1.2.1. لمحة تاريخية عن الأكاسيد الناقلة الشفافة:**

أكتشفت الأكاسيد الناقلة الشفافة TCO في بداية القرن العشرين من طرف العالم Badeker سنة 1907 حيث قام بتشكيل طبقة رقيقة من أكسيد الكاديوم (CdO) [2] و يستعمل مصطلح الشرائح الرقيقة للدلالة على طبقة أو عدة طبقات لا يتعدى سمكها الميكرومتر الواحد، كما تم اكتشاف الشرائح الرقيقة من أكسيد النحاس عام 1987 من قبل الباحثين Karl A. Muller و Johannes Georg في شركة IBM أدى اكتشافهما إلى تطوير موصلات فائقة الحرارة [3].

2.2.1. تعريف الأكاسيد الناقلة الشفافة:

تصنف المواد الصلبة بشكل عام من حيث توصيليتها الكهربائية إلى ثلاث أصناف وهي النواقل، العوازل و أشباه النواقل وهذه الأخيرة تندرج ضمنها الأكاسيد الناقلة الشفافة وهي مركبة من معدن متحد مع الأوكسجين مثل: أكسيد النيكل ، أكسيد الزنك و أكسيد النحاس. يتم تعريفها بواسطة الناقلية الكهربائية التي تقارب ناقلة المعادن مع شفافية عالية جدا في أطوال الموجات المرئية المعرفة في المجال $(400 < \lambda < 800)$ nm [3] ، ترتبط هاتان الخاصيتان بسمك الطبقة المرسبة و التي تعتمد على حجم الحبيبات، الذي يزداد عادة مع سمك الشريحة و أشهر الأكاسيد الموصلة الشفافة هي أكاسيد الأنديوم و الزنك و الغاليوم [4].

يمكن تقسيم الأكاسيد الناقلة الشفافة إلى مركبة و بسيطة.

الأكاسيد البسيطة: هي الأكاسيد التي تحتوي على نوع واحد من المعادن إضافة للأكسجين.

الأكاسيد المركبة: هي الأكاسيد التي تحتوي على أكثر من نوع واحد من المعادن إضافة للأكسجين.

الجدول (1-I): الأكاسيد البسيطة و المركبة [4].

CdO	CuO	PdO	الأكاسيد البسيطة
Zn ₂ SnO ₄	CdIn ₂ O ₄	GaInO ₃	الأكاسيد المركبة

3.2.I أنواع الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCO):

تصنف الأكاسيد الناقلة الشفافة حسب طبيعة حاملات الشحنة الغالبة إلى نوعين وهما n و p: النوع n: تكون في هذا النوع من الأكاسيد الناقلة الشفافة الالكترونات هي حاملات الشحنة الأغلبية، بحيث تترسب هذه الأكاسيد على شكل طبقات رقيقة، تعمل الفراغات على زيادة في عملية التوصيل بفعل تكوينها لمستويات تقع أدنى عصابة النقل متحصلة على الكترونات و التي تتأين في الطاقات الضعيفة [5]. النوع p: من خصائص هذا النوع أنه تكون فيه الثقوب هي حاملات للشحنة الأغلبية. أما بالنسبة لتحضير TCO من نوع P يحتاج لمستويات اقل قليلا من عصابة التكافؤ وقد تم العمل المكثف لتصنيعه بواسطة تقنيات الترسيب المختلفة واستعمال العديد من الدراسات لفهم الجيد لبنية الخصائص الضوئية والكهربائية له الناقلة من نوع p للمواد TCO يمكن أن تحدد بواسطة قياس معامل هول Seebec [6].

الجدول (2- I): بعض أنواع الأكاسيد الشفافة [4].

(TCO) من النوع n	(TCO) من النوع p
SnO ₂	CuO
Ta ₂ OS ₃	La ₂ O ₃
Ln ₂ O ₃	Ag ₂ O
TiO ₂	BaTiO ₃
ZnO	NiO
WO ₃	PdO

4.2.I مميزات الأكاسيد الناقلة الشفافة:

للأكاسيد الناقلة الشفافة مزايا عديدة جعلت لها أهمية بالغة في التطبيقات العلمية تذكر منها :

- تتميز الأكاسيد الناقلة الشفافة بالاستقرار الكيميائي تحت ظروف بيئية متنوعة، مما يضمن كفاءتها و طول عمر استخدامها في مختلف التطبيقات.
- مقاومتها ذات معامل حراري سالب مما ينتج عنه إلى زيادة توصيلته الكهربائية بزيادة درجة الحرارة، وتعتبر هذه الصفة مميزة لها عن المواد الموصلة.
- حساسيتها الشديدة عند احتوائها على شوائب أو إحداث بعض العيوب فيها، والتي تؤدي إلى زيادة الناقلية و إلى ظهور نوع واحد من حاملات الشحنة و الذي يتسبب في تناقص النوع الآخر.
- تظهر حساسية للضوء عند تعرضها له، و ذلك من خلال الظاهرة الكهروضوئية أو من خلال التغير في مقاومتها[6].

5.2.I الخصائص الكهربائية و الضوئية للأكاسيد الناقلة الشفافة:

تتميز الأكاسيد الناقلة الشفافة بخصائص كهربائية و ضوئية مهمة مما جعلها محل اهتمام للكثير من الباحثين حيث تمتلك شفافية للضوء عالية جدا و ناقلية كهربائية جيدة، أن جميع هذه الخصائص تتعلق بنسبة كبيرة بتقنية الترسيب المتبعة فهي لا تتعلق بالتركيبية الكيميائية فقط[7].

يوضح الجدول التالي (I - 3) الخصائص الكهربائية و الضوئية للأكاسيد الناقلة الشفافة الأفضل في حدود المقادير، حيث معامل الامتصاص مقاس بالنسبة للطيف المرئي[8].

الجدول (I - 3) الخصائص الكهربائية و الضوئية للأكاسيد الناقلة الشفافة[8].

الأكاسيد الناقلة الشفافة	الخصائص
[2- 4,2]	الفاصل الطاقي (eV) E_g
أقل من (10^{-4})	المقاومية ρ ($\Omega.cm$)
من 10 إلى بعض الآلاف	المقاومية السطحية (R_s) (Ω)
حوالي 50	الحركية μ ($cm^2/V.S$)
أكبر من (10^{20})	كثافة حاملات الشحنة (cm^{-3})
أكبر من 90%	النفاذية T
أقل من (10^5)	معامل الامتصاص α (cm^{-1})

6.2.I الخصائص الكهربائية:

بدأ الاهتمام بالخواص الكهربائية للأكاسيد الناقلة الشفافة منذ سبعينات القرن الماضي و من أهمها:

أ- الفاصل الطاقي E_g :

تعرف فجوة الطاقة بأنها الطاقة اللازمة لإثارة الإلكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل وقد سميت بالنطاق الممنوع لأنها مكان خالي تقريبا من المستويات وهذه الفجوة تحدد نوع المادة الصلبة حيث تعد واحدة من أهم الثوابت البصرية التي يعتمد عليها في أشباه الموصلات، وذات أهمية كبيرة في تحديد إمكانية استعمال الشرائح الرقيقة إذ أنها تعطي فكرة واضحة عن الامتصاص البصري إذ تكون الطبقة شفافة للإشعاع الذي تكون طاقته أقل من فجوة الطاقة $E_g < h\nu$ وماصة للإشعاع الذي تكون طاقته أكبر منها $E_g < h\nu$ [9].

تتميز الأكاسيد الناقلة الشفافة بنطاق ممنوع كبير، يتراوح من 2 إلى 4,6ev هو موضح في الجدول (3-I) ويرجع التغير في الفاصل الطاقي إلى عدة عوامل أبرزها: نوع المركبات في المحلول، و الطريقة المستعملة في ترسيبهم [10].

الجدول (4- I) الفاصل الطاقي لبعض الأكاسيد الناقلة الشفافة [10].

الفاصل الطاقي (eV)	الأكاسيد الناقلة الشفافة
[3.6-4.2]	SnO ₂
[3.2-3.3]	ZnO
4.2	ITO
أكبر من 2	CuO
[3-3.2]	TiO ₂
[3.6- 4]	NiO

ب- الناقلية الكهربائية σ و المقاومة ρ :

تعد الناقلية أهم مقدار دال على الخصائص الكهربائية للأكاسيد الناقلة الشفافة، وهي معيار لمدى سماحية الوسط لحركة الشحنة الكهربائية خلاله ويرمز للناقلية الكهربائية ب (σ) ووحدتها $(\text{cm}.\Omega)^{-1}$ و يعبر عنها بالعلاقة [11]:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = n \cdot q \cdot \mu \quad (1-I) \quad \text{العلاقة:}$$

σ : الناقلية الكهربائية.

n : تركيز حاملات الشحنة

q : الشحنة الكهربائية ب(c).

μ : حركية حاملات الشحنة ب ($\text{cm}^2 \cdot \text{v}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$).

ρ : المقاومة الكهربائية ($\Omega \cdot \text{cm}$)

تعرف أيضا المقاومة ρ على أنها مقلوب الناقلية وحدتها ($\Omega \cdot \text{cm}$) وتعبّر عن مقاومة المادة لسريان التيار الكهربائي عبرها مسببة تحويلا للطاقة الكهربائية إلى حرارة أو ضوء أو أي من الأشكال أخرى للطاقة، فالمواد التي لديها مقاومة منخفضة هي نواقل جديدة [11].

ج- المقاومة السطحية R_s :

هي مقدار هام لتقييم أداء هذه الطبقات في التطبيقات الإلكترونية، حيث تتأثر المقاومة السطحية بعدة عوامل مثل تركيب الطبقة وسمكها ودرجة التبلور ودرجة النقاء عموما، فكلما كانت المقاومة السطحية أقل كانت الطبقة أكثر كفاءة في نقل التيار الكهربائي.

تتراوح قيم المقاومة السطحية للأكاسيد الناقلة الشفافة بين عدة عشرات إلى عدة آلاف من الأوم لكل مربع، وتختلف هذه القيم حسب نوع الأكسيد المستخدم وطريقة ترسيبه وظروف التصنيع.

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

ρ : المقاومة الكهربائية.

d : سمك الطبقة.

د- الحركية الكهربائية μ :

الحركية الكهربائية (μ) هي مقياس لقدرة المواد على نقل الشحنات الكهربائية تحت تأثير الحقل الكهربائي وفيما يلي العلاقة الرياضية التقريبية التي تصف الحركية الكهربائية (μ) بالنسبة للأكاسيد الناقلة الشفافة:

$$\mu = \frac{q \cdot \tau}{m^*} \quad (3-I)$$

حيث:

- q هو شحنة الإلكترون .
- τ هو زمن الاسترخاء(الزمن بين تصادمين متتاليين للإلكترون) .
- m^* هو الكتلة الفعالة للإلكترون.

على الرغم من أن القيم يمكن أن تختلف بشكل كبير حسب الظروف والمواد المستخدمة، إلا أن الأكاسيد الناقلة الشفافة عادة ما تظهر قيمة مرتفعة للحركية الكهربائية، وبشكل عام تكون قيم الحركية الكهربائية للأكاسيد الناقلة الشفافة في نطاق من 10 إلى 100 سم²(فولط.ثانية)، وقد تكون أعلى في بعض الحالات للمواد ذات الأداء العالي [11].

يمكن أن تتأثر قيمة الحركية الكهربائية بالعوامل المتعددة مثل النقاء المادي ودرجة الحرارة وتركيز الشحنتات وغيرها، وتختلف هذه القيمة باختلاف نوع وخصائص المادة [11].

7.2.I الخصائص الضوئية:

لخصائص الضوئية للأكاسيد الناقلة الشفافة تعتبر جوانب هامة لفهم قدرتها على تركيب الطاقة الضوئية وتوجيه الضوء في التطبيقات الإلكترونية، وفيما يلي بعض الخصائص الضوئية الرئيسية التي قد تكون مهمة لهذه المواد:

1. **نفاذية الضوء T** : تعد النفاذية الضوئية للأكاسيد الناقلة الشفافة مهمة لأنها تحدد قدرتها على تمرير الضوء، النفاذية هي النسبة بين شدة الضوء النافذ I_T وشدة الضوء الساقط I_0 ويرمز للنفاذية بالرمز T وتعتمد هذه النفاذية على نوع المادة الشبه موصلة وسمك الطبقة والموجة الضوئية المستخدمة و تعطى بالعلاقة التالية [12]:

$$T(\%) = \frac{I_T}{I_0} \times 100 \quad (4-I)$$

2. **تشتت الضوء**: قد تؤثر خصائص الإنكسار والامتصاص على قدرة المادة على تشتيت الضوء، وهو جانب مهم في العديد من التطبيقات الضوئية [12].

3. **الانعكاسية (R)**: تعرف الانعكاسية R بأنها النسبة بين شدة الضوء المنعكس I_R أثناء سقوط حزمة ضوئية ذات طول موجي معين على سطح ما، و شدة الضوء الساقط I_0 وتعطى بالعلاقة (5) التالية [12]:

$$R(\%) = \frac{I_R}{I_0} \times 100 \quad (5-I)$$

4. **الامتصاصية (A)**: الامتصاصية A للمادة هي النسبة بين شدة الضوء الممتصة I_A وشدة الضوء الساقط I_0 وتعطى بالعلاقة التالية [12]:

$$A(\%) = \frac{I_A}{I_0} \times 100 \quad (6-I)$$

وبما أن التدفق الكلي محفوظ يمكن أن نكتب العلاقة (7):

$$I_A + I_R + I_T = I_0 \quad (7-I)$$

$$T + R + A = 1 \quad (8-I)$$

5. **معامل الامتصاص (α)**:

ويرمز له بالرمز α ومن أجل تحديده نستخدم علاقة (Ber -Lumber) التي تربط بين تدفق الضوء النافذ ومعامل الامتصاص وتعطى بالعلاقة (8) [13]:

$$\alpha(cm^{-1}) = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{100}{T\%} \right) \quad (9-I)$$

حيث:

α : معامل الامتصاص يقدر بـ (cm^{-1}).

T: النفاذية و يعبر عنها بـ (%).

d: السمك بـ (cm).

6. معامل الخمود (K):

يمثل معامل الخمود كمية الطاقة الممتصة في المادة أي الخمود الحاصل للموجة الكهرومغناطيسية، أو فقدان من الطاقة بسبب التفاعل بين الموجة و المادة و غيرها من العوامل التي تسبب فقدان في طاقة الموجة و يمكن حساب معامل الخمود بالعلاقة التالية [13]:

$$K = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (10-I)$$

حيث

λ : الطول الموجي للأشعة الساقطة.

يمثل K الجزء الخيالي من معامل الانكسار المعقد n^* .

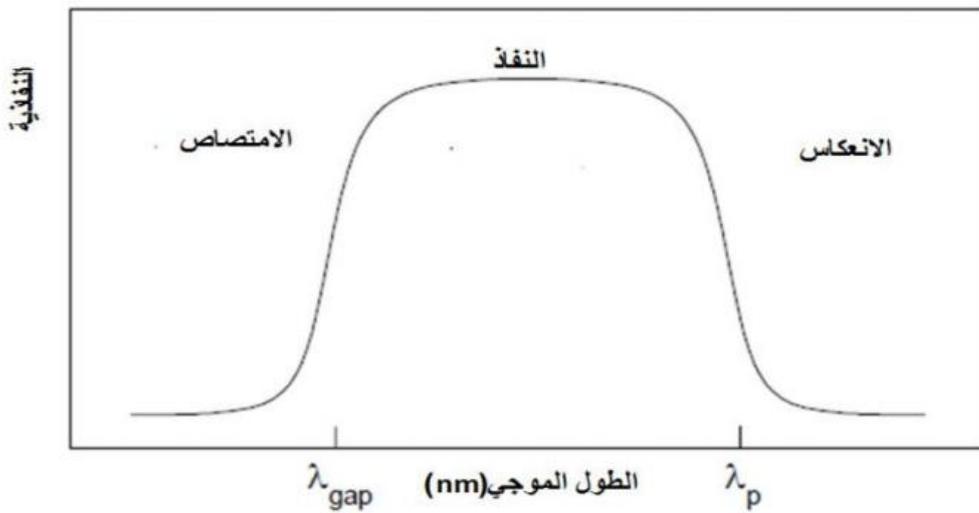
$$n^* = n - iK \quad (11-I) \quad \text{وفق العلاقة:}$$

حيث :

n: الجزء الحقيقي .

K: الجزء الخيالي.

تلعب هذه الخصائص الضوئية دورًا مهمًا في تحديد كفاءة وأداء الأكاسيد الناقلة الشفافة في التطبيقات الضوئية المختلفة [13].



الشكل (1-I): يمثل الاعتماد الطيفي للمواد الشفافة شبه الموصلية [13].

8.2.I. الأكاسيد الناقلة الشفافة في الحالة النقية و المطعمة:

الفرق بين الأكاسيد الناقلة الشفافة في الحالة النقية و المطعمة يمكن أن يكون كثيرا ويعتمد على العديد من العوامل، بما في ذلك نوع المادة، نسبة الشوائب والطريقة المستخدمة في التصنيع ومن الجدير بالذكر أن عمليات التطعيم (Doping) تستخدم عادة لتعديل الخصائص الكهربائية والبصرية للأكاسيد الناقلة الشفافة [14].

في الحالة النقية، تكون الأكاسيد الناقلة الشفافة خالية تماما من الشوائب، مما يعني أنها تتمتع بخصائص محددة مثل نسبة عالية من الشفافية وقيم منخفضة للمقاومة السطحية، ومن الأمثلة على الأكاسيد الناقلة الشفافة في الحالة النقية: أكسيد القصدير (SnO_2) وأكسيد الزنك (ZnO) [14].

أما في الحالة المطعمة، يتم إضافة شوائب معينة إلى المادة الناقلة الشفافة لتعديل خصائصها على سبيل المثال يمكن استخدام عملية التطعيم لزيادة التوصيلية الكهربائية للمادة أو لتغيير خصائصها الضوئية [15].

الجدول (I - 5) يوضح تطعيم الأكاسيد الناقلة الشفافة.

أنوع TCO		
TCO النقية	TCO المطعمة	
	نوع p	نوع n
$\text{CdO}, \text{SnO}_2, \text{ZnO}, \text{In}_2\text{O}_3, \text{Cd}$ $\text{Ga}_2\text{O}_3, \text{Cd}_2\text{SnO}_4,$ $\text{Zn}_2\text{SnO}_4, \text{CdSnO}_2,$ $\text{ZnSnO}_3, \text{GaInO}_3$	$\text{CuMO}_2 (\text{M}=\text{Al}, \text{Ga}, \text{Sr}, \text{Ln})$ in which Cu as dopant $\text{M}_2\text{O}_3: \text{In}_2\text{O}_3, \text{Ag}$ $\text{ZnO}: \text{Ga}, \text{N}$	$\text{ZnO}: \text{B}, \text{Al}, \text{In}, \text{Ga}, \text{Si}, \text{Sn}$ $, \text{F}, \text{Cl}.$ $\text{In}_2\text{O}_3: \text{Sn}, \text{Ti}, \text{Zr}, \text{F}, \text{Cl}$ $\text{SnO}_2: \text{Sb}, \text{As}, \text{P}, \text{F}, \text{Cl}$ $\text{CdSb}_2\text{O}_6: \text{Y}$

9.2.I. معايير اختيار الأكاسيد الناقلة الشفافة:

بالنسبة لكل تطبيق يكون الأكسيد الناقل الأكثر ملائمة هو الذي لديه شفافية بصرية جيدة في المجال المرئي والتوصيلية الكهربائية مرتفعة. يعتبر السمك، درجة حرارة الترسيب، والتكلفة من العوامل التي قد تؤثر أيضا على اختيار المادة الموصلة الشفافة لتطبيقات معينة على سبيل المثال، يرجع الاستخدام

المحدود (ITO) في الكهروضوئية المرنة إلى هاشاشة الطبقات الرفيعة من (ITO) وفي هذا السياق تم اقتراح مقدار يربط بين الخصائص الكهربائية والضوئية للأكاسيد (ITO) من طرف احد العلماء وهو العالم G.ekcaah سنة 1976، اطلق عليه معامل الجودة.

- معامل الجودة:

تتأثر الخصائص الكهربائية للأكاسيد الموصلة الشفافة بالخصائص الضوئية، حيث اقترح العالم G.haacke في عام 1976 مقدار يسمى معامل الجودة حيث يربط هذا الأخير بين الخصائص الكهربائية والضوئية لـ TCO و يعرف هذا المعامل بأنه النسبة بين النفاذية المتوسطة T في المجال المرئي ضمن الاطوال الموجية nm (400-800) و المقاومة السطحية R_c لطبقة الأكسيد الموصل الشفاف كما يعبر عن معامل الجودة ب Φ و يعطى بالعلاقة [15]:

$$\Phi = \frac{T^{10}}{R_c} \quad (12-I)$$

10.2.1. تطبيقات الأكاسيد الناقلة الشفافة:

تطبيقات الأكاسيد الناقلة الشفافة واسعة ومتنوعة، وتشمل مجموعة متنوعة من الصناعات والتكنولوجيا الحديثة. من بين التطبيقات الشائعة للأكاسيد الناقلة الشفافة:

1. **الخلايا الشمسية:** حيث تُستخدم الأكاسيد الناقلة الشفافة كطبقات ناقلة للتيار الكهربائي في خلايا الطاقة الشمسية لتحسين كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.
2. **الشاشات الإلكترونية:** تُستخدم الأكاسيد الناقلة الشفافة في شاشات العرض (مثل شاشات الكريستال السائل والشاشات التقليدية) كطبقات ناقلة للتيار لتحقيق شفافية عالية وأداء جيد للعرض.
3. **الإلكترونيات العضوية البلاستيكية:** تُستخدم الأكاسيد الناقلة الشفافة في الإلكترونيات العضوية البلاستيكية لدعم وتحسين أداء الأجهزة الإلكترونية المرنة والقابلة للطباعة.
4. **الإضاءة المنزلية:** يمكن استخدام الأكاسيد الناقلة الشفافة في الإضاءة لتحسين توزيع الضوء وكفاءة الإضاءة في التطبيقات الصناعية والمنزلية.
5. **التطبيقات الطبية:** يمكن استخدام الأكاسيد الناقلة الشفافة في التطبيقات الطبية مثل أجهزة الاستشعار الطبية والأجهزة الطبية المحمولة [16].

تشير هذه الأمثلة إلى مجموعة واسعة من التطبيقات التي تستفيد من الخصائص الفريدة للأكاسيد الناقلة الشفافة.

3.I. عموميات حول أكسيد النحاس:

1.3.I. معدن النحاس:

النحاس عنصر كيميائي رمزه Cu وعدده الذري 29 ، وهو ينتمي إلى عناصر المستوى الفرعي d ويقع على رأس عناصر المجموعة الحادية عشرة في الجدول الدوري، ويصنف كيميائياً ضمن المعادن الانتقالية، للنحاس لون بني محمر مميز، وهو فلز طري، ويمتاز بأنه موصل جيد للكهرباء و ناقل جيد للحرارة أيضا يعد النحاس من المعادن القليلة التي يمكن أن توجد في الطبيعة على شكلها النقي [17].

عرف الإنسان النحاس وتعامل به منذ التاريخ القديم في عدد من مناطق العالم، وكان أول معدن تمكن الإنسان من صهره وسكبه في قوالب، وذلك في الفترة التاريخية بين 5000 إلى 4000 سنة قبل الميلاد، وتعرف تلك الحقبة التاريخية باسم العصر النحاسي أدى سبك النحاس مع القصدير إلى الحصول على سبيكة البرونز قرابة سنة 3500 سنة قبل الميلاد، وكانت تلك أيضاً مرحلة محدّدة في التاريخ البشري، والتي يشار إليها باسم (العصر البرونزي) ، كأن النحاس يعدن في روما القديمة بشكل أساسي من جزيرة قبرص، ولذلك يسمى في اللاتينية cuprum، ومن ذلك الاسم يشتق الرمز الكيميائي لهذا العنصر [18].

يدخل النحاس في عدة تطبيقات مثل صناعة الأسلاك الكهربائية وأجهزة القياس، وفي سك النقود المعدنية وصياغة الحلي والمجوهرات، كما يدخل النحاس ضمن مواد البناء، وكانت صفائح النحاس مستخدمة بشكل كبير لإكساء أسطح وقبب المباني، وتستخدم مركبات النحاس بشكل واسع من أجل كبح البكتريا وإبادة الفطريات؛ وفي مجال حفظ الخشب [19].

الجدول (I- 6) يبين بعض الخصائص الفيزيائية للنحاس [20].

Cu	الصيغة الكيميائية
29	العدد الذري
63.54 g / mol	الكتلة المولية
1273 ⁰ C	درجة التبخر
2855 ⁰ C	درجة الغليان
8.93 g / Cm ³	الكتلة الحجمية
a=0.2866 nm	البعد البلوري

2.3.I. أكسيد النحاس الثنائي: (Copper(II) oxide)

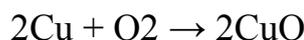
هو مركب كيميائي صيغته الكيميائية من الشكل CuO، ويكون على شكل مسحوق أسود [21].

الجدول (I-7): الجدول يبين الخواص الفيزيائية لأكسيد النحاس الثنائي [21].

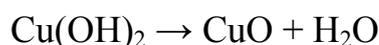
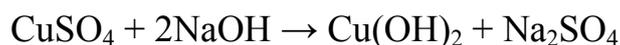
الخواص	
CuO	الصيغة الجزيئية
79.545 g /mol	الكتلة المولية
مسحوق أسود	المظهر
1326 °C	نقطة الانصهار
2000 °C	نقطة الغليان
غير منحل	الذوبانية في الماء

التحضير:

- يحضر أكسيد النحاس الثنائي بتسخين معدن النحاس حتى الاحمرار عند درجة حرارة تتراوح 800°C ، ثم بتمرير الهواء على المعدن (أكسدة هوائية) حسب المعادلة:

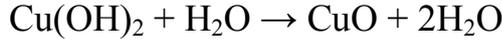


يمكن تحضيره أيضا من ترسيب هيدروكسيد النحاس الثنائي من تفاعل كبريتات النحاس مع هيدروكسيد الصوديوم (الصودا الكاوية)، ثم بتسخينه في المحلول الناتج حتى الغليان فيترسب أكسيد النحاس الثنائي الأسود.



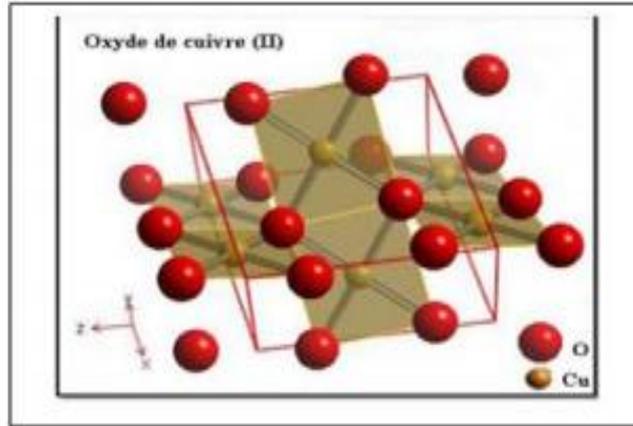
يحصل على أنقى شكل من أكسيد النحاس الثنائي بالتفكك الحراري لنترات النحاس [22].

يحضر أيضاً من عملية التحليل الكهربائي للماء بواسطة أقطاب من النحاس حيث عند عملية التحليل الكهربائي يتكون مسحوق لا يذوب من هيدروكسيد النحاس وعند ارتفاع درجة حرارة المحلول الالكتروليتي أكبر من 40 درجة مئوية تتفكك هيدروكسيد النحاس ليتكون برادة سوداء من أكسيد النحاس الثنائي حسب المعادلة التالية [22]:



3.3.I. البنية البلورية لأكسيد النحاس:

بنية البلورية لأكسيد النحاس الثنائي (CuO) تتبع نظام البلورات أحادي المعينات أو أحادي الميل (Monoclinic Crystal System)، حيث تكون البلورات متموضعة في شكل متقاطع مائل، يتميز أكسيد النحاس الثنائي بترتيبه البلوري (CuO) الذي يتضمن ذرات النحاس والأكسجين في شكل متوازي السطوح ومتماثل. ويرتب النحاس بين طبقات من الأكسجين في شكل متعامد على بعضها البعض، ويتم العثور على ترتيب هذه الطبقات في الاتجاهات الثلاثة للمحور البلورية (bcc) [23].



الشكل (I- 2) البنية البلورية لأكسيد النحاس الثنائي [23].

4.3.I. سبب اختيار أكسيد النحاس:

أكسيد النحاس الثنائي CuO هو مادة شبه موصلة تنتمي إلى عائلة الأكاسيد الناقلة الشفافة من نوع P. ويعتبر من الأكاسيد المستقرة، يتميز بكونه لا يذوب في الماء أو الوسط القاعدي وعديم الرائحة كما أنه يمتلك طبيعة غير سامة وفاصل طاقي مباشر، ويمكن الحصول عليه مباشرة من النحاس المعدني أثناء

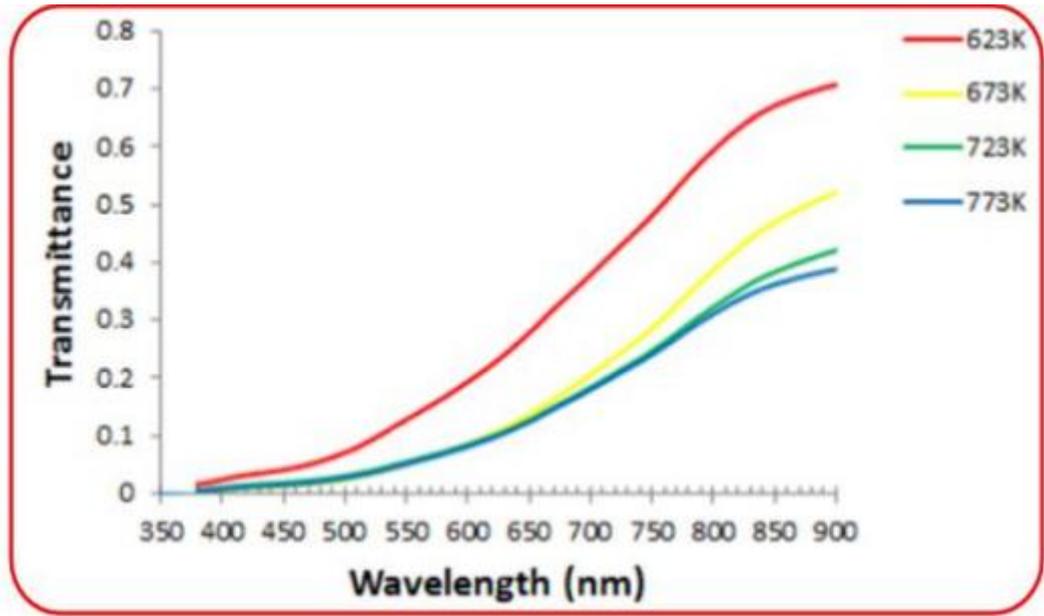
إنتقاله من الحالة المعدنية إلى حالة أكسيد أومن (CuO) خلال تغيير الطور و هذا حسب درجة الحرارة ووقت الأكسدة وغيرها وفق التغييرات الكيميائية [22].

5.3.I الخصائص الكهربائية لأكسيد النحاس:

يعتبر أكسيد النحاس نصف ناقل من نوع P ، كما أنه يعد مادة فيرومغناطسية مضادة وهو من المواد التي يتغير لونها عند تسليط مجال كهربائي عليها مع مقاومة جيدة [23].

6.3.I الخصائص الضوئية لأكسيد النحاس:

يعتبر أكسيد النحاس من أشباه الموصلات ذات نفاذية جيدة في مجال الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء القريبة، النفاذية تتراوح بين % (20 – 80) معامل الإنكسار بين المجال (1,2-3) كل هذا راجع للشروط التجريبية [25] يمثل الشكل التالي تغير نفاذية شرائح أكسيد النحاس الثنائي و ذلك بدلالة درجة حرارة التلدين.



الشكل (3-I) نفاذية أكسيد النحاس بدلالة الطول الموجي مع تغيير درجة حرارة التلدين [25].

7.3.I الاستخدامات:

أغشية أكسيد النحاس (CuO) تمتلك مجموعة متنوعة من التطبيقات في مجالات مختلفة نظراً لخصائصها المميزة، إليك بعض التطبيقات الشائعة لأغشية أكسيد النحاس:

1. **الإلكترونيات الرقيقة:** يستخدم أكسيد النحاس في صناعة الأشباه الموصلات وأجهزة الإلكترونيات الرقيقة مثل الترانزستورات الرقيقة والتصنيع الإلكتروني الرقيق. تعد أغشية أكسيد النحاس مفيدة جدا كطبقات مركبة لإنتاج الأجهزة الإلكترونية عالية الأداء.[24]
2. **الطاقة الشمسية:** يمكن استخدام أغشية أكسيد النحاس كطبقة نشطة في خلايا الطاقة الشمسية العضوية والغير عضوية، يعتبر أكسيد النحاس مواد شائعة في تصنيع الخلايا الشمسية الرقيقة بفعل خصائصه النصف موصلة وقدرته على امتصاص الضوء.
3. **تكنولوجيا الشاشات السائلة:** يمكن استخدام أغشية أكسيد النحاس في تقنيات عرض الشاشات السائلة (LCD) والأجهزة الإلكترونية المرتبطة بها و تساهم أغشية النحاس في تحسين أداء العرض وتحقيق ألوان أكثر وضوحا و نقاء.[25]
4. **الحساسات الكيميائية والحساسات الحرارية:** يمكن استخدام أغشية أكسيد النحاس في تصنيع الحساسات للكشف عن التغيرات الكيميائية والحرارية تعتبر أغشية النحاس حساسة لتغيرات البيئة ويمكن استخدامها في مجموعة متنوعة من التطبيقات مثل أجهزة الاستشعار البيئي والطبية.[26]
5. **الأدوات البصرية والزخرفية :** يمكن استخدام أغشية أكسيد النحاس في تصنيع الأدوات البصرية مثل العدسات والمرايا والأجهزة البصرية الأخرى بفعل خصائصها البصرية الممتازة.
6. تستخدم في تلوين الزجاج مثل النظارات الشمسية.
7. تستعمل كمحفز في الصناعات العضوية.
8. كما يدخل في تحضير مركبات النحاس الأخرى[27].

1.4.I.السيترونتيوم:

السيترونتيوم هو عنصر كيميائي يرمز له بالرمز Sr في الجدول الدوري للعناصر، وله العدد الذري 38. ينتمي السيترونتيوم إلى المجموعة الثانية في الجدول الدوري، وتعرف هذه المجموعة أيضا بمجموعة المعادن القلوية الترابية[28].

تم اكتشاف السيترونتيوم في عام 1798م على يد عالم الكيمياء الإنجليزي سير همفريديفي، وذلك عند دراسته لخصائص مركب السترونثيت، وهو مركب معدني يتواجد في الطبيعة[28].

يستخدم السيترونتيوم في العديد من التطبيقات التقنية، بما في ذلك صناعة الألعاب النارية، وفي إنتاج الفضة الصناعية، وكذلك في صناعة الزجاج والمغناط كما يستخدم أيضا في تصنيع بعض أنواع البطاريات[28].

2.4.I. سبب اختيار السيترونتيوم للتطعيم:

تطعيم الشرائح الرقيقة بالسيترونتيوم يمكن أن يكون لعدة أسباب، تشمل:

1. **تحسين الخصائص البصرية:** يمكن لتطعيم الشرائح الرقيقة بالسيترونتيوم أن يؤدي إلى تغييرات في خصائص الطبقة الرقيقة، مما يجعلها أكثر نفاذية عند نسب محددة.
2. **تحسين التركيب البلوري:** يمكن لتطعيم الشرائح الرقيقة بالسيترونتيوم تحسين تركيب البلورات في الطبقة الرقيقة، مما يؤدي إلى تحسين الجودة والتماسك البلوري.
3. **تحسين التصاق الطبقات:** قد يؤدي تطعيم الشرائح الرقيقة بالسيترونتيوم إلى تحسين التصاق الطبقات المترسبة على سطح الشريحة، مما يمكن أن يزيد من الإستقرارية ومثانة الطبقة الرقيقة.
4. **تعديل الخصائص الكيميائية:** قد يؤدي تطعيم الشرائح الرقيقة بالسيترونتيوم إلى تعديل الخصائص الكيميائية للطبقة الرقيقة [28].

5.I. الخلاصة:

في هذا الفصل تعرفنا على الأكاسيد الموصلة الشفافة بصفة عامة ومن ثم تطرقنا إلى أكسيد النحاس بصفة خاصة، لأنه سيكون محور دراستنا هذه، و يرجع اختيارنا لأكسيد النحاس لما له من مميزات مثيرة و تطبيقات مهمة ساهمت و لازلت تساهم في التطور التكنولوجي الحاصل .

المراجع باللغة العربية:

- [10] خ.بن ساسي، ن.ميروكي دراسة تأثير مصدر النيكل على الخصائص البصرية و الكهربائية لطبقات أكسيد النيكل، مذكرة ماستر اكاديمي، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، 2017.
- [11] ع. دقة، ط.مصباحي، تحديد بعض خصائص أغشية أكسيد النيكل (NiO)المطعم بالحديد (Fe)، مذكرة ماستر اكاديمي، جامعة الوادي، 2017.
- [16] م. حزيز بلقاسم، دراسة الخصائص البنيوية و الضوئية و الكهربائية لأكسيد القصدير المطعم بالفلور المتوضع بتقنية الامواج فوق الصوتية، مذكرة ماستر اكاديمي، جامعة الوادي، 2014.
- [20] ج.بوصبيح صالح، ص.لبيهاات، دراسة الخصائص التركيبية و البصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO)المطعمة بالنحاس (Cu)، مذكرة ماستر اكاديمي، جامعة الوادي، 2018.
- [22] أ.د، زياد محمد عبود، أ.خضير عباس مشجل آيه عبد الكريم جاسم، تأثير درجة حرارة القاعدة و الثوابت البصرية لأغشية CuO المحضرة بتقنية التحمل الكيميائي الحراري الجامعة المستنصرية – كلية التربية -قسم الفيزياء، 2017
- [23] م. عبد القادر، "دراسة الطبقات الرقيقة ذات الخاصية المغناطيسية"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة محمد بوضياف المسيلة، 2017.

المراجع باللغة الاجنبية:

- [1] G .M. Nam ,M. S. Kwon, Al-doped ZnO via Sol-Gel Spin-coating as a Transparent Conducting Thin Film ,Journal of Information Display ,Vol.10,N1, March 2009.
- [2] P. F .GERHARDINGER and R . J. MCURDY, Thin Films for photovoltaic and Related Device Application , Mater . Res. Soc. Symp .Proc, Pittsburg , Vol 426 ,P 339,(1996).
- [3] Meriem BOUHENNI "Structural and opto-electrical study ZnO thin films elaborated by spray pyrolysis(hom mad).for the Degree of Master "Universté de jijel ",2014.
- [4] Mestoura Sabah , Mémoire de master : " Comparaison des films d'oxyde de zinc (ZnO) élaboré par spray a partir de différentes sources de zinc ".Universté Med Khider Biskra ,2014.
- [5] L. Youssef , "Elaboration Et Caracterisation Des Couches Minces Conductrices Et Transparentes Pour Les Cellules Solaire De Type Tco/Zns/Cis" ,Mémoire De Magister ,Universite Des Sciences Et Technologie D'oran, (2011).
- [6] M. G. Youssef , "Elaboration Et Caracterisation Des Couches Minces Conductrices " .
- [7] K. BADEKER, Electrical Conductivity and Thermo-Electromotive Force of Some Met allic Compounds , Ann. Phys. Vol22, p749, (1907).
- [8] Guettaf Iman Sara , Mémoire de master : "Etude des proprietes des couches minces de ZnO déposées par Spray ultrasonique: L'effet de la molarité ".Universté Med Khider Biskra ,2015.
- [9] E. Fortunato, " Solar Energy & Solar Cells" ,Vol. 92, N12, Pp1605-1610,(2008).

- [11] C. G. FONSTAD , R. H. REDIKER, Electrical properties of high-quality stannic oxide crystals , Journal of Applied physics , vol 42 No7, p 2911-2918, (1971).
- [12] A.RAHAL , "Elaboration des verres conducteurs par déposition de ZnO sur des verres ordinaires " , Mémoire de Magister , UNIVERSITE D ' ELOUED , (2013).
- [13] A .N. Banerjee a, K.K. Chattopadhyay, Recent developments in the emerging field of crystalline p-type transparent conducting oxide thin films, progress in Crystal Growth and Characterization of Materials 50(2005) 52e105.
- [14] Yanwen Zhou, " THE PR OD UCTION A ND PROPER TIES OF TCO COATINGS PREPARED BY PULSED MAGNETRON SPUTTERING FROM POWDER TARGETS", The University of Salford , Salford, UK, Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements of the Degree of Doctor of Philosophy, January 2005.
- [15] T. Brousse, R. Retoux, U. Herterich, D .Schleich "Thin film crystalline SnO₂-Lithium electrodes" Journal of the Electrochemical Society ,Vol. 145N°1,p.1,1998.
- [17] Catherine Arminjon, section 2, Le cuivre, le bronze, le laiton, dans l'article « Arts du métal », Encyclopædia Universalis, Corpus 14, 2002, p. 963-977.
- [18] Jean-Louis Vignes, Centre d'Information du Cuivre, Laiton et Alliages, article « Cuivre », Encyclopædia Universalis, t. 6, 2002.
- [19] Alain Foucault, Jean-François Raoult, Fabrizio Cecca et Bernard Platevoet, Dictionnaire de Géologie, 8e éd., français/anglais, Dunod, 2014, 416 p. Avec la simple entrée « cuivre », p. 94

- [21] Paul Pascal, *Nouveau traité de chimie minérale*, 3. groupe Ib, généralités, cuivre, argent, or (avec tome 20 Alliages métalliques), Paris, Masson, 1956 (réimpr. 1966), 32 vol.
- [24] C. Tropis, "Couches Minces D'oxydes Spinelles Et De Nanocomposites Spinnelle-Cuo A Propriétés Semi-Conductrices Destinées A La Réalisation De Capteurs De Gaz", Thèse De Doctorat , Université Toulouse Iii-Paul Abatier, (2009).
- [25] K Richardson, H. Wayne. "Copper Compounds".(2002)
- [26] J. Workman Jr, *The Handbook of Organic Compounds, Three-Volume Set : NIR, IR, R, and UV-Vis Spectra Featuring Polymers and Surfactants*, Academic Press, p1493, (2000).
- [27] A. BEJAOU, "Capteurs à base des couches mince d'oxyde de cuivre (II) CuO: Optimisation et modélisation en vue de la détection de gaz ", thèse de doctorat ,Université Aix Marseille et Université de Carthage,.2013.
- [28] Murray, T. "Elementary Scots: The Discovery of Strontium". *Scottish Medical Journal*,(1993)

الفصل الثاني:

طرق ترسيب الطبقات

الرقيقة و تقنيات التحليل.

1.II. تمهيد:

تعد الشرائح الرقيقة من أهم التقنيات الحديثة التي ساهمت في تطوير مجال أشباه الموصلات، و ذلك لدقتها و سرعتها و سهولة استخدامها مما جعلها متاحة للبحث العلمي فإنعكس ذلك على استعمالاتها فأصبحت الرائدة في صناعة الخلايا الشمسية و جميع الأجهزة الالكترونية.

و في فصلنا هذا سنتعرف على مفهوم الشرائح الرقيقة، مميزاتها، تطبيقاتها و طرق ترسيبها و سنركز على الطريقة المتبعة في بحثنا هذا ألا وهي طريقة الطلاء بالطرد المركزي.

2.II. مفهوم الشرائح الرقيقة:

الشرائح الرقيقة هي عبارة عن طبقات رقيقة جدا من المواد يتراوح سمكها عادة من بضعة نانومترات إلى عدة ميكرومترات. هذه الطبقات تصنع من مجموعة متنوعة من المواد، بما في ذلك المعادن، والأكسيدات، والبوليمرات، والمركبات النانوية. ينتج التطبيق المخصص والتحكم الدقيق في العمليات التكنولوجية هذه الشرائح بخصائص فريدة ومفيدة [1].

تتميز الشرائح الرقيقة بعدة ميزات، منها:

- **السمك الرقيق:** تتميز بسمك رقيق الذي يمكن أن يكون في النطاق النانوي والميكروني، مما يعني أنها تكون خفيفة الوزن ورقيقة للغاية.
- **تنوع في المواد والخصائص:** يمكن استخدام مجموعة متنوعة من المواد في تكوين الشرائح الرقيقة، مما يمنحها خواصا متعددة مثل الخواص المغناطيسية، الضوئية، التوصيل الكهربائي، والعزل الحراري، وغيرها.
- **تحكم دقيق:** يمكن التحكم بدقة في خصائص الشرائح الرقيقة، مثل سمكها وتركيبها وتوزيع العناصر فيها، مما يعطي إمكانية تخصيصها لتناسب التطبيقات المحددة.
- **توفير الطاقة والموارد:** يستخدم تصنيع الشرائح الرقيقة بكميات صغيرة من المواد، مما يقلل من استهلاك الموارد ويقلل من النفايات المتولدة.
- **تقنيات التصنيع المتقدمة:** تعتمد تصنيع الشرائح الرقيقة على تقنيات متطورة مثل الرذاذ البخاري والتحليل الكهربائي وتقنيات الطلاء الرقيق [2].

الشرائح الرقيقة لها أهمية كبيرة في العديد من الصناعات والتطبيقات، مثل:

- تصنيع الأشباه الموصلة والشاشات الرقيقة والأجهزة الإلكترونية المتقدمة.
- التقنيات الحساسة مثل أجهزة الاستشعار والتحكم.
- تكنولوجيا الطاقة المتجددة مثل الخلايا الشمسية الرقيقة.
- التطبيقات الطبية والحيوية مثل أجهزة الرصد الحيوي والأنظمة الطبية المتقدمة.
- الصناعات البيئية والتصفية و تحلية المياه وتنقية الهواء[3].

بهذه الطريقة، تلعب الشرائح الرقيقة دورا حيويا في التطور التكنولوجي والابتكار في مختلف المجالات.

3.II. مبدأ ترسيب الشرائح الرقيقة:

عملية ترسيب الشرائح الرقيقة هي عملية تقنية تستخدم لوضع طبقة رقيقة من المواد على سطح آخر، مثل الزجاج تستعمل كالتبقات في وحدات الأجهزة الإلكترونية، هناك العديد من الطرق المختلفة التي يمكن استخدامها لتطبيق هذه الطبقة الرقيقة، ويتضمن ذلك طرق الترسيب الكيميائي، والترسيب الفيزيائي[4].

مبدأ عملية الترسيب يعتمد على نوعية المادة المستخدمة والتقنية المستخدمة، ومع ذلك يمكن استخلاص الخطوات العامة التالية:

✚ **التحضير والتنظيف:** يتم تنظيف سطح القاعدة جيدا لضمان التماسك الجيد بين الطبقة الرقيقة

وسطح القاعدة، يتضمن ذلك إزالة الشوائب والدهون والغبار.

✚ **إعداد المادة المراد ترسيبها:** يتم إعداد المادة المراد ترسيبها بطريقة تتناسب مع التقنية

المستخدمة، على سبيل المثال، إذا كان يجري استخدام التبخر الحراري، يتم تحويل المادة إلى الحالة البخارية.

✚ **تطبيق الطبقة الرقيقة:** تطبق المادة المستخدمة على سطح القاعدة بواسطة التقنية المناسبة، يمكن

أن تكون هذه الطبقة في شكل بخار، سائل، أو جسم صلب.

✚ **التحكم في السمك والتوزيع:** يتم التحكم في سمك الطبقة الرقيقة وتوزيعها بواسطة عوامل مثل

درجة الحرارة والضغط وسرعة التحلل.

✚ **التحكم في الترسيب والتصلب:** بعد تطبيق الطبقة الرقيقة، يمكن إجراء عمليات إضافية لترسيبها

أو تصلبها، مثل التسخين أو التبريد[4].

هذه هي الخطوات العامة لعملية ترسيب الشرائح الرقيقة، ويمكن تعديلها بما يتناسب مع التقنية المحددة والمواد المستخدمة

4.II طرق تحضير الشرائح الرقيقة:

اختيار الطريقة المناسبة لتحضير الشرائح الرقيقة يعتمد على عدة عوامل، منها:

1. **المادة المستخدمة:** يجب أن تكون الطريقة المستخدمة مناسبة للمادة التي يتم ترسيبها، على سبيل المثال قد تكون بعض التقنيات الفيزيائية مناسبة لتحضير الطبقات الرقيقة المعدنية، بينما قد تكون الطرق الكيميائية مناسبة أكثر للمواد العضوية مثل البوليمرات.

2. **التكلفة:** يجب أن تكون الطريقة ميسورة التكلفة ومناسبة للميزانية المتاحة، بعض الطرق مثل الترسيب البخاري والترسيب الكيميائي قد تكون مكلفة نسبياً مقارنة بالتقنيات الأخرى.

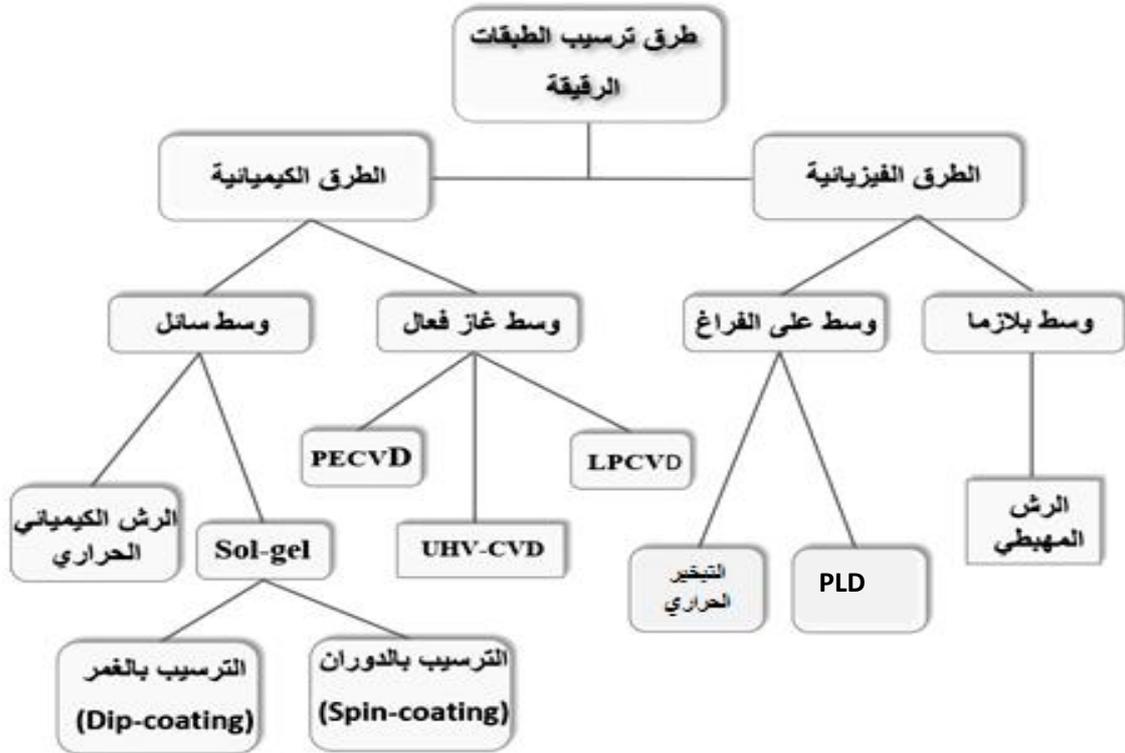
3. **التعقيد والتطبيقات الخاصة:** بعض الطرق تتطلب معدات معقدة أو ظروف تشغيل محددة، وهذا قد يؤثر على اختيار الطريقة المناسبة، كما يمكن أن تكون هناك تقنيات مخصصة لتطبيقات محددة مثل الشاشات العضوية الضوئية أو الأجهزة الطبية.

4. **الجودة والأداء المطلوبين:** يجب أن توفر الطريقة الناتج المطلوب من حيث الجودة والأداء، بعض التقنيات قد توفر طبقات رقيقة ذات جودة عالية وتحكم دقيق في السمك والتركيب، بينما قد تكون الطرق الأخرى أقل دقة.

5. **التطبيقات النهائية:** يجب أن تكون الطريقة المستخدمة مناسبة للتطبيق النهائي المرغوب فيه، يمكن أن تختلف متطلبات الترسيب بين التطبيقات الإلكترونية والطبية والصناعية وغيرها.

باختصار، يتم اختيار الطريقة المناسبة بناء على توافق المادة المستخدمة مع الطريقة، والتكلفة، ومعايير الجودة، ومتطلبات التطبيق النهائي [5][6].

- أنواع تقنيات الترسيب في الشرائح الرقيقة:



الشكل (II- 1) مخطط لأنواع تقنيات الترسيب في الشرائح الرقيقة [7].

1.4.II. الطرق الفيزيائية:

1.1.4.II. الترسيب الفيزيائي للابخرة (PVD):

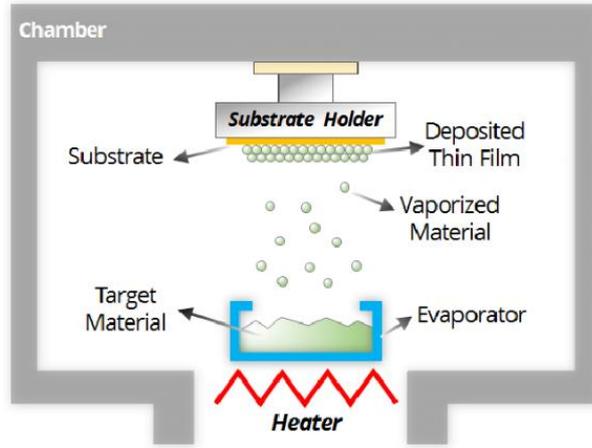
تقنية PVD هي اختصار لـ "Physical Vapor Deposition" أو الترسيب الفيزيائي للبخار، تعتبر هذه التقنية واحدة من تقنيات تصنيع الطبقات الرقيقة، و هي تعتمد على تحويل المواد الصلبة إلى بخار بتطبيق الطاقة (عادة بواسطة القوس الكهربائي أو التبخير بالليزر)، يتم ذلك في بيئة فراغية لتجنب التفاعل مع الهواء، يتم بعد ذلك ترسيب البخار المتولد على سطح الجسم الهدف (مثل الزجاج أو البلاستيك أو المعادن) لتكوين طبقة رقيقة [8].

تستخدم تقنية PVD لتطبيق طبقات رقيقة من المواد بمختلف الخصائص، مثل الدهانات المعدنية، والطلاءات الزخرفية، والطلاءات الواقية من التآكل، والشرائح الموصلة وغيرها، تتيح هذه التقنية التحكم الدقيق في سمك الطبقة وتوزيعها على السطح، مما يجعلها مفيدة لتحقيق خصائص معينة مثل الصلابة والتوصيل الكهربائي والنفاذية والكثافة والعديد من الخصائص الأخرى [9].

الترسيب الفيزيائي للأبخرة (PVD) عدة تقنيات تندرج ضمنه نذكر منها:

1.1.1.4.II: التبخير الحراري Thermal evaporation

التبخير الحراري هو طريقة معروفة لطلاء طبقة رقيقة تتبخر فيها المادة المصدر في الفراغ بسبب التسخين بدرجة الحرارة العالية، مما يسهل حركة جزيئات البخار للوصول مباشرة إلى الركيزة حيث تتغير هذه الأبخرة مرة أخرى إلى الحالة الصلبة، في هذه الطريقة يتم استخدام حوض يحمل المادة المراد ترسيبها تحت ضغط منخفض جدا (أقل من 10^{-4} باسكال) ومن أجل الوصول إلى درجة إنصهار عالية ضرورية للمعادن، يتم تعريض المادة لتيار مباشر و كبير (DC) ، لتتشكل الطبقة الرقيقة في النهاية على الركيزة. تنطبق هذه التقنية بشكل خاص على المواد المعدنية و أنصاف النواقل، يظهر الشكل التالي رسم التخطيطي لنظام التبخير الحراري.



شكل (II - 2) رسم التخطيطي لنظام التبخير الحراري [9].

2.1.1.4.II: الترسيب بالليزر النبضي:

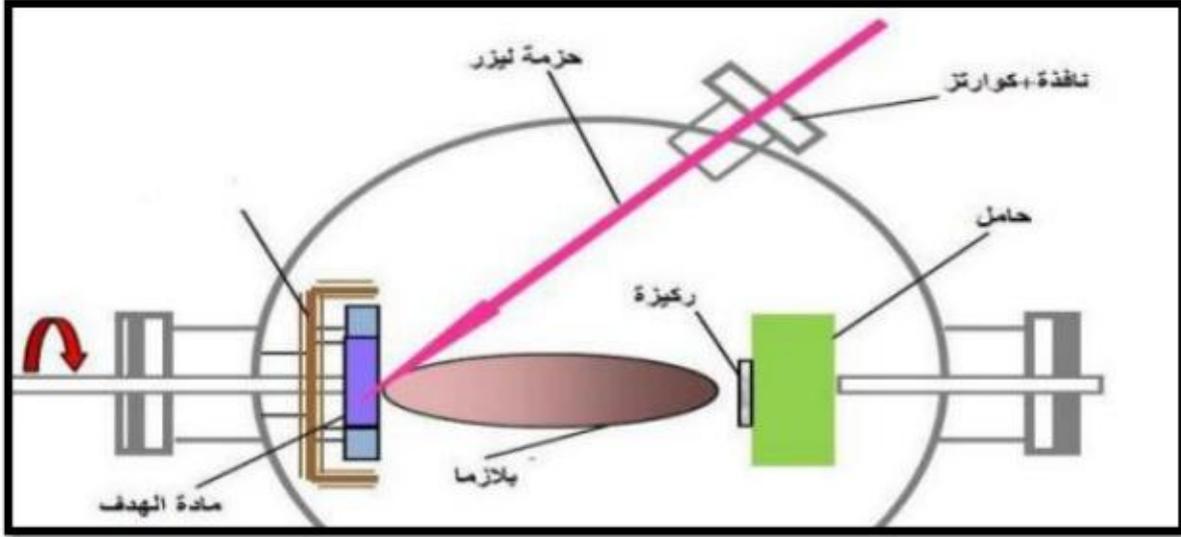
هو تقنية أخرى تستخدم لترسيب الطبقات الرقيقة، في هذه الطريقة يتم تركيز شعاع ليزر عالي الطاقة على مادة المستهدفة، مما يؤدي إلى تبخرها أو إنتزاعها لتترسب المادة المتبخرة في النهاية على قاعدة حيث تتكاثف لتشكيل طبقة رقيقة، تكون المادة المراد ترسيبها عادة مادة صلبة ، على الرغم من أنه يمكن أن تكون سائلة وعلى شكل مسحوق مع بعض الاختلافات التقنية [10].

الترسيب بالتبخير بالليزر يقدم عدة مزايا ، بما في ذلك:

- التنوع: يمكن استخدامه لترسيب مجموعة واسعة من المواد.

- التحكم: يمكن التحكم بدقة في عملية الترسيب.
- الإنتظام: يمكن لترسيب بالتبخر بالليزر إنتاج شرائح رقيقة ذات سمك وتركيب متجانس.
- النقاء: يمكن للطاقة العالية لشعاع الليزر إزالة الشوائب السطحية من المادة المرسبة.

تجد هذه التقنية تطبيقات في مجالات مختلفة ، بما في ذلك الالكترونيات الدقيقة ، الكهروضوئيات ، الخلايا الشمسية ، الأجهزة الاستشعارية ، والطلاء[10].



الشكل التالي (II- 3) رسم التخطيطي لنظام الترسيب بالليزر النبضي [10].

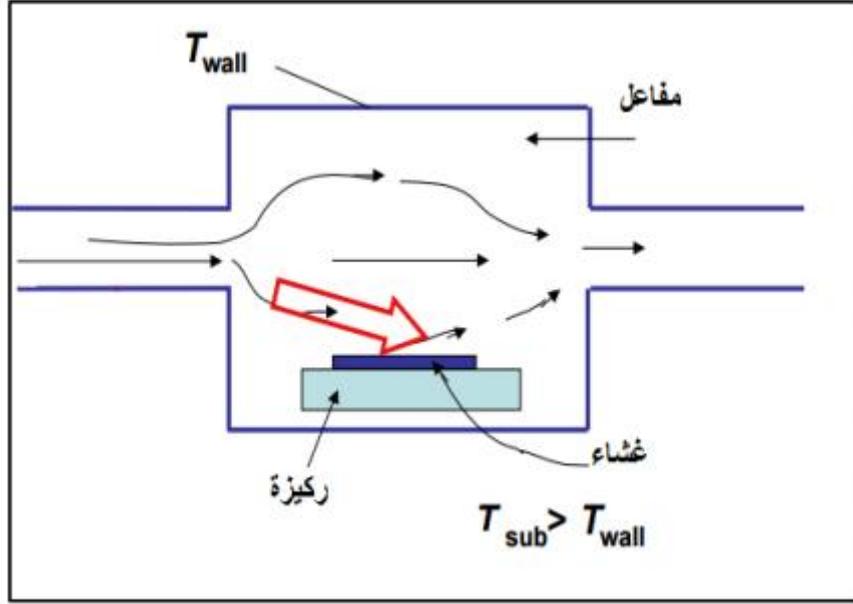
II.2.4. الترسيب الكيميائي:

II.1.2.4. الترسيب الكيميائي للأبخرة (CVD) :

تقنية CVD تعني "Chemical Vapor Deposition" أو الترسيب الكيميائي للبخر، وهي عملية تستخدم لتصنيع الشرائح الرقيقة والأسطح الوظيفية عن طريق تفاعل الغازات الكيميائية على سطح الجسم الهدف (الركيزة) في بيئة غازية، يتم إدخال الغازات الكيميائية إلى الغرفة التفاعلية، وتفعيلها بواسطة الحرارة أو الطاقة الكهربائية أو الإشعاع الضوئي، مما يؤدي إلى تكوين غازات كيميائية، هذه الغازات تتفاعل مع سطح الجسم الهدف وتترسب عليه لتشكل طبقة رقيقة، يتم امتصاص وإزالة أي مواد ثانوية كيميائية إضافية [11].

يتميز الترسيب الكيميائي للبخر بقدرته على تحكم دقيق في سمك الطبقة وتركيبها الكيميائي والبلوري، مما يجعلها تقنية مثالية للتطبيقات التي تتطلب دقة عالية وخصائص محددة وتستخدم هذه التقنية أيضا في

الصناعات العديدة مثل الطاقة الشمسية، والصناعات الكيميائية، والسيارات، والطب، والعديد من التطبيقات الأخرى التي تتطلب الأسطح الوظيفية المتقدمة [12]



الشكل (II - 4) يمثل الترسيب الكيميائي للأبخرة (CVD) [11].

II.1.1.2.4. ترسيب البخار الكيميائي منخفض الضغط (LPCVD) :

يتم إجراء ترسيب البخار الكيميائي منخفض الضغط عند ضغوط تتراوح من 13,3322 إلى 1333,22 باسكال ودرجات حرارة تتراوح من 200 إلى 800 درجة مئوية، تتم إضافة المواد المتفاعلة إلى الغرفة ب يتم تبريد جدران الحجرة ويتم تسخين الركيزة لتعزيز التفاعلات السطحية غير المتجانسة وبمجرد اكتمال التفاعل تتم إزالة المواد الثانوية باستخدام مضخات التفريغ. يستخدم LPCVD بشكل شائع في إنتاج المقاومات، وعوازل المكثفات، و الطلاءات المضادة للإنعكاس [12].

II.2.1.2.4. ترسيب البخار الكيميائي المعزز بالبلازما (PECVD)

يستخدم ترسيب البخار الكيميائي المعزز بالبلازما لتوفير الطاقة اللازمة لتسهيل التفاعل الكيميائي لحدوث الترسيب، حيث يتم استخدام الطاقة الكهربائية لإنشاء بلازما الغاز المحايدة، يتم إجراء PECVD عند ضغط 2 - 10 تور ودرجات حرارة منخفضة نسبياً من 200 - 400 درجة مئوية يستخدم PECVD على نطاق واسع في إنتاج الخلايا الشمسية والالكترونيات الدقيقة، وبما أن PECVD يتم إجراؤه في درجات حرارة منخفضة نسبياً، فإنه يسمح باستخدام ركائز غير قادرة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة الموجودة في بعض التقنيات [12].

3.1.2.4.II عملية الترسيب الكيميائي بالبخار للمركبات المعدنية العضوية (MOCVD) :

هي تقنية شائعة الاستخدام لترسيب الشرائح الرقيقة من مواد متنوعة على ركيزة، تنطوي هذه العملية على استخدام مواد معدنية عضوية، وهي مركبات تحتوي على مكونات معدنية وعضوية معا، يتم تبخير هذه المواد المرسبة ثم نقلها إلى القاعدة حيث تتفاعل لتشكيل الطبقة الرقيقة المطلوبة [12].

2.2.4.II تقنية المحلول الهلامي (Sol-gel deposition)

هي تقنية متعددة الاستخدامات لترسيب أفلام رقيقة من مواد مختلفة، خاصة أكاسيد المعادن، على القواعد تتضمن تحويل المحلول المحضر إلى مادة شبه هلامية، تليها عملية الترسيب على القاعدة والمعالجة اللاحقة لتكوين طبقة رقيقة، وهذه آلية عمل التقنية عموما:

1. تحضير المواد المرسبة: يستخدم أكاسيد المعادن أو مركبات الكلوريد المعدنية عادة كمادة مرسبة لعملية ترسيب المحلول الهلامي، يتم مزج هذه المواد المرسبة مع مذيبات مثل الكحول أو الماء لتشكيل محلول.
2. التحلل المائي والتكثيف: يخضع المحلول المواد المراد ترسيبها لتفاعلات التحلل المائي والتكثيف، خلال التحلل المائي تتفاعل جزيئات الماء مع المواد المرسبة المعدنية لتكوين هيدروكسيدات المعادن أو الأكاسيد المعدنية ثم تحدث تفاعلات التكثيف بين أكاسيد المعادن لتشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد، مما يؤدي إلى تكوين المحلول الهلامي.
3. الترسيب: يتم ترسيب المحلول الهلامي على القاعدة باستخدام تقنيات مثل طلاء بالطرد المركزي، وطلاء بالغمس، أو الطلاء بالرش الكيميائي، تعتمد اختيار تقنية الترسيب على عوامل مثل السمك المرغوب والتوحيد.
4. التجفيف: يتم تجفيف المحلول الهلامي المرسب لإزالة المذيب، ليترك طبقة رقيقة صلبا على القاعدة، يتم إجراء هذه العملية عادة عند درجات حرارة منخفضة نسبيا لمنع الشقوق أو العيوب الأخرى في الطبقة.
5. التلدين: تخضع الطبقة الرقيقة لعملية التلدين عند درجات حرارة مرتفعة لتحسين تبلوره وكثافته وخصائصه الأخرى، يساعد التلدين أيضا في إزالة أي مكونات عضوية متبقية من الطبقة.
6. التوصيف: بعد الترسيب والمعالجة، يجرى توصيف الطبقة الرقيقة باستخدام تقنيات مثل تفتيت الأشعة السينية (XRD) ، والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) ، والمجهر الذري القوي (AFM) و غيرها من التقنيات لتقييم هيكله وشكله وخصائصه [13].

تقدم عملية ترسيب المحلول الهلامي عدة مزايا لتصنيع الشرائح الرقيقة:

- القدرة على استخدام مواد مختلفة: يمكن استخدام عملية ترسيب المحلول الهلامي لترسيب أفلام رقيقة من مواد مختلفة، بما في ذلك أكاسيد المعادن والبوليمرات والمواد الهجينة العضوية - اللاعضوية.
- معالجة درجات حرارة منخفضة: يمكن تنفيذ عملية ترسيب المحلول الهلامي عند درجات حرارة منخفضة نسبيا مقارنة بتقنيات ترسيب الشرائح الرقيقة الأخرى مثل ترسيب البخار الفعال (PVD) أو ترسيب البخار الكيميائي (CVD)، مما يجعلها مناسبة للقواعد الحساسة للحرارة.
- التحكم في خصائص الطبقة: من خلال ضبط تركيبة محلول المواد المرسبة وظروف الترسيب، يمكن التحكم في سمك وتركيب البنية الدقيقة للطبقة الرقيقة المرسب.
- قابلية التوسعة: تعتبر عملية ترسيب المحلول الهلامي ملائمة للإنتاج على نطاق واسع ويمكن توسيعها بسهولة للاستخدامات الصناعية.

بشكل عام، تعتبر عملية ترسيب sol-gel تقنية جيدة لتصنيع شرائح رقيقة بخصائص فريدة مخصصة لمجموعة واسعة من التطبيقات، بما في ذلك الطلاء والمستشعرات والخلايا الشمسية والأجهزة الضوئية الإلكترونية [13].

هناك عدة أنواع أو تقنيات مختلفة لترسيب المحلول الهلامي، كل منها يتمتع بمزايا وتطبيقات محددة، فيما يلي بعض الأنواع الشائعة:

- ❖ الطلاء بالغمس: يتم تغميس القاعدة في المحلول الهلامي، ثم يتم سحبها بمعدل متحكم فيه، يؤدي هذا إلى ترسيب طبقة رقيقة على سطح القاعدة، يستخدم الطلاء بالغمس على نطاق واسع لإنتاج شرائح رقيقة متساوية على قواعد مسطحة ويمكن توسيعه بسهولة للاستخدامات الصناعية.
- ❖ الطلاء بالطرد المركزي: يتضمن طلاء بالدوران وضع كمية صغيرة من المحلول الهلامي على وسط قاعدة دوارة تنتشر القوى الطاردة بالتساوي لحل المحلول على سطح القاعدة، مكونة طبقة رقيقة، يعد طلاء بالطرد المركزي مناسباً بشكل خاص لإنتاج أفلام رقيقة ومتساوية بسمك دقيق.
- ❖ التحلل الحراري بالرش: يتضمن التحلل الحراري بالرش رش محلول للمواد المرسبة كقطرات دقيقة على قاعدة مسخنة يتبخر المذيب تاركا طبقة رقيقة من المادة المرغوبة، غالبا ما يستخدم التحلل الحراري بالرش لترسيب الشرائح الرقيقة على مساحات كبيرة ويمكن أن يكون مناسباً لتغطية قواعد غير منتظمة الشكل.

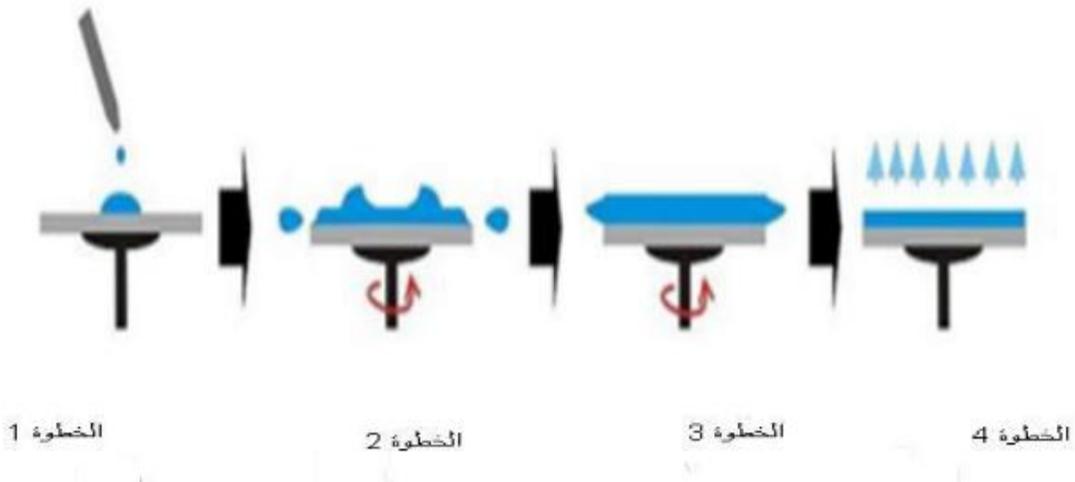
- ❖ الطباعة بالمحلول الهلامي: تتضمن الطباعة بالمحلول الهلامي، المعروفة أيضا باسم طباعة الحبر أو طباعة البخار، ترسيب قطرات مسبقة من المحلول الهلامي على قاعدة بطريقة متحكم فيها باستخدام تقنية الطباعة بالحبر، توفر هذه التقنية دقة عالية ويمكن استخدامها لترسيب أنماط أو أجهزة وظيفية على القواعد.
- ❖ الترسيب الموجه بالقالب: يتضمن الترسيب الموجه بالقالب استخدام قوالب للتحكم في شكل وبنية الطبقة الرقيقة المرسب، ترسب المواد المرسبة في القالب، حيث تتعرض للتجميد لتشكل طبقة رقيقة بالشكل والبنية المطلوبين.

كل تقنية من تقنيات ترسيب المحلول الهلامي تقدم مزايا فريدة ومناسبة لتطبيقات محددة، يعتمد اختيار التقنية على عوامل مثل خصائص الطبقة المطلوبة وهندسة القاعدة ومتطلبات التوسعة، بالإضافة إلى ذلك، يواصل الباحثون إضافة تحسينات جديدة على تقنيات ترسيب المحلول الهلامي لتوسيع قدراتها وتطبيقاتها في تصنيع الشرائح الرقيقة [13].

1.2.2.4.II. طريقة طلاء بالطرد المركزي: هي تقنية مستخدمة على نطاق واسع لترسيب أفلام رقيقة على القواعد، وتستخدم عادة في المختبرات البحثية والبيئات الصناعية، تتضمن هذه العملية تطبيق محلول أو تشتيت المادة المرغوبة على قاعدة دوارة، وعادة ما تكون سطحاً مسطحاً مثل قطعة السيليكون أو شريحة الزجاج، مما يؤدي إلى تكوين طبقة رقيقة بسمك متحكم فيه، وهذه نظرة عامة على عملية طلاء بالطرد المركزي:

1. تحضير المحلول: يتم إذابة المادة التي سيتم ترسيبها في مذيب مناسب لإنشاء محلول متجانس، تركيز المحلول واختيار المذيب هما عوامل حاسمة تحدد سمك وجودة الطبقة الرقيقة الناتج.
2. تحضير القاعدة (الركيزة): تنظف الركيزة التي سيتم ترسيب الطبقة الرقيقة عليها بشكل جيد لإزالة أي شوائب وضمان التصاق جيد للطبقة، تشمل القواعد الشائعة شرائح السيليكون، وشرائح الزجاج، والقواعد المرنة مثل البوليمرات.
3. توزيع المحلول: يتم توزيع كمية صغيرة من المحلول على مركز القاعدة، تؤثر كمية المحلول المستخدمة وموضعها على القاعدة في سمك الطبقة النهائي وتوحيد توزيعه.
4. طلاء بالدوران: تتركب القاعدة بعد ذلك على جهاز طلاء بالدوران، وهو جهاز مزود بقرص متحرك يدير القاعدة بسرعات عالية، تتراوح عادة من مئات إلى عدة آلاف من الدورات في الدقيقة، أثناء دوران القاعدة تؤدي القوى الطاردة إلى إنتشار المحلول بشكل متساو، مكونة طبقة رقيقة ومتساوية على سطح القاعدة.

5. التبخير: أثناء الدوران، يتبخر المذيب في أثناء الدوران بسبب القوى الطاردة والبيئة المحيطة، مما يترك خلفه طبقة رقيقة من المادة المرغوبة على القاعدة.
6. التلدين: يخضع الطبقة الرقيقة الذي تم ترسيبه لعمليات تلدين والتجفيف لإزالة أي مذيب متبقي وتحسين خواصه الهيكلية والكهربائية.
7. التوصيف: بمجرد ترسيب الطبقة الرقيقة ومعالجته، غالبا ما يتم توصيفه باستخدام تقنيات مثل المجهر الذري القوى (AFM) ، والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) ، وانعراج الأشعة السينية (XRD)، أو الطرق الطيفية لتحليل سمكه، وشكله، وبلوراته، وخصائصه الأخرى.



الشكل (5-II) يمثل خطوات تقنية الطلاء بالطرد المركزي [13].

✓ المزايا:

- طريقة طلاء بالطرد المركزي تقدم العديد من المزايا لترسيب الشرائح الرقيقة، بما في ذلك:
- التوحيد: ينتج طلاء الدوران أفلاما رقيقة ذات توحيد ممتاز ، مما يجعله مناسباً للتطبيقات التي تتطلب التحكم الدقيق في سمك الطبقة.
- السرعة: يعتبر طلاء الدوران عملية سريعة نسبياً، حيث تتراوح أوقات الترسيب النموذجية من عدة ثواني إلى عدة دقائق.
- التنوع: يمكن استخدام طلاء الدوران لترسيب مجموعة واسعة من المواد، بما في ذلك البوليمرات، والشبه الموصلات، والمعادن، والجسيمات النانوية.
- التكلفة الفعالة: تعتبر معدات طلاء الدوران ليست مكلفة نسبياً وسهلة الاستخدام، مما يجعلها متاحة للباحثين والمصنعين على نطاق واسع.

بشكل عام، طلاء الدوران هو تقنية متعددة الاستخدامات ومستخدمة على نطاق واسع لترسيب الشرائح رقيقة ذات سمك محدد وتوحيد ممتاز، مما يجعلها مناسبة لمختلف التطبيقات في مجالات الإلكترونيات، والبصريات، والمستشعرات، وطلاء الأسطح [14].

✓ العيوب:

- الشكل المحدود للقاعدة: يعتبر طلاء الدوران أكثر ملاءمة للأسطح المسطحة أو المنحنية قليلاً، قد لا يكون مناسباً لتغطية الأشكال غير المنتظمة أو الأسطح المرنة بشكل كبير، حيث قد يؤدي الدوران إلى تغطية غير متساوية للطبقة أو العيوب.
- هدر المادة: غالباً ما يتطلب الطلاء بالدوران حجماً نسبياً كبيراً من الحل لضمان تغطية متساوية عبر سطح القاعدة بأكمله، يمكن أن يؤدي هذا إلى هدر المواد، خاصة عند ترسيب مواد غالية الثمن أو نادرة الوجود.
- تحديات التحكم في السمك: على الرغم من أن طلاء الدوران يوفر التحكم الدقيق في سمك الطبقة، إلا أن تحقيق أفلام رقيقة أو سميكة للغاية قد يكون صعباً، قد يتطلب السمك الكبير نسبياً عدة دورات ترسيب وتلدين، مما يؤدي إلى زيادة في وقت وتعقيد المعالجة.
- توافق المذيبات: يمكن أن يؤثر اختيار المذيب المستخدم في عملية طلاء بالدوران على جودة الطبقة وتوافقها مع القاعدة، قد تتسبب بعض المذيبات في إلحاق ضرر بالقاعدة أو تكوين عيوب في الطبقة الرقيقة.
- قلة القابلية للتوسيع: على الرغم من أن طلاء الدوران مناسب للإنتاج على نطاق صغير والتطبيقات البحثية، إلا أنه قد لا يكون سهلاً للتوسيع للتصنيع على نطاق كبير بسبب القيود في الإنتاجية والتحكم في التوحيد.

على الرغم من هذه القيود، يظل طلاء الدوران تقنية مستخدمة على نطاق واسع ومتعددة الاستخدامات لترسيب الشرائح الرقيقة بسماكة محددة وتوحيد ممتاز، مما يجعله أداة لا غنى عنها في العديد من التطبيقات العلمية والصناعية [14].

5.II طرق و تقنيات المعاينة:

تقنيات المعاينة في الشرائح الرقيقة تشمل مجموعة متنوعة من الأساليب والأدوات التي تستخدم لفحص وتحليل الخصائص والتركييب الداخلي للشرائح الرقيقة، هذه التقنيات مهمة جداً في مجالات مثل

النانوتكنولوجيا، والإلكترونيات الرقيقة، والطاقة الشمسية، والأدوية، والعديد من التطبيقات الصناعية والعلمية الأخرى. من بين هذه التقنيات:

✓ إنعراج الأشعة السينية DRX.

✓ مطيافية UV-VIS.

✓ تقنية المسابر الأربعة.

1.5.II. الخصائص البنيوية:

1.1.5.II. إنعراج الأشعة السينية DRX:

"DRX" وهو اختصار لـ "Diffraction des rayons X" الإنعراج السيني هو تقنية تحليلية قوية تستخدم لتوصيف هيكل المواد البلورية، وهذه نظرة عامة على كيفية عمل الإنعكاس السيني وتطبيقاته:

مبدأ عمل تقنية الـ DRX ، أو الإنعراج السيني، يعتمد على تفاعل الأشعة السينية مع بنية البلورة للمواد، عندما تتعرض الأشعة السينية للشبكة البلورية، تتم تفاعلات تشتيت الأشعة وتتكون أنماط معينة من التفاعلات والتداخلات البنائية بين الأشعة السينية المنعكسة.

المبدأ يعتمد على مبادئ فيزيائية، حيث يتم تفاعل الأشعة السينية مع الذرات في الشبكة البلورية للمادة، تحدث هذه التفاعلات في زوايا محددة وبترتيب معين، وعندما تنعكس الأشعة السينية من الشبكة البلورية، يمكن قياس زوايا التفاعل وشدتها، هذه الزوايا والشددة تعطي معلومات حول هيكل البلورة، بما في ذلك تباعد الشبكة واتجاهها، وموقع الذرات فيها.

للقيام بتقنية الـ DRX ، يتم استخدام جهاز يسمى Diffractogramme الأشعة السينية، يتم في هذا الجهاز توجيه شعاع من الأشعة السينية نحو العينة، ثم يتم قياس الأشعة المنعكسة باستخدام مستشعر أو شاشة، تتضمن العملية أيضا تحريك العينة بزوايا مختلفة لقياس الأنماط المختلفة للتفاعل السيني.

بعد قياس الأشعة المنعكسة بزوايا مختلفة، يتم تحويل هذه البيانات إلى أنماط ورسوم بيانية ومن خلال تحليل هذه الأنماط والرسوم البيانية، يمكن للباحثين والعلماء فهم بنية البلورة والمعلومات المتعلقة بها مثل التركيب الذري وتوزيع الذرات والتوجهات البلورية [15].

1.1.1.5.II.المعلومات البنيوية:

تعتمد معرفة العوامل البنيوية الخاصة بأي مادة على طيف حيود الأشعة السينية ويعد أمرا مهما في تفسير الكثير من الخصائص الفيزيائية للمادة، ففي حالة التركيب متعدد التبلور من نمط أحادي الميل (monoclinic) الذي يمثل النمط السائد للتركيب البلوري CuO ويكون حساب ثوابت الشبكة باستعمال طيف الأشعة السينية باستعمال العلاقة التالية: [16]

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2}{a^2 \sin^2 \beta} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c \sin^2 \beta} - \frac{2hlc \cos \beta}{ac \sin^2 \beta} \quad (1-II)$$

يتعلق D الذي يمثل قطر الحبيبات للطبقات بكل الخواص البنيوية و الميكانيكية للمادة، ويعبر عنه باستخدام عبارة شير التالية: [17]

$$D = \frac{k\lambda}{\gamma \cos \theta} \quad (2-II)$$

بحيث:

λ : الطول الموجي للأشعة السينية.

γ : قيمة العرض عند المنتصف (FWHM).

k: ثابت قيمته 0.9 .

θ : زاوية براغ.

2.1.1.5.II. تطبيقات إنعراج الأشعة السينية:

تحديد الطور: يستخدم الإنعراج السيني عادة لتحديد المراحل البلورية الموجودة في عينة، ينتج كل طور نمط إنعراج فريد، مما يسمح بتحديد المرحلة بسرعة.

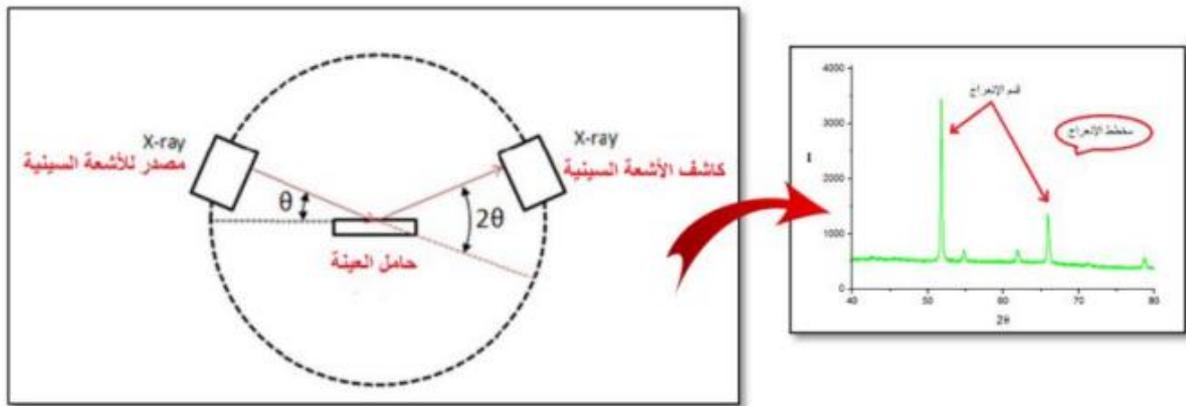
التحليل الكمي: يمكن أيضا استخدام الإنعراج السيني للتحليل الكمي للمراحل البلورية في العينة، من خلال مقارنة شدة قمم الإنعراج بالمعايير المرجعية، يمكن تحديد الكميات النسبية للمراحل المختلفة.

تحديد هيكل البلورة: يستخدم الإنعراج السيني على نطاق واسع في علم المواد لتحديد الهيكل الذري للمواد البلورية، من خلال تحليل مواقع وشدة قمم الإنعراج، يمكن تحديد مواقع الذرات وتناظر البلورة.

تحليل الإجهاد والتشوه: يمكن استخدام الإنعراج السيني لقياس الإجهادات والتشوهات الداخلية في المواد البلورية، يتم ذلك من خلال تحليل التحولات في مواقع قمم الإنعراج، والتي ترتبط بتغيرات تباعد الشبكة الناجمة عن الإجهاد والتشوه.

تحليل التركيبية: يمكن للإنعراج السيني توفير معلومات حول التوجه المفضل أو التركيبية للمواد البلورية، يكون ذلك مفيداً بشكل خاص في معالجة وتصنيع المواد، حيث يمكن أن يؤثر التوجه على خصائص المواد وأدائها.

بشكل عام، يعتبر الإنعراج السيني تقنية متعددة الاستخدامات وقوية لتوصيف هيكل المواد البلورية في البحوث الأساسية و مراقبة الجودة في الصناعة [18].



الشكل (II-6) مخطط إنعراج الأشعة السينية DRX [18].

2.5.II. الخصائص الضوئية:

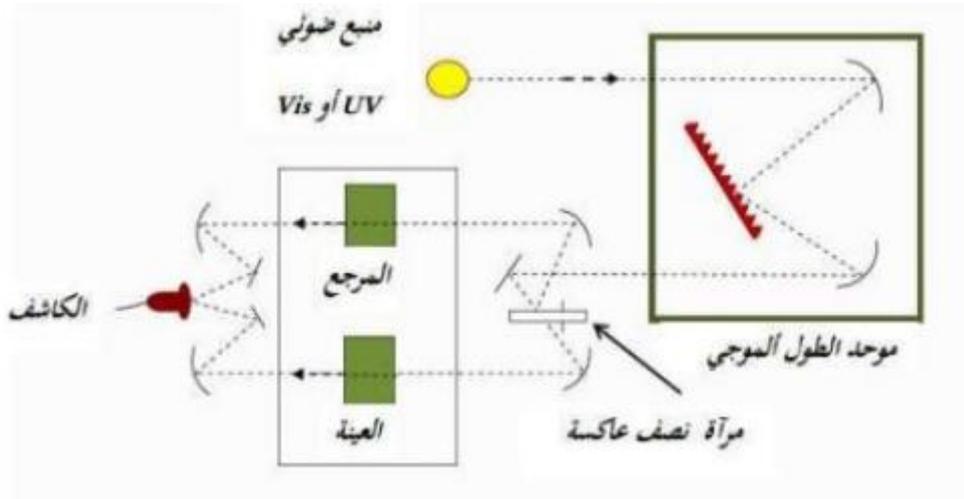
1.2.5.II. التحليل الطيفي للأشعة المرئية وفوق البنفسجية UV-VIS :

تعتبر تقنية تحليل الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis) من التقنيات الحديثة المستخدمة في علم المواد والكيمياء، حيث تمكن العلماء من استخدامها لدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد على مستوى الجزيء، يقوم على ظاهرة امتصاص الطاقة الكهرومغناطيسية بواسطة مادة ما و عندما يمتص الجزيء بعض الطاقة من الإشعاع الكهرومغناطيسي، فإن امتصاص هذه الطاقة يكون مصحوباً تلقائياً بانتقال إلكتروني من مستوى أدنى إلى مستوى أعلى [19] في النطاق الطيفي للأشعة فوق البنفسجية

المرئية والقريبة من الشرائح تحت الحمراء (200-800 نانومتر). يظهر مبدأ تشغيل مقياس الطيف الضوئي في الشكل (II-7).

يتكون مقياس الطيف الضوئي من مصباحين [20]

- مصباح الديوتيريوم الذي يصدر أطوال موجية من 180 إلى 400 نانومتر (فوق بنفسجي).
- مصباح التنغستن الذي يسمح بتحديد الموجات من 400 إلى 800 نانومتر (مرئية). ويتكون أيضا من خطين ، خط إدخال وخط إخراج ، مما يسمح بتحديد الأطوال الموجية ومسح النطاق.



الشكل التالي (II-7) رسم التحليل الطيفي للأشعة المرئية و فوق البنفسجية UV-VIS [19].

تسمح هذه تقنية بدراسة العديد من المعلومات المهمة على الشرائح الرقيقة، مثل قياس سمك الطبقات الرقيقة التي لها إنعكاس على بقية الخصائص ، وهو أحد المزايا الرئيسية لهذه التقنية [21].

من خلال نتائج التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية المرئية للطبقة الرقيقة يمكن رسم المنحنيات التي تمثل تغيرات النفاذية بدلالة الطول الموجي في مجال الأشعة فوق البنفسجية و المرئية، حيث يمكن استغلال هذه المنحنيات لحساب سمك الشرائح الرقيقة وكذلك الخصائص الضوئية منها، الفاصل الطاقى، معامل الإنكسار وغيرها [22].

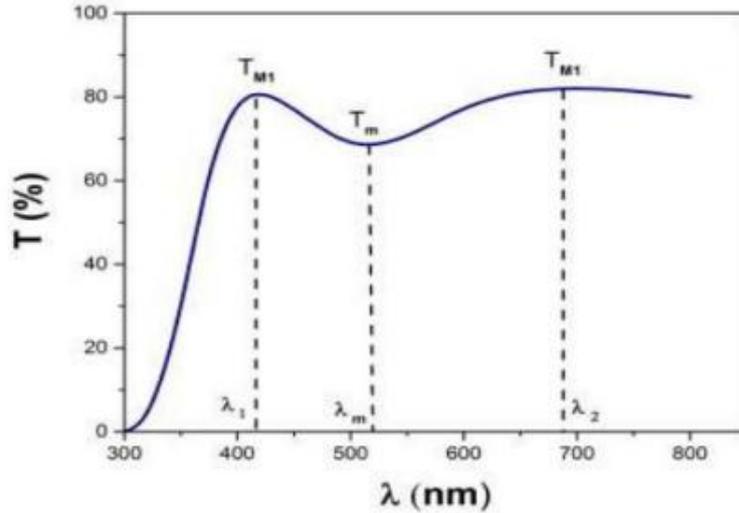
سمك الطبقة:

يمكن تحديد سمك العينة باستخدام هامش التداخل تعتمد هذه الطريقة على نمو التداخلات التي لوحظت على طيف الإرسال في مجال الإمتصاص المنخفض و يتم تحديد سمك الطبقات بالعلاقة التالية [23]:

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2)} \quad (3-II)$$

$$n_{1,2} = \sqrt{(N + (N^2 - S^2)^{1/2})} \quad (4-II)$$

$$N_{1,2} = 2S \left(\frac{T_M - T_m}{T_M \cdot T_m} \right) + \left(\frac{S^2 + 1}{2} \right) \quad (5-II)$$



الشكل التالي (II- 8): طريقة التداخل لتحديد سمك الطبقات الرقيقة [23].

S: هو معامل الإنكسار للركيزة (S = 1.45)

T_M : هو أقصى نفاذية.

T_m : هو الحد الأدنى من النفاذية.

1.1.2.5.II معامل الامتصاص:

من خلال طيف النفاذية يمكن تحديد معامل الامتصاص وكذلك معامل الإخماد للطبقات الرقيقة وذلك باستخدام قانون

$$T = \exp(-\alpha d) \quad (6-II) \quad \text{Beer) الذي يعطى بالعلاقة الآتية [24]:}$$

حيث:

α : معامل الامتصاص.

d : سمك الطبقة الرقيقة.

و من خلال عبارة النفاذية المعطاة في العلاقة فإن معامل الامتصاص يكون بالعلاقة التالية [26]

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{100}{T\%} \right) \quad (7-II)$$

أما معامل التخماد K يعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (8-II)$$

2.1.2.5.II الفاصل الطاقى Eg :

يعد الفاصل الطاقى من الثوابت البصرية المهمة إذ تزداد قيمته في بعض أشباه النواقل و تقل في بعضها الآخر و المعادلة التي تربط بين معامل الامتصاص و الفاصل الطاقى Eg تعطى بعلاقة التالية [25] :

$$(\alpha hv)^2 = A(hv - E_g) \quad (9-II)$$

حيث

A : ثابت

Eg : الفاصل الطاقى ووحدته (ev) .

hv : طاقة الفوتون ووحدتها (ev) .

لأجل تحديد الفجوة البصرية . يتم رسم ahv بدلالة طاقة الفوتون $E = hv$ مع العلم أن :

$$hv(ev) = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{\lambda} \quad (10-II)$$

ويمد الجزء المستقيم أو يتم رسم المماس للجزء الخطي من هذا البيان ليقطع محور طاقة الفوتون عند

النقطة $(\alpha^2 = 0)$ ، فنحصل

على قيمة الفاصل الطاقى Eg.

3.5.II الخصائص الكهربائية

1.3.5.II تقنية النقاط الأربعة:

تهدف تقنية النقاط الأربعة لمعرفة قيمة المقاومة السطحية وتحديد قيمة الناقلية للأغشية الرقيقة، حيث يتكون هذا الجهاز من أربعة مسابر متباعدة بشكل مستقيم و مسافات متساوية، يعتمد مبدؤها على توفير مصدر تيار I يمر من أربعة مسابر بحيث يمر التيار بين المسبارين الخارجين، بينما يستخدم الاثنان الداخليان لقياس فرق الجهد U، ومن خاصية هذه التقنية أن المسافة a التي تفصل بين هذه النقاط أكبر بكثير من سمك الشريحة d ، من خلال هذه الاعتبارات يمكن تحديد قيمة المقاومة Rc بالعلاقة: [26]

$$Rc = \frac{\rho}{d} = \frac{V}{KI} \quad (11-II)$$

حيث:

ρ : مقاومة الطبقة الرقيقة.

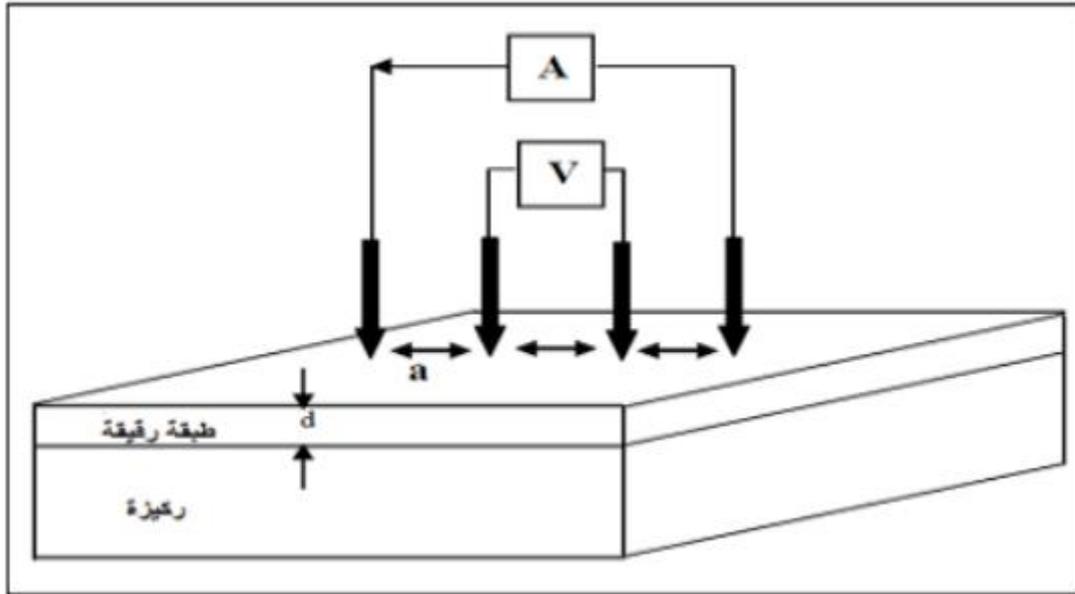
d : سمك الطبقة الرقيقة.

R_c : المقاومة السطحية للشريحة الرقيقة وحدتها (Ω) .

K : تمثل معامل التناسب من الشكل $(\ln 2/\pi)$.

كذلك يتم تحديد الموصلية أو الناقلية بالعلاقة التالية [26]:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (12-II)$$



الشكل (9-II) تقنية النقاط الأربعة [26].

5.II. الخلاصة:

لقد تطرقنا في هذا الفصل إلى نظرة عامة حول الطبقات الرقيقة من حيث مفهومها ومبدأ ترسيبها وكذلك طرق ترسيبها، حيث أن استخدام طريقة دون غيرها يعتمد على عدة عوامل من أهمها نوع المادة المستخدمة ومجال استخدام الشرائح المحضرة، وكذلك تعرفنا على بعض تقنيات تحليل ومعاينة الطبقات الرقيقة وكيفية دراسة الخواص البنيوية والضوئية والكهربائية.

مراجع الفصل الثاني:

مراجع باللغة العربية :

- [2] ل.سقني، " تحديد خصائص أفلام أكسيد القصدير (SnO_2) المطعم بالحديد (Fe) "، مذكرة ماستر أكاديمي ، جامعة حمه لخضر ، الوادي (2016).
- [20] ف. خلفاوي، "تحديد خصائص أفلام أكسيد القصدير (SnO_2) المطعم بالكوبالت (CO) "، مذكرة ماستر أكاديمي ، جامعة حمه لخضر ، الوادي (2018).
- [21] ع. دقة، ط. مصباحي، تحديد بعض الخصائص التركيبية و البصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري ، رسالة ماجستير ، جامعة بابل ، العراق ، (2011).
- [23] ن. عبد القادر احمد، م. امين سليمان ، " كتاب علم البلورات والشرايح السينية " ، سلسلة الفكر العربي ، الطبعة الأولى (2005).
- [24] ج. بوصبيح صالح ص. لبيهاث ، دراسة الخصائص التركيبية و البصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعمه بالنحاس (Cu)، مذكرة ماستر اكاديمي ، جامعة الوادي ، 2018.
- [25] م. حريز بلقاسم، "دراسة الخصائص البنيوية و الضوئية و الكهربائية لأكسيد القصدير المطعم بالفلور المتوضع بتقنية الأمواج فوق الصوتية "، مذكرة ماستر اكاديمي ، جامعة الوادي ، (2014).
- [26] سميحة بوضياف -دراسة التركيب الجزيئي لرمل كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية الامتصاص ما تحت الأحمر وحيود الشرايح السينية -جامعة قاصدي مرباح ورقلة كلية العلوم و التكنولوجيا و علوم المادة قسم علوم المادة 2011-2012

مراجع باللغة الاجنبية :

- [1] A. Rahal. Elaboration des verres conducteurs par déposition de ZnO sur des verres ordinaires .Université d'Eloued . 2013.
- [3] R. Gheriani, Thèse de Doctorat D'Etat,(2445)
- [4] G. Hass and R. E .Thun,"Physics of thin Films", Académie Press ,New York,(1966).
- [5] D. Tainoff, " Influence Des Défauts Sur Les Propriétés Optiques Et Electroniques De Nanoparticules De Zno", Thèse De Doctorat, Université De Claude Bernard-Lyon 1, (2009).
- [6] A. Benzagouta, " Effet De La Stœchiométrie Sur Les Propriétés Structurelles,Dynamiques Et Electroniques Des Systèmes Si-C, Etude Par La Dynamique Moléculaire" ,Thèse De Doctorat , Université De Constantine (2004).
- [7] J. Jacques Bessot, S. Audisio, Techniques De L'ingénieur; Traitement De Surface M5,1655-1660, (1989) .
- [9] S. Benramache, "Elaboration et caractérisation des couches minces de ZnO dopées cobalt et indium ", Univ Mohamed Kheider, Biskra(2012)
- [10] Y-M. Jiang , "Pulvérisation Cathodique Assistée Par Ordinateur", Thèse De Doctorat, Université De Paris-Sud , (1992).
- [11] F.Ynineb," Contribution A L'élaboration De Couches Mincees D'oxydes Transparents Conducteurs (Tco)" ,Mémoire De Magister, Université Mentouri De Constantine, (2009).
- [12] H .Benelmadjat , " Elaboration Et Caractérisation Des Composites Dopés Par Des Agrégats Nanométriques De Semi Conducteurs", Mémoire De Magister , Université Constantine,(2007)

- [13] M. Krunk, "Tin Films for photovoltaic by Chemical Methods", Tallin Univ of Technology, Estonia, (2004).
- [14] O. Mohamed, "Dépôt et caractérisation des couches minces d'oxyde de Zinc par spray pyrolyse Ultrasonique", Mémoire de magister, Univ Mohamed Kheider, Biskra, (2010).
- [15] L. B. Freund, S. Suresh. Thin Film Materials: Stress, Defect Formation and Surface Evolution Cambridge University, 2003.
- [16] E. Chen, Thin Film Deposition, Applied Physics 298r, Harvard University, (2004).
- [17] W. Hamd, Elaboration par voie sol-gel et étude microstructurale de gels et de couches minces de SnO₂, thèse de doctorat, Université de Limoges, 2009.
- [18] J. Garnier, Elaboration de Couches Minces d'Oxydes Transparents et Conducteurs par Spray CVD Assisté par Radiation Infrarouge pour Applications Photovoltaïques, thèse de doctorat, l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2009.
- [19] S. Menakh, contribution à l'Etude des Propriétés de Films ZnO, thèse de magister, université de Constantine, (2010).
- [22] K. F. Konan, B. Hartitil, B. Aka, A. Ridah, K. Dakhsi, Y. Arba Et P. Thevenin, "Propriétés Structurales Et Optiques De Couches Minces D'oxyde De Zinc (ZnO) Texturées (002) Par Voie Sol-Gel Via Spin-Coating", Afrique Science, Vol06(1), 29-37, (2010).

الفصل الثالث :

تحضير الطبقات الرقيقة

ودراسة خصائصها.

1.III. تمهيد:

في هذا الفصل سنتطرق إلى العمل التجريبي الخاص بموضوع الدراسة و تحليل نتائجه لإبراز بعض خصائص الشريحة، و المتضمن خطوات الترسيب المتبعة في طريقة محلول-هلام و بتقنية الطلاء بالطرد المركزي لطبقات النحاس النقي بست طبقات و المطعم بالسترونتيوم بنسب (2% و 4%) بنفس عدد الطبقات، و من ثم التعرف على الخواص الضوئية و الكهربائية للأغشية المدروسة اعتمادا على التحليل الطيفي للأشعة المرئية و فوق البنفسجية UV-VIS و تقنية النقاط الأربعة على التوالي.

2.III. العمل التجريبي:

تحضير الشرائح الرقيقة من أكسيد النحاس النقي و المطعم بالسترونتيوم:

1.2.III. اختيار المواد:

يبين الجدول التالي المواد الكيميائية المستخدمة لإنجاز المحاليل.

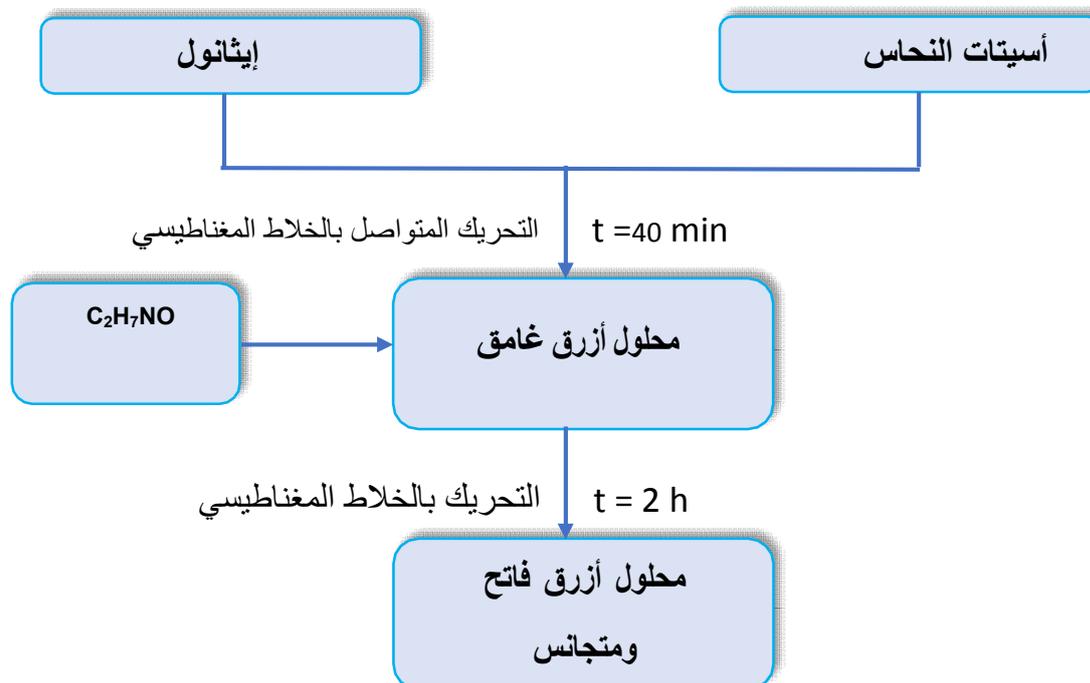
الجدول(1-III): يبين المواد المستخدمة في بحثنا.

المادة	الصيغة	الكتلة المولية (g/mol)
أسياتات النحاس	$Cu_2(CH_3COO)_4$	199.65
نترات السترونتيوم	$Sr(NO_3)_2$	214.63
إيثانولامين	C_2H_7NO	61.08
إيثانول	$C_2H_5 - OH$	46.07

2.2.III. تحضير المحاليل:**1.2.2.III. تحضير محلول أكسيد النحاس النقي:**

للحصول على المحلول المطلوب، نقوم بإضافة 0.397g من أسياتات النحاس إلى 10ml من الإيثانول و نقوم بالخلط بواسطة الخلاط المغناطيسي لمدة 40min ، نضيف الإيثانولامين قطرة بقطرة ، ثم يترك المحلول على الخلاط المغناطيسي لمدة ساعتين، لنتحصل على محلول متجانس، ثم يغطى المحلول الناتج بإحكام و يترك لساعات قبل ترسيب الطبقات الرقيقة.

مخطط تحضير المحلول النقي:



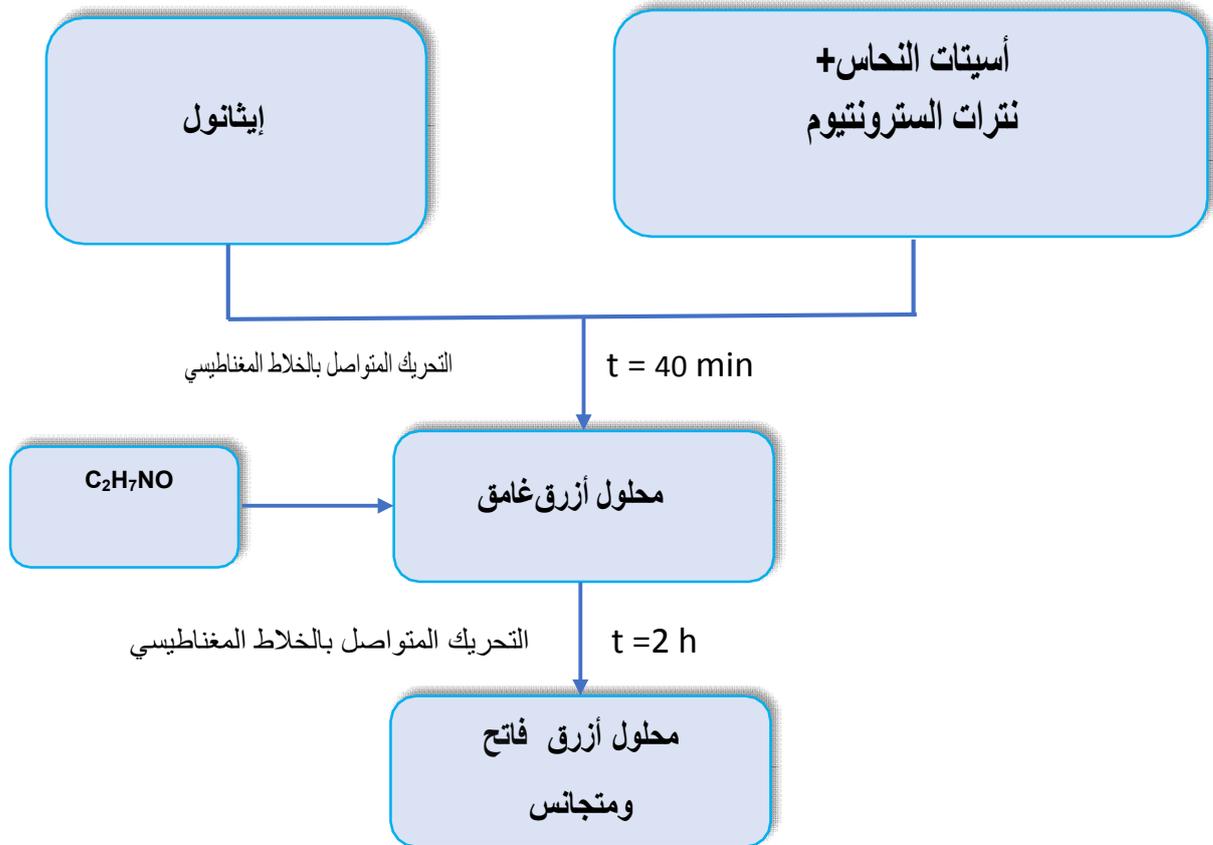
الشكل(III-1)مخطط تحضير المحلول النقي لأكسيد النحاس.

III.2.2.2. تحضير المحلول المطعم:

للحصول على محلول أكسيد النحاس المطعم بنسب مختلفة من السترونتيوم، نتبع نفس الخطوات السابقة مع إضافة كتل مختلفة من نترات السترونتيوم كما هو مبين في الجدول التالي:

الجدول(III-2): كتل نترات السترونتيوم المستخدمة لتحضير المحلول المطعم.

نسبة التطعيم	2 %	4 %
كتلة نترات السترونتيوم	0.006 غرام	0.012 غرام



الشكل (III-2) يمثل مخطط تحضير محلول أكسيد النحاس المطعم بالسترونتيوم.

3.2.III. تحضير المسند :

1.3.2.III. المسند:

المسند هو ما تحمل عليه الطبقات الرقيقة، عند اختياره يجب مراعاة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمحلول الترسيب لتجنب أي تفاعلات قد تحدث وبالتالي ضمان الالتصاق المثالي للطبقة بالمسند، في هذا العمل، قمنا بالعمل على المسند من الزجاج.

2.3.2.III. اختيار المسند:

في هذه التجربة، يتم التركيز في اختيار المسند على شرائح الزجاج حيث المسند الزجاجي له أبعاد 25×75 mm .

نقوم أولاً بقطع هذه الشرائح باستخدام قلم ماسي للحصول على مساند مربعة، ثم ثانياً نقوم بتنظيف هذه المسند.

3.3.2.III. تنظيف المسند:

يتم تنظيف هذه المساند للتخلص من الرواسب بمراحل عدة لأن وجود هذه الرواسب يؤثر في خواص الطبقات المحضرة، حيث يتم التنظيف على النحو التالي:

- نقوم بوضع المساند في الأسيتون لفترة.
- ثم ننقع في الماء المقطر لمدة 10 دقائق.
- ثم ننقع مرة أخرى في خليط من الماء المقطر والإيثانول لمدة 10 دقائق.
- ثم مرة أخرى نقوم بتنظيف المساند بالماء المقطر لمدة 10 دقائق.
- و أخيرا التجفيف بمجفف الشعر.
- وضع المساند في الفرن لمدة 5 دقائق.

III.4.2. ترسيب الطبقات الرقيقة عن طريق الطلاء بالطرد المركزي "Spin-coating":

لترسيب الطبقات الرقيقة ، استخدمنا "Spin-coater" محلي التركيب، تتكون هذه العملية من عدة خطوات. أولا نغمس الماصة في الأنبوب التي يحتوي على المحلول ثم يتم سكب قطرات على الركيزة وعلى الفور تخضع العينة للدوران لبضع ثوان، ثم يتم إيقاف الحركة الدورانية وانتقل إلى الخطوة التالية، من أجل ترسيب ناجح يجب أن تكون حالة سطح الركيزة ودرجة حرارة ورطوبة غرفة الترسيب وتركيز المحلول وسرعة دوران الركيزة و وقت الترسيب هي الأمثل وهذا بعد القيام بعدة تجارب أولية لضبط هذه العوامل.

III.5.2. المعالجة الحرارية للطبقات الرقيقة:

تتكون المعالجة الحرارية من مرحلتين:

✓ التجفيف:

بعد ترسيب الطبقة الرقيقة لأكسيد النحاس على الركيزة، توضع العينة في فرن التسخين عند درجة حرارة 220°C لمدة 5 دقائق لتبخر المذيبات المحتجزة ، ثم يترك ليبرد في الهواء الطلق قبل استئناف ترسيب طبقة أخرى في نهاية هذه الخطوة، تتكون طبقة رقيقة.

✓ التلدين:

التلدين الحراري ضروري لتصلب الطبقة وتقليل العيوب المتبقية وجعل الطبقة أكثر تجانسا يتم إجراء هذه المعالجة في فرن (GMBH NABERTHERM (B410 عند درجة حرارة 500 لمدة 1h30min لركائز الزجاج الذي يتم ضبطه بحيث يزداد تدرج درجة الحرارة تدريجيا بخطوة $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ، بمجرد الانتهاء من التلدين تبرد العينات عمليا بنفس تدرج درجة الحرارة المتناقص تدريجيا حتى تصل إلى 25°C ، في هذه المرحلة تتشكل المادة البلورية وتكتسب خصائصها.

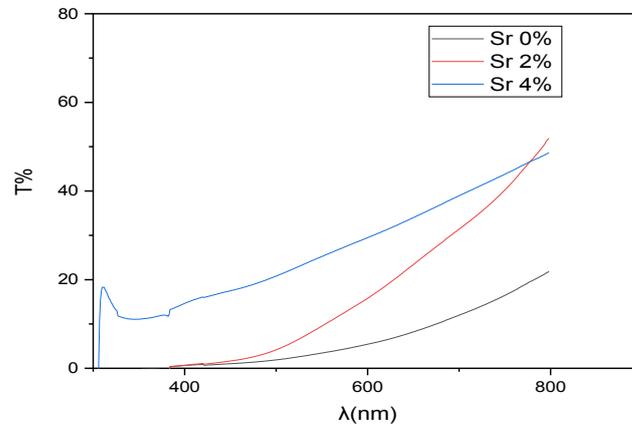
النهائية.

3.III. الخصائص الضوئية: مطيافية الأشعة فوق البنفسجية-المرئية:**1.3.III. الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Visible):**

تم إجراء التوصيف البصري للطبقات الرقيقة لأكسيد النحاس النقية و المطعمة بالسترونتيوم باستخدام مقياس طيف ضوئي (JASCO V770) يتم التحكم فيه عن طريق الكمبيوتر ويعمل في نطاق UV-Visible من 200nm إلى 2700nm.

1.1.3.III. طيف النفاذية (Spectre de Transmittance):

تم الحصول على أطيف النفاذية للشرائح الرقيقة المحضرة الموضحة في الشكل التالي:

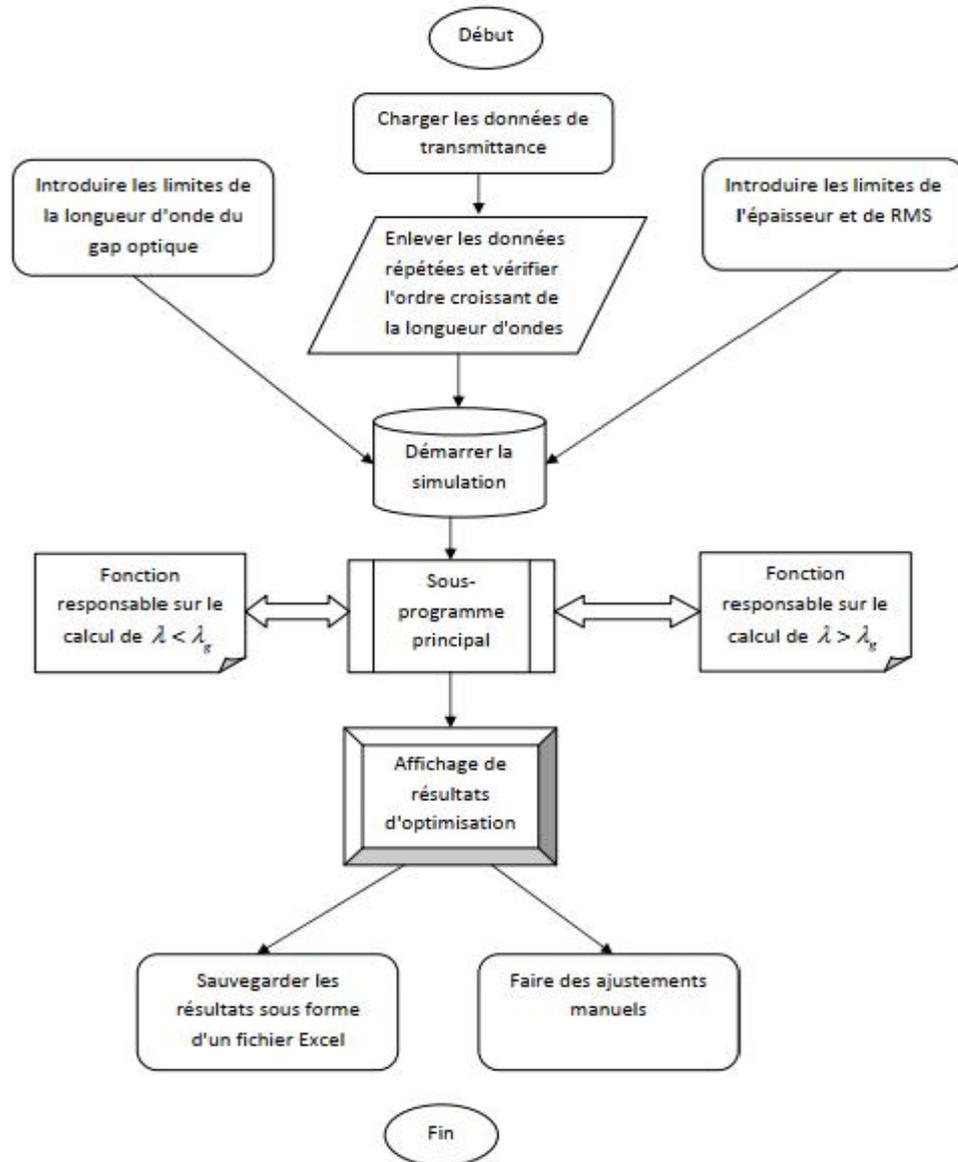
**الشكل (3-III) يمثل طيف نفاذية مختلف العينات المحضرة.**

الشكل يمثل العلاقة بين نفاذية الشرائح المحضرة (النقية و الشرائح المطعمة بالسترونتيوم بنسب (2% ; 4%) والطول الموجي ضمن المجال (300nm ; 800nm) ، حيث نجد أن النفاذية شرائح أكسيد النحاس النقية و المطعمة بنسبة 2% معدومة في مجال الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية (300nm ; 400nm) و المعروفة بحافة الامتصاص الأساسية، بينما نفاذية العينة بتطعيم 4% تكون ضعيفة نسبياً، ثم لاحظنا زيادة تدريجياً لقيم النفاذية في المنطقة الثانية (400nm ; 800nm) التي تقع في نطاق الأشعة المرئية القريبة من الأشعة تحت الحمراء.

أكبر نفاذية سجلتها العينة المطعمة بنسبة 4% وهي تتعدى 50%، وبالنسبة لنفاذية العينات الأخرى تعتبر مقبولة إلى حد ما مقارنة مع الطريقة المستخدمة والمراجع الموجودة [1].

2.1.3.III تحديد السمك:

إن الطرق والتقنيات المستعملة في تحديد السمك متعددة وقد تم تحديد سمك الشرائح المحضرة باستخدام برنامج المحاكاة Hebal Optics انطلاقاً من قيم النفاذية لكل عينة، في هذا البرنامج يتم استخدام خوارزمية تعرف باسم "trust-region-reflective" وهي خوارزمية تحسين تهدف إلى تقليل دالة حقيقية محددة على فضاء إقليدي أو بشكل عام على فضاء هيلبرت، الخوارزمية تكرارية، وبالتالي فهي تتقدم من خلال التحسينات المتتالية، و الشكل(III-4) هو عبارة عن مخطط يشرح آلية عمل هذا البرنامج[2].



الشكل (III-4): مخطط لآلية عمل برنامج Hebal Optics[2].

قيم السمك المتحصل عليها من البرنامج محصورة ضمن المجال (596.75 - 630,99) nm كما هي موضحة في الجدول (III.5).

الجدول (III-3): يبين الجدول سمك الشرائح حسب نسبة التطعيم.

نسبة التطعيم (%)	طبقات 6	2%	4%
d (nm)	630,99	596,75	601,45

من خلال النتائج المتحصل عليها نجد أن سمك العينة المطعمة 2% هو الأصغر (596,75) nm و سمك العينة النقية هو الأكبر (630,99) nm .

III.3.1.3. معامل الامتصاص:

يعطى معامل الامتصاص α بالصيغة التالية [3]:

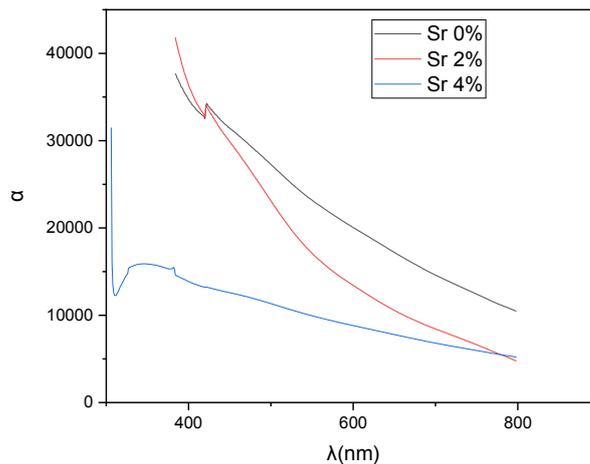
$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{100}{T\%} \right)$$

حيث:

d: سمك الطبقة.

T: نفاذية الطبقة.

شكل لمعامل الامتصاص بدلالة الطول الموجي.



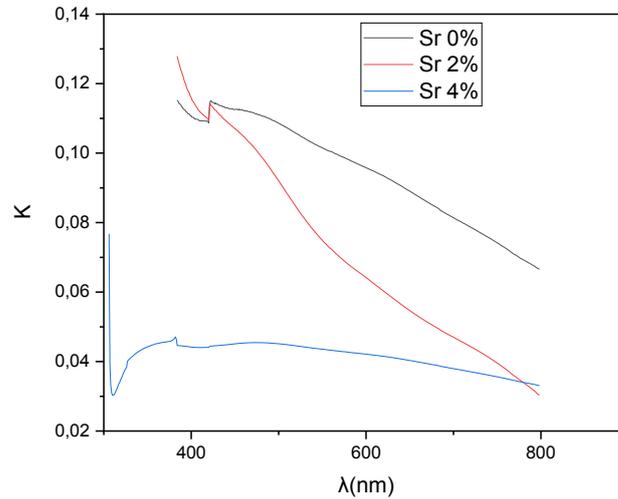
الشكل (III-5) يمثل معامل الامتصاص لمختلف الشرائح المحضرة.

نلاحظ أن العينة المطعمة بنسبة 2% تسجل أعلى قيمة معامل امتصاص حيث تصل القيمة إلى $41799,759 \text{ cm}^{-1}$ عند 384nm أما الشريحة النقية تحافظ على أكبر معامل امتصاص في منطقة المجال المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة، فهي تمتلك قيم المعامل ذا أقصى قدره $34047,36 \text{ cm}^{-1}$ عند 421nm مما يشير إلى الامتصاص الكبير للفوتونات, بالموازات تسجل العينة المطعمة ب 4% اقل معامل امتصاص .

III.4.1.3.معامل التخماد K:

يعرف معامل التخماد K بأنه جزء من طاقة الإنتشار و الامتصاص لكل وحدة سمك في وسط معين، و يتم

$$K = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \quad \text{حسابه بالصيغة التالية [4]:}$$



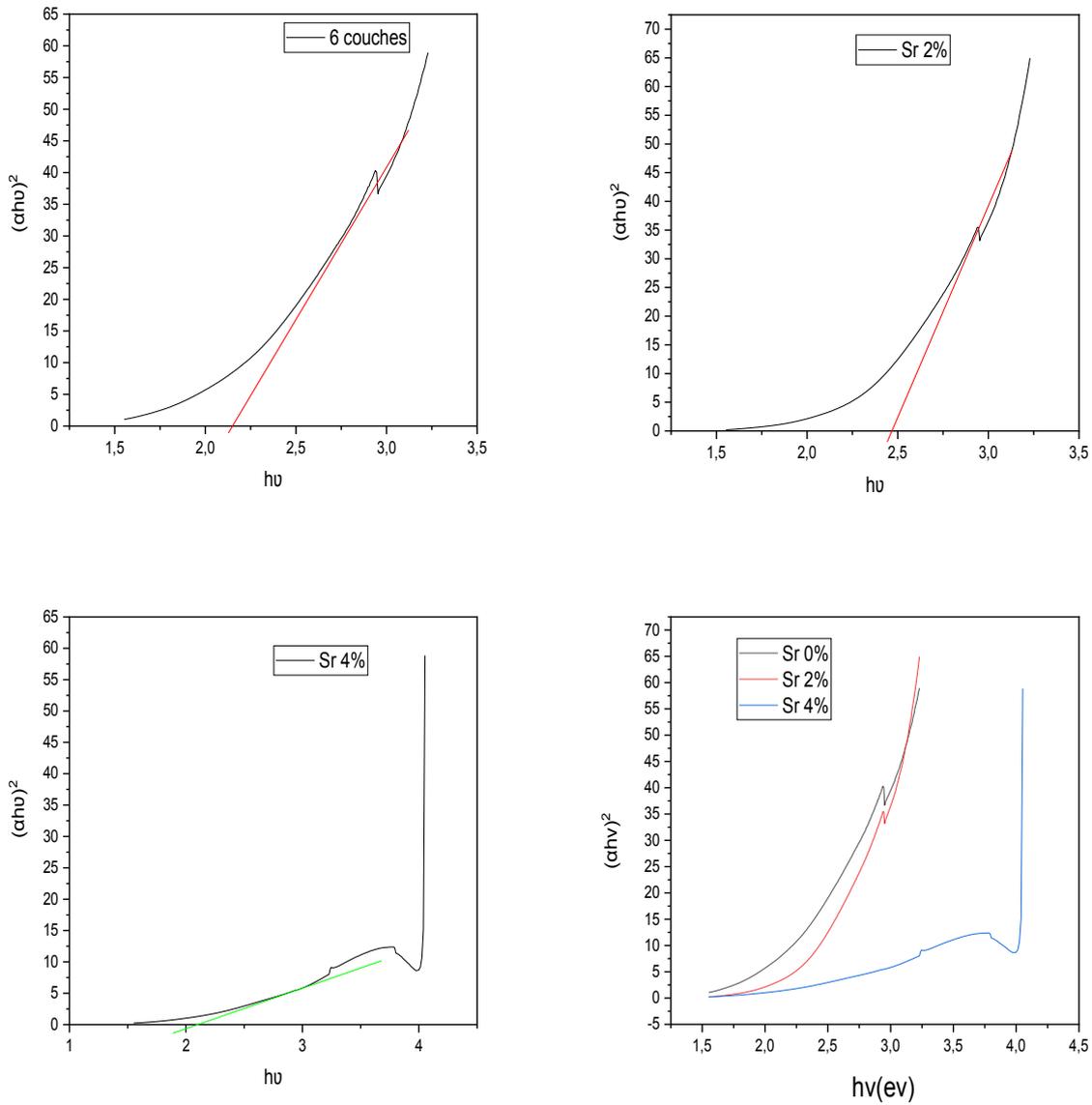
الشكل (6-III) يمثل تغير معامل التخماد لمختلف العينات المحضرة.

كما هو متوقع فإن الشريحة المطعمة بنسبة 2% تسجل أعلى قيمة لمعامل التخماد 0,1277 بينما تبقى العينة النقية ب6 طبقات هي من تحافظ على أعلى قيمة لمعامل التخماد في المجال (400-800)nm

III.5.1.3.الفجوة البصرية:

تعد معرفة قيمة فجوة النطاق أمراً ضرورياً في أي دراسة للخصائص البصرية لأشباه الموصلات، تم تحديد حساب الفجوة باستخدام طريقة Tauc.

الشكل (6-III) يمثل منحنيات $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $(h\nu)$ لحساب الفجوات بطريقة Tauc.



الشكل (7-III) يمثل الفاصل الطاقي لشرائح أكسيد النحاس النقي و المطعم.

أنطلاقاً من الشكل (7-III)، قمنا بحساب قيم الفجوات الضوئية للعينات المطعمة بنسب مختلفة، النتائج موضحة في الجدول التالي :

نسبة التطعيم (%)	0	2	4
Eg	2,31	2,47	2,15

الجدول(4-III): الفجوة البصرية للأغشية الرقيقة لأكسيد النحاس النقي و المطعم بالسترنيوم.

من خلال النتائج المتحصل عليها نجد أن قيمة الفاصل الطاقوي تزداد عند التطعيم بنسبة 2% ثم تتناقص مرة أخرى عند التطعيم بنسبة 4%، هذه القيم محصورة بين $[2,47 - 2,15]$ eV ، ترجع هذه الزيادة إلى زيادة تشتت الإلكترونات في الحبيبات ما يؤدي إلى تشبع الحالات القريبة من نطاق التوصيل وبالتالي زيادة الفجوة الطاقوية البصرية [5].

III.6.1.3. معامل الإنكسار:

قمنا بحساب معامل الإنكسار بثلاثة نماذج مختلفة، ومن ثم نأخذ القيمة المتوسطة ومنه توجد ثلاث علاقات لحسابه [6]:

$$n_1 = 4.084 - 0.62 E_g$$

$$n_2 = \sqrt{\frac{12.417}{E_g - 0.365}}$$

$$n_3 = \sqrt{1 + \frac{13.6}{(E_g + 3.6)^2}}$$

يتضمن الجدول التالي قيم معامل الإنكسار بالإضافة إلى متوسط القيمة للعينات بدلالة نسبة التطعيم.

الجدول (III-5): معامل الإنكسار لأغشية أكسيد النحاس النقية و المطعمة بالسترونتيوم.

نسبة التطعيم (%)	0	2	4
n (1)	2,651	2,552	1,604
n (2)	2,516	2,42	1,844
n (3)	1,178	1,170	1,111
n_{moy}	2,115	2,047	1,519

حسب الجدول السابق لوحظ تناقص في معامل الإنكسار مع زيادة التطعيم، تظهر هذه النتائج أن العينة ذات التطعيم 4% هي ذات معامل الإنكسار الأقل.

4.III. الخصائص الكهربائية :

دراسة الكهربائية بطريقة المسابر الأربعة :

تم إجراء دراسة كهربائية على سطح الطبقات الرقيقة من CuO النقية والمطعمة المترسبة على ركائز الزجاج باستخدام جهاز النقاط الأربعة.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = R_c d \quad : \text{ يتم حساب المقاومة بالعلاقة التالية [7] :}$$

جميع النتائج المتحصل عليها ملخصة في الجدول التالي:

الجدول (III-6): الخصائص الكهربائية لأغشية أكسيد النحاس النقي و المطعم بالسترونتيوم.

نسبة التطعيم (%)	6 طبقات	2%	4%
$R_c * 10^7$ (Ω)	0,178	2,4	1,61
$\rho * 10^3$ ($\Omega.cm$)	0,112	1,43	1,003
$\sigma * 10^{-3}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹	8,9	0,698	0,998

نلاحظ أن المقاومة المربعة للشريحة النقية تسجل اقل قيمة مما جعلها تحقق أكبر قيمة للناقلية $(\Omega.cm)^{-1} * 10^{-3} 8,9$ و من جهة أخرى أدى التطعيم إلى نقصان قيمة الناقلية في البداية عند نسبة 2% لكن تزداد مرة أخرى عند نسبة التطعيم 4%.

5.III. معامل الجودة :

من أجل تحديد التركيب المثلى، استخدمنا علاقة H aake الخاصة بمعامل الجودة. هذا المعامل هو الأكثر استخداماً لمقارنة أداء أكسيد موصل شفاف TCO ويعطى بالعلاقة: [8]

حيث: T تمثل النفاذية المتوسطة 550nm.

R_c المقاومة المربعة للطبقة الرقيقة.

النتائج مدونة في الجدول (III-7).

نسبة التطعيم (%)	0	2	4
معامل الجودة Φ	$5,61*10^{-17}$	$3,97*10^{-14}$	$6,51*10^{-11}$

الجدول (7-III): يمثل معامل الجودة بالنسبة لتطعيم لأكسيد النحاس.

نلاحظ أن الخيار الذي يجمع بين المقاومة السطحية والشفافية هو العينة المطعمة بنسبة 4%، إذ يكون معامل الجودة هو الأعلى.

المراجع:

- [1] Al-Maiyaly, Bushra K.H.& H.Hussein, Bushra & Hassun, Hanan, GROWTH AND OPTOELECTRONIC PROPERTIES OF p-CuO :Al/n-Si HETERROJUNCTION. Journal of Ovonic Research.16(2020)267-271.
- [2] Zine El Abidine Hebal "Proprietes optiques des couches minces type A2B6", memoire de master, univesite de Abbes laghrour, kenchla, 2014.
- [3] A. Gultekin, material science, vol 20 (1), 2014, 10-14.
- [4] M.I.Khan et al, results in physics, 6, 2016, 156-160
- [5] Malahalli S. Vijaya Kum, Sannaiah Anand Synthesis and characterization of PEO:Sr/CuO polymer nanocomposite films and study of their optical, electrical and viscosity properties ,International Journal of Applied Chemistry. ISSN 0973-1792 Volume 17, Number 1 (2021) pp. 33-49
- [6] V. Kumar¹, J.K. Singh, Model for calculating the refractive index of different materials Journal of Pure & Applied Physics Vol. 48, August 2010, pp. 571 -574.
- [7] P.P.Tsai and R.R. Bresse, journal of applied polymer science, 82 (11), 2001,2856-2862
- [8] N.Manjula and al, international journal of chimTech research, vol 6(1), 2014,705-718

الخاتمة العامة:

في هذه الدراسة، قمنا بتحضير طبقات رقيقة من أكسيد النحاس النقي والمطعم بالسترونتيوم بتقنية محلول-هلام (gel-sol) بالطرد المركزي المرسبة على ركائز الزجاج، بعد ذلك درسنا تأثير التطعيم بالسترونتيوم على الخصائص البصرية والكهربائية للطبقات الرقيقة التي تم الحصول عليها باستخدام التقنيات التالية:

- ✓ لتحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية المرئية لدراسة الخصائص البصرية.
- ✓ تقنية النقاط الأربعة للقياسات الكهربائية.

قمنا بتحضير طبقات من أكسيد النحاس النقي CuO والمطعم بنسب مختلف من السترونتيوم Sr (2%؛ 4%) باستعمال طريقة الطلاء بالطرد المركزي التي تمت معالجتها حراريا لمدة ساعتين عند درجة الحرارة $500^{\circ}C$ بهدف دراسة الخصائص الضوئية والكهربائية للطبقات المحضرة ومن ثم حساب معامل الجودة .
يمكن تلخيص النتائج المتحصل عليها كما يلي:

- مطيافية الأشعة فوق البنفسجية - المرئية :

أظهرت المطيافية أن للعينات المحضرة نفاذية ضوئية متباينة في المجال المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة من المجال المرئي , حيث تزداد مع زيادة نسبة التطعيم بالسترونتيوم Sr أي أن لهذا الأخير دور مهم في تحسين النفاذية حيث بلغت %50,01 عند العينة المطعمة ب %4, من جهة أخرى تؤدي إضافة السترونتيوم للطبقات الرقيقة من CuO إلى اتساع الفجوة الضوئية إذ تصل أقصى قيمة لها $2,47eV$ عند العينة المطعمة بنسبة %2 لنفس عدد الطبقات, كما نلاحظ أيضا أن التطعيم خفض من معامل الإنكسار من 2,115 للعينة النقية ذات 6 طبقات إلى 1,519 للعينة المطعمة بنسبة %4 .

- طريقة النقاط الأربعة:

أظهرت القياسات الكهربائية أن الناقلية الكهربائية للأغشية الرقيقة المحضرة من رتبة $(\Omega.cm^{-1}) 10^{-3}$ حيث أعلى قيمة لها تعود للعينة النقية.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOHAMED KHIDER - BISKRA



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد خيذر بسكرة
كلية العلوم الحديثة وتكنولوجيا الطبيعة والبيئة

Faculté des SE&SNV

Département des Sciences de la matière

قسم علوم المادة

Filière: Physique

شعبة: الفيزياء

تصريح شرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإجازة بحث

(ملحق القرار 1082 المؤرخ في 2021/12/27)

أنا الممضي أسفله،

السيدة (ة):
الصفة: طالب سنة ثانية ماستر فيزياء
التخصص: فيزياء بلازما، فيزياء جسيمات عالية الطاقة
الحامل (ة) لبطاقة التعريف الوطنية رقم:
المسجل بكلية: علوم دقيقة وعلوم الطبيعة والبيئة قسم: علوم المساحة
والمكلف بإجازة أعمال بحث: مذكرة ماستر في الفيزياء
عنوانها:
.....

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في إجازة البحث المذكور أعلاه وفق ما ينص عليه القرار رقم 1082 المؤرخ في 2021/12/27 المعدد للقواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها.

التاريخ:

إمضاء المعني بالأمر

الملخص :

أكسيد النحاس (CuO) هو شبه موصل من نوع P ذو خصائص فيزيائية مميزة وله عديد الاستعمالات في مختلف المجالات مثل : الالكترونات الضوئية و الخلايا الكهروضوئية الخ. في هذا العمل قمنا بتحضير شرائح من أكسيد النحاس CuO النقي و المطعم بالسترونتيوم بنسب مختلفة مختلفة (2%; 4%) و بنفس عدد الطبقات على مساند زجاجية وذلك بإذابة أسيتات النحاس في الإيثانول عن طريق تقنية الطلاء بالطرد المركزي في مختبر الشرائح الرقيقة . والهدف من عملنا هو دراسة تأثير نسب تركيز التطعيم بالسترونتيوم على مختلف الخصائص الضوئية و الكهربائية , بينت قياسات الأشعة المرئية و فوق بنفسجية من خلال تسجيل طيف النفاذية لمدى الاطوال الموجية (300-800) nm، أن النفاذية تتزايد مع زيادة نسبة التطعيم بالسترونتيوم, وأظهرت قياسات بطريقة النقاط الأربعة أن المقاومة السطحية تسجل اقل قيمة في العينة النقية بينما تزداد عند التطعيم بالسترونتيوم بنسبة 2% و تنقص قليلا عند التطعيم 4%.

الكلمات المفتاحية: أكسيد النحاس، السترونتيوم، تقنية الطلاء بالطرد المركزي ، التطعيم، الأشعة المرئية .

Abstract:

Copper oxide (CuO) is a p-type semiconductor with unique physical properties and a wide range of applications in various fields, including optoelectronics and photovoltaics. In this work, pure and strontium-doped (4% and 2%) CuO thin films with the same number of layers were prepared on glass substrates by dissolving copper acetate in ethanol using spin coating in a thin-film laboratory. The aim of this work was to study the effect of strontium doping concentration ratios on the optical and electrical properties of the films. Visible and ultraviolet light measurements revealed that the transmittance increases with increasing strontium doping ratio. Four-point probe measurements showed that the surface resistance is lowest for the pure sample, increases with 2% strontium doping, and decreases slightly with 4% doping.

Keywords: Copper oxide, strontium, spin coating, doping, visible light.