



جامعة قاصدي مرباح – ورقلة
كلية المحروقات والطاقات المتجددة
وعلوم الأرض والكون
قسم الطاقات المتجددة

مذكرة مقدمة لنيل شهادة ماستر في الطاقات المتجددة في الميكانيك

الفرع : هندسة ميكانيكية

تخصص : طاقات متجدد في الميكانيك

اعداد الطلبة :

شتحونة أيمن

خمقاني محمد حسام الدين

الموضوع :

تحضير أغشية رقيقة من أكسيد الزنك للتطبيقات الكهروضوئية

نوقشت يوم :

أمام لجنة المناقشة المكونة من :

رئيسا	جامعة قاصدي مرباح - ورقلة -	أستاذ مساعد - أ -	زبيدي شهناز
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح - ورقلة -	أستاذ محاضر - أ -	نصيب هشام
مشرفا	جامعة قاصدي مرباح - ورقلة -	أستاذ محاضر - ب -	غربي إبراهيم

الموسم الجامعي : 2024/2023

الإهداء

(فَتَعَالَى اللَّهُ الْمَلِكُ الْحَقُّ وَلَا تَعْجَلْ بِالْقُرْآنِ مِنْ قَبْلِ أَنْ يُقْضَىٰ إِلَيْكَ وَحْيُهُ وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا)

إلى أمي الحبيبة :

أهدي لك يا أمي هذا الإنجاز، شكرًا لتضحياتك التي لا تُحصى،

شكرًا لحنانك وعطائك وحبك الذي لا ينضب،

شكرًا لكونك السند القوي لي في كل لحظة،

إلى أبي الغالي :

أهدي لك يا أبي هذا الإنجاز، شكرًا لوقوفك بجانبني ودعمك المستمر،

شكرًا لثقتك بي وإيمانك بقدراتي،

شكرًا لكونك قدوتي في الحياة،

إلى جدي الحنونة ، أدعو الله أن يحفظك وأن يُبارك لك في صحتك وعافيتك.

إلى من تقاسمت الحياة معهم أخوتي كل باسمه ، وإلى أختي العزيزة.

إلى كل أفراد عائلتي كبيراً وصغيراً، أدام الله محبتكم في قلبي ومحبتني في قلوبكم.

إلى كل من آمن بي ودعمني من قريب أو بعيد، لولاكم لما تحقق هذا الإنجاز.

شتحونة أيمن

الإهداء

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم:

"من لم يشكر الناس لم يشكره الله"

صدق رسول الله صلى الله عليه وسلم

إلى من لا يضاهيهما أحد في الكون، إلى من أمرنا الله ببرّهما، إلى من بذلا الكثير، وقدّما ما لا يمكن أن يردّ، إليكما تلك الكلمات أُمي وأبي الغاليان، أهدي لكما هذا البحث؛ فقد كنتمما خير داعم لي طوال مسيرتي الدراسية.

إلى إخوتي؛ من كان لهم بالغ الأثر في كثير من العقبات والصعاب.

إلى أولئك المطلّعين على عنثاتنا وعيوبنا، التي اجتهدت في إخفائها دون أن يكونوا يدًا تضغط على الجرح، إلى أصدقائي الأوفياء أهدي هذا البحث.

خمقاني محمد حسام الدين

شكر وعرفان

الحمد لله والشكر لله وحده والصلاة والسلام على رسوله محمد صلى الله عليه وسلم

يسعدنا في هذه اللحظات المميزة أن نتقدم بخالص الشكر والتقدير والعرفان إلى الله عز وجل الذي وفقنا وسدد خطانا
ووهب لنا نعمة العلم والمعرفة .

ففي هذه اللحظات التي يقف فيها المرء حائرًا حيال التعبير عن مشاعره الصادقة، نجد أنفسنا عاجزين عن ترجمة ما يحتلج
في صدورنا من امتنان عميق لجميع من ساندونا ودعمونا في رحلتنا العلمية .

فلكل من آمن بنا وشجعنا، ولكل من مدّ لنا يد العون وشاركنا أفراحنا وأحزاننا، ولكل من أضاء دمربي
وساعدنا على تحقيق أحلامنا، نقول لكم من أعماق قلوبنا: شكراً لكم، شكراً جزيلاً .

نخص بالشكر الجزيل أستاذنا المشرف الدكتور عربي إبراهيم، الذي منحنا فرصة علمية استثنائية، وقدم لنا
الدعم والتوجيه طوال رحلتنا الدراسية، . كما نتقدم بالشكر الجزيل لأعضاء لجنة المناقشة، أستاذنا الدكتور
نصيب هشام رئيساً، وأستاذتنا الدكتورة نريدي شهنار مناقشتنا، على تفضلهما بمناقشة عملنا بدقة ومهنية عالية .
وأخيراً، نتقدم بالشكر الجزيل إلى جميع من ساهم في إنجاح هذه المذكرة، من بعيد أو من قريب، سواء من أفراد
عائلتنا وأصدقائنا أو زملائنا، الذين قدموا لنا الدعم المعنوي والنفساني .

مع خالص الشكر والتقدير،

I	الإهداء.....
III	شكر و عرفان.....
IV	الفهرس.....
VIII	قائمة الرموز.....
X	قائمة الأشكال.....
XI	قائمة الجداول.....
1	المقدمة.....
2	مراجع المقدمة.....
الفصل الأول : عموميات حول الأكاسيد الموصل الشفافة	
4	تمهيد.....
4	1.1. مفهوم الأكاسيد الموصلة الشفافة.....
5	2.1.1. شرح بنية الأكسيد الشفافة الناقلة.....
5	3.1.1. الخصائص الكهربائية والضوئية للأكسيد الشفافة الناقلة.....
6	1.3.1.1. الخصائص الكهربائية.....
6	1.1.3.1.1. الفاصل الطاقى.....
7	2.1.3.1.1. المقاومة السطحية.....
7	3.1.3.1.1. الناقلية الكهربائية والمقاومية.....
7	4.1.3.1.1. الحركية الكهربائية.....
8	4.1.1. الخصائص الضوئية للأكاسيد الشفافة الناقلة.....
10	5.1.1. تطبيقات الأكاسيد الموصلة الشفافة.....
10	2. أكسيد الزنك.....
10	1.2.1. مفهوم أكسيد الزنك.....
12	2.2.1. الخصائص البلورية.....
13	3.2.1. الخصائص الكهربائية.....
14	4.2.1. الخصائص الضوئية.....
14	5.2.1. تطبيقات أكسيد الزنك.....
16	الخلاصة.....
17	مراجع الفصل الأول.....

الفصل الثاني : طرق ترسيب الأغشية الرقيقة وتقنيات المعاينة

تمهيد.....	22
1.II مفهوم الطبقات الرقيقة	22
2.II مبدأ ترسيب الطبقات الرقيقة.....	22
3.II طرق ترسيب الطبقات الرقيقة.....	23
1.3.II الطرق الكيميائية	23
1.1.3.II طريقة الرش الكيميائي الحراري	23
2.1.3.II تقنية المحلول الكيميائي (sol-gel).....	24
3.1.3.II الترسيب الكيميائي للأبخرة (CVD).....	25
2.3.II الطرق الفيزيائية	26
1.2.3.II الترسيب الفيزيائي للأبخرة (PVD).....	26
2.2.3.II بعض الأمثلة عن الترسيب الفيزيائي للأبخرة (PVD).....	26
4.II أليات نمو الطبقات الرقيقة.....	28
1.4.II مرحلة التنويه	28
2.4.II مرحلة الالتحام	28
3.4.II مرحلة النمو	29
5.II تقنيات المعاينة وتحليل الطبقات الرقيقة	29
1.5.II خصائص البنيوية	29
1.1.5.II انعراج الأشعة السينية(DRX)	29
2.1.5.II جهاز انعراج الأشعة السينية (DRX)	30
2.5.II خصائص الضوئية	31
1.2.5.II التحليل الطيفي للأشعة المرئية و فوق البنفسجية (UV-VIS).....	31
3.5.II خصائص الكهربائية	34
1.3.5. II تقنية المسابر الأربعة	34
4.5.II طريقة ويليام صون هول William-hall.....	35
الخلاصة	36
مراجع الفصل الثاني	37
الفصل الثالث: طرق المعاينة و التركيب التجريبي	
تمهيد	42

42	.....III.1.الأدوات و المواد المستخدمة
42	.....III.2.تحضير العينات
43	.....III.3.النتائج
43	.....III.1.3.نتيجة و تحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية و المرئية
44	.....III.2.3.طيف الامتصاصية الضوئية
44	.....II.3.3I.نتيجة و تحليل الاشعاع الطيفي
48	.....الاستنتاج
49	.....مراجع الفصل الثالث
51	.....الخاتمة
52	.....الملخص

قائمة الرموز :

الجودة:

- ❖ معامل الجودة (FTC)
- ❖ النفاذية (T)
- ❖ مقاومة السطح (RS)
- ❖ سمك (d)
- ❖ الفاصل الطاقى (Eg)
- ❖ الخصائص الكهربائية:
- ❖ شحنة الإلكترون (q)
- ❖ معامل التصحيح (c)
- ❖ الكتلة الفعالة (m)
- ❖ سرعة (V)

بصريات:

- ❖ الانعكاسية (R)
- ❖ الامتصاصية (A)
- ❖ شدة الضوء النافذ (IT)
- ❖ شدة الضوء الساقط (IO)
- ❖ شدة الضوء المنعكس (IR)
- ❖ شدة الضوء الممتص (IA)
- ❖ معامل الإخماد (K)
- ❖ ثابت بلانك (h)
- ❖ تركيز الإلكترونات الحرة (N)
- ❖ سرعة الضوء (C)
- ❖ معامل الانكسار (n)
- ❖ تردد البلازما (w)
- ❖ الفاصل الطاقى الأساسى للمادة (Eg0)
- ❖ ثابت الشبكة (a)
- ❖ المسافة بين المستويات البلورية (dhkl)
- ❖ طاقة المستوى (En)
- ❖ طاقة أورباخ (Eu)
- ❖ حجم الحبيبات (D)

الرموز اليونانية:

- ❖ المقاومة (ρ)
- ❖ الحركية (μ)
- ❖ الناقلية (σ)
- ❖ زمن الاسترخاء (τ)
- ❖ معامل الامتصاص (α)
- ❖ الطول الموجي (λ)
- ❖ طول موجة امتصاص البلازما (λ_p)
- ❖ طول موجة امتصاص الفاصل الطاقى للفرقة (λ_{gap})
- ❖ التردد (ν)
- ❖ تردد اهتزاز البلازما (ν_p)
- ❖ السماحية الكهربائية النسبية (ϵ)
- ❖ سماحية الفراغ (ϵ_0)
- ❖ الزاوية (θ)
- ❖ عرض قمة الانعراج (FWHM)
- ❖ طاقة الضوء ($h\nu$)

الاختصارات:

- ❖ TCO: أكاسيد موصلة شفافة
- ❖ BC: نطاق التوصيل
- ❖ BV: نطاق التكافؤ
- ❖ ZnO: أكسيد الزنك
- ❖ DRX: انعراج الأشعة السينية
- ❖ UV: فوق بنفسجي
- ❖ VIS: مرئي
- ❖ IR: تحت أحمر
- ❖ JCPDS: اللجنة المشتركة لمعايير حيود المسحوق
- ❖ hkl: مؤشرات ميلر للمستويات
- ❖ FWHM: عرض قمة الانعراج

قائمة الأشكال :

الشكل (1.I) : مخطط حزم الطاقة للمواد الناقلة وأشباه النواقل والعوازل

الشكل (2.I) : ظواهر الثلاثة الانعكاس ، الامتصاص و النفاذ

الشكل (3.I) : بعض تطبيقات أكاسيد الناقلة الشفافة

الشكل (4.I) : مسحوق أكسيد الزنك

الشكل (5.I) : التركيب البلوري لأكسيد الزنك : (أ)"هيكل ركائز الزنك (Zinc blende)"، (ب)"هيكل Wurtzite (سداسي)"، (ج)"هيكل Rock salt (ملح صخري)".

الشكل (I.6) : توزيع ذرات الزنك والأوكسجين في هيكل السداسي Wurtzite

الشكل (I.7) : الهيكل الأساسي للخلية الشمسية

الشكل (I.8) : رسم تخطيطي LED على أساس طبقات من أصناف النواقل

الشكل (I.9) : مبدأ عمل حساسات الغاز

الشكل (II.1) : طرق ترسيب الطبقات الرقيقة

الشكل (2.II) : رسم يوضح ترسيب الأغشية بطريقة الرش الكيميائي الحراري

الشكل (3.II) : رسم تخطيطي لطريقة الترسيب بواسطة الغمس ودوران الركيزة

الشكل (4.II) : رسم تخطيطي يوضح ترسيب الأغشية الرقيقة بطريقة البخار الكيميائي

الشكل (5.II) : رسم تخطيطي يوضح ترسيب الأغشية الرقيقة بطريقة التبخير

الشكل (6.II) : رسم يوضح ترسيب الأغشية بطريقة الرش المهبطي

الشكل (7.II) : رسم يوضح ترسيب الأغشية بطريقة الاقتلاع بالليزر

الشكل (8.II) : رسم تخطيطي يوضح مرحلة تدفق وتوضع الذرات على الركيزة

الشكل (9.II) : رسم تخطيطي يوضح مرحلة الالتحام

الشكل (10.II) : رسم تخطيطي يوضح مرحلة نمو الطبقات الرقيقة

الشكل (11.II) : رسم تخطيطي يوضح عائلة المستويات البلورية في شروط براغ

- الشكل (12.II) : جهاز انعراج الأشعة السينية (DRX)
- الشكل (13.II) : رسم تخطيطي يظهر إنعراج الأشعة السينية (DRX)
- الشكل (14.II) : رسم تخطيطي يوضح جهاز التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية
- الشكل (15.II) : طريقة هامش التداخل لتحديد السماكة
- الشكل (16.II) : طيف فجوة الطاقة لأكسيد الزنك النقي
- الشكل (17.II) : رسم تخطيطي يوضح تقنية المسابر الأربعة
- الشكل (18.II) : مخطط وليام صون هول
- الشكل (1.III) : الأدوات المستخدمة
- الشكل (2.III) : جهاز رذاذ الانحلال الكهربائي
- الشكل (3.III) : طيف النفاذية الضوئية لأغشية أكسيد الزنك
- الشكل (4.III) : منحنى تغيرات معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون لأغشية أكسيد الزنك النقي
- الشكل (5.III) : تحليل الإشعاع الطيفي لأغشية أكسيد الزنك ذات البعد 15سم
- الشكل (6.III) : تحليل الإشعاع الطيفي لأغشية أكسيد الزنك ذات البعد 25سم
- الشكل (7.III) : صورتين بواسطة جهاز MOP ثنائية الأبعاد لأكسيد الزنك (ZnO)

قائمة الجداول :

- الجدول (1.I) : بعض أنواع الأكاسيد الموصلة الشفافة
- الجدول (2.I) : خصائص الأكاسيد الناقلة الشفافة
- الجدول (3.I) : الفاصل الطاقي لبعض الأكاسيد الناقلة الشفافة
- الجدول (4.I) : بعض الخصائص الأساسية لأكسيد الزنك
- الجدول (5.I) : الخصائص الكهربائية لأكسيد الزنك
- الجدول (6.I) : بعض الخصائص الضوئية لأكسيد الزنك
- جدول (1.III) : نتائج تحليل الإشعاع الطيفي للعينة الأولى
- جدول (2.III) : نتائج تحليل الإشعاع الطيفي للعينة الثانية

المقدمة

في عالم يتسارع فيه البحث عن حلول مستدامة وفعالة للتحديات البيئية والطاقية، تبرز الأكاسيد الموصلة الشفافة (TCOs) كمادة واعدة تقدم إمكانيات هائلة في مجال الطاقات المتجددة، وخاصةً في تطبيقات الخلايا الكهروضوئية. هذه المواد، التي تجمع بين الشفافية العالية في المنطقة المرئية من الطيف والتوصيل الكهربائي الممتاز، تُعد حجر الزاوية في تطوير أجهزة الطاقة الشمسية الفعالة والاقتصادية .

أكسيد الزنك (ZnO) ، كأحد أبرز أفراد عائلة TCOs ، يتمتع بخصائص فريدة تجعله مرشحاً مثالياً لمثل هذه التطبيقات. بفضل فجوة النطاق الواسعة التي تقدر بحوالي 3.37 eV وطاقة الارتباط الإكسيتونية الكبيرة التي تصل إلى 60 meV ، يُظهر ZnO شفافية عالية واستقرارًا كيميائيًا وحراريًا ممتازًا، بالإضافة إلى سهولة تعديل خصائصه البنيوية والبصرية والكهربائية .

طرق ترسيب أكسيد الزنك تلعب دورًا حاسمًا في تحديد جودة وخصائص الطبقات الرقيقة المُعدة للتطبيقات الكهروضوئية. من بين الطرق المتعددة لترسيب ZnO ، تُعد تقنية الترسيب الذري الطبقي (ALD) واحدة من أكثر الطرق فعالية لإنتاج أفلام ZnO بدقة عالية وتغطية متجانسة ودرجات حرارة ترسيب منخفضة .

تُعتبر طرق مثل الترسيب الكيميائي من المحلول (CBD) ، الترسيب بالرش الكيميائي (CVD) ، والترسيب بالدوران (spin coating) من الطرق الشائعة لتحضير أفلام ZnO، والتي تُظهر نتائج واعدة في تطبيقات الخلايا الشمسية .

الهدف من الدراسة هو تحضير طبقة رقيقة من أكسيد الزنك باستخدام تقنيات ترسيب متقدمة وتقييم أدائها في الخلايا الكهروضوئية. سيتم التركيز على تحسين الخصائص البصرية والكهربائية للطبقة الرقيقة من ZnO لتعزيز كفاءة تحويل الطاقة الشمسية .

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

الفصل الأول: سنتعرف على الأكاسيد الموصلة الشفافة ونشرح خصائصها الكهربائية والضوئية بصفة عامة وبعض استخداماتها، ثم نتطرق إلى أكسيد الزنك بصفة خاصة من خلال التعرف على خصائصه الفيزيائية وأهم استخداماته.

الفصل الثاني: ستنم دراسة مفهوم الطبقات الرقيقة وطرق تصنيعها ومبادئ الترسيب وبعض الطرق الفيزيائية المستخدمة لتحليل ودراسة خواص الطبقات الرقيقة.

الفصل الثالث: فيه سنعرض أهم النتائج التجريبية المحصل عليها والتي تخص الخصائص البصرية لأغشية أكسيد الزنك بهدف تحضير أغشية رقيقة لتطبيقات الكهروضوئية.

الفصل الأول :

عموميات حول الأكاسيد الموصلة الشفافة

تمهيد :

اهتم الباحثون بالأكاسيد الموصلة الشفافة (TCO) نظراً لأهميتها، حيث تعتبر من أهم أشباه الموصلات وهي اختصار للمصطلح (Transparent Conducteur Oxyde) ، وبعد صقلها بالعناصر المناسبة يصبح لها العديد من الخصائص منها: الخصائص الكهربائية والضوئية .

الأكاسيد الموصلة الشفافة هي أشباه موصلات معقدة تتكون من معدن متحد مع الأكسجين، على سبيل المثال : ZnO ، NiO ، CuO ، حيث خصائصها تميزها عن غيرها من المواد من حيث التنوع والوفرة والبنية البلورية [1].

الهدف الرئيسي من هذا الفصل هو تقديم نظرة عامة على أحد الأكاسيد الموصلة الشفافة وتطبيقاته الرئيسية وخصائصه الرئيسية، وهو أكسيد الزنك.

1.1. مفهوم الأكاسيد الموصلة الشفافة (TCO):

هي عبارة عن أشباه موصلات مركبة تتكون من اتحاد معدن مع الأوكسجين [2]، وهي أكاسيد معادن يرمز لها بـ $MxOy$ حيث يمثل M الرمز الكيميائي للمعدن ويمثل O الرمز الكيميائي للأوكسجين، x و y أعداد طبيعية، ورغم وجود فجوة الطاقة الكبيرة، فإن نطاق التوصيل يمتلئ بالإلكترونات الحرة بسبب الشواغر في الأكسجين الناتجة عن اختلال التوازن الكيميائي [3].

تصنف الأكاسيد الموصلة الشفافة إلى نوعين p و n كما هو موضح في الجدول (1.1):

- **النوع p:** في هذا النوع تكون الفجوات هي الناقلات المهيمنة، وقد تزايدت الأبحاث في المرحلة الأخيرة للحصول على هذه الأكاسيد الحاملة للشفافة من نوع p [4].
- **النوع n:** ويتميز هذا النوع بأن معظم حاملات الشحنة هي إلكترونات ، حيث أغلب الأكاسيد الموصلة الشفافة تكون من هذا النوع n ، ولذلك فهي الأكثر شيوعاً في التطبيقات العملية [4].

الجدول (1.1) : بعض أنواع الأكاسيد الموصلة الشفافة [5]

TCO من نوع n	TCO من نوع p
ZnO	CuO
SnO ₂	NiO
Ag ₂ O	PdO

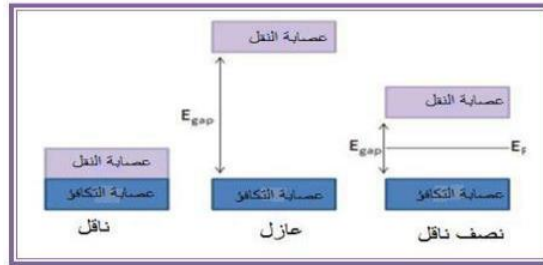
2.1.I. شرح بنية الأكسيد الشفافة الناقلة :

تُصنّف المواد في الطبيعة إلى ثلاثة أنواع (موصلات وعوازل وأشباه موصلات) وفقاً لحجم فجوة الطاقة الخاصة بها [6].

● **موصلات :** يتداخل نطاق التكافؤ مع نطاق التوصيل، ومن ثم لا توجد فجوة طاقة في المواد الموصلة ، وهذا ما يسمح للإلكترونات بالتحرك بحرية.

● **عوازل :** ينفصل نطاق التكافؤ عن نطاق التوصيل بفجوة طاقة كبيرة تبلغ حوالي 5eV ، وهو ما يسمح للإلكترونات في نطاق التكافؤ بالتحرك بحرية.

● **أشباه موصلات :** يوجد بها شريط مانع ، يسمى بفجوة الطاقة أو الفاصل الطاقوي، والذي يفصل نطاق النقل عن النطاق التكافؤ.



الشكل (1.I) : مخطط حزم الطاقة للمواد الناقلة وأشباه النواقل والعوازل

الأكاسيد الناقلة الشفافة هي أشباه موصلات ذات فجوة طاقة أعلى من فولت ولا تمتص الفوتونات ذات الطاقات الأقل من فجوة الطاقة، وبالتالي تتمتع بشفافية عالية تزيد عن 80% وناقليتها في حدود $10^{-3}(\Omega.cm)$ [7]، حيث لا يمكن للإلكترونات أن تتحرك إلا عن طريق نقل الطاقة وتعتبر عازلة في درجة حرارة الغرفة لأن حلقة النقل فارغة [8].

3. 1.I. الخصائص الكهربائية والضوئية للأكاسيد الشفافة الناقلة :

تتمتع الأكاسيد الناقلة بخصائص كهربائية مهما ، وهذا ما جعل منها محل للدراسة للباحثين للاستفادة منها بشكل جيد و تطويرها، حيث تتمتع بشفافيتها الجيدة للضوء و ناقليتها الكهربائية و تقنية الترسيب [9].

يوضح الجدول (I.2) الخصائص الكهربائية والخصائص الضوئية للأكاسيد الناقلة الشفافة الأفضل في حدود المقادير ، حيث معامل الامتصاص مقاس بالنسبة للطيف المرئي [10].

الجدول (2.I) : خصائص الأكاسيد الناقلة الشفافة [10]

المقادير	الخصائص
أقل من $(1.0 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm})$	المقاومية ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)
10 Ω	المقاومية السطحية Rc (Ω)
أكبر من $(1.0 \times 10^{20} \text{cm}^{-3})$	كثافة حاملات الشحنة (cm^{-3})
أقل من $(11.0 \times 10^{-4} \text{cm}^{-1})$	معامل الامتصاص α (cm^{-1})
(3.1-4)Eg	الفاصل الطاقي Eg
أكبر من (90%)	النفاذية (T)
حوالي $(\text{cm}^2/\text{s} \cdot \text{V})$	الحركية μ ($\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)

1.3.1.I. الخصائص الكهربائية :

تمت تصنيف هذه الأكاسيد على حسب خواصها الكهربائية بعد ان تم دراستها لأول مرة من قبل الباحثين سنة 1970 ونذكر من وخواصها في ما يلي.

1.1.3.1.I. الفاصل الطاقي :

تتميز الأكاسيد الناقلة الشفافة بشريط ممنوع يسمى ب الفجوة الطاقة (الفاصل الطاقي) يتغير من 3eV إلى حوالي 6eV، يعتمد هذا على عدة عوامل نذكر منها طريقة الترسيب و شروط التجريبية للترسيب و نوع مركبات المحلول [11]

الجدول التالي يوضح بعض المحاليل الأكاسيد الموصلة الشفافة والفاصل الطاقي لها :

الجدول (3.I) : الفاصل الطاقي لبعض الأكاسيد الناقلة الشفافة [12]

الفاصل الطاقي Eg (eV)	الأكاسيد الموصلة الشفافة
(3.2-3.3)	ZnO
(3.6-4.2)	SnO ₂
(3.6-4)	NiO
(3-3.2)	TiO ₂

2.1.3.1.I. المقاومة السطحية :

تمتاز الأكاسيد الناقلة الشفافة بخاصية كهربائية تدعى المقاومة السطحية و تسمى أيضا بالمقاومة مربع ، حيث يتم التعبير عنها من خلال النسبة بين المقاومة ρ و سمك طبقة الأكسيد d ووحدتها (Ω) و يعبر عنها بالعلاقة التالية [13] .

$$Rc = \frac{\rho}{d} \quad (1.I)$$

بحيث :

ρ : المقاومة الكهربائية للمادة ب $(\Omega.cm)$.

d : سمك الطبقة ب (cm) .

3.1.3.1.I. الناقلية الكهربائية والمقاومية :

يمكن الوصف في الفيزياء أشباه الموصلات ذات الفصل الكبير للطاقة كنوع من خصائص الأكاسيد الموصلة الشفافة ، و الناقلية σ هي أهم مقدار لهذه الخصائص ، كما تعطى وحدتها ب $(\Omega.cm)^{-1}$ ، وبما أن هذه المواد كأشباه موصلات من نوع n فان ناقليتها تعطى بالعلاقة التالية [14] .

$$\sigma = q.n.\mu = \frac{1}{\rho} \quad (2.I)$$

بحيث :

q : الشحنة الإلكترون الأولية (C).

n : كثافة حاملات الشحنة (cm^{-3}) .

μ : حركية حاملات الشحن $(cm^2/s.V)$.

ρ : المقاومة ، وهي عبارة عن مقلوب الناقلية وتعطى وحدتها ب $(\Omega.cm)$.

4.1.3.1.I. الحركية الكهربائية :

وتعد حركية حاملات الشحنة عاملا مهما يؤثر على الناقلية الكهربائية، حيث تؤدي زيادة هذا العامل إلى تحسين الخواص الكهربائية للأكاسيد الشفافة الموصلة. وتعتمد الحركية أيضًا بشكل أساسي على آليات انتشار حاملات الشحنة في الشبكة البلورية للمادة، وهذه الآليات تحد من الحركية لأنه بشكل عام كلما زاد تركيز حاملات الشحنة، انخفضت القيمة الحركية بسبب التصادمات، وبالتالي انخفضت الموصلية وفقًا لذلك [15].

كما تعطى وحدتها بـ (cm²/V.s)، ويمكن تعريف الحركة الكهربائية وفق للعلاقة التالية :

$$\mu = \frac{q \cdot L}{m^* \cdot V_f} = \frac{q \cdot L}{m^* \cdot V_f} \quad (3.I)$$

بحيث :

q: الشحنة الكهربائية العنصرية للإلكترون.

τ : زمن الاسترخاء (زمن تصادمين متتاليين للإلكترون).

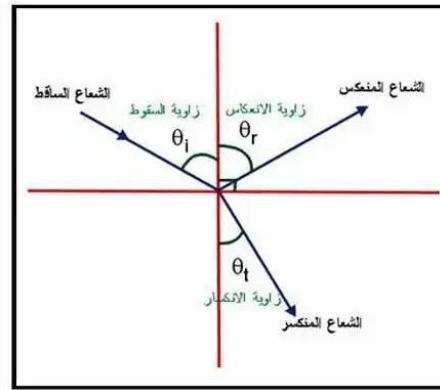
m^* : الكتلة الفعالة للإلكترون.

fV: سرعة فرمي للإلكترون.

L: المسار المتوسط الحر بين التصادمين.

4.1.I. الخصائص الضوئية للأكاسيد الشفافة الناقلة :

دراسة الخصائص البصرية للشرائح تعتمد على مجموعة من الوسائط المهمة التي تساعد في فهم تغيرات أطراف هذه الوسائط بالنسبة لطول الموجة وتعتبر هذه الخصائص ذات أهمية كبيرة في مجموعة متنوعة من المجالات الصناعية والبحثية و تتمثل الخصائص الضوئية في 3 ظواهر أساسية هي الامتصاص والانعكاس والنفوذ وكذلك عامل الامتصاص α كما هو موضح في الشكل (2.I) [16].



الشكل (2.I) : ظواهر الثلاثة الانعكاس ، الامتصاص و النفوذ

● الامتصاصية (A):

هي النسبة بين شدة الشعاع الضوئي الممتص (I_A) و شدة الشعاع الضوئي الوارد (I_0) ، ويرمز لها بـ A ويعبر عنها بالعلاقة التالية [17]:

$$A = \frac{I_A}{I_0} \quad (4.I)$$

حيث :

IA: شدة الشعاع الضوئي الممتص.

I₀: شدة الشعاع الضوئي الوارد.

A: الامتصاصية.

● النفاذية (T):

النفاذية هي النسبة بين شدة الضوء النافذ (I_T) وشدة الضوء الساقط (I₀) ، ويرمز للنفاذية بالرمز T وتعطى بالعلاقة التالية [17]:

$$T = \frac{I_T}{I_0} \quad (5.I)$$

حيث :

I_T: شدة الاشعاع النافذ وحدثها الامبير (A).I₀: شدة الاشعاع الساقط (A).

T: النفاذية .

● الانعكاسية (R):

الانعكاسية هي شدة الضوء المنعكس على السطح (I_R) على شدة الضوء الوارد (I₀) ، رمزها (R) ويعبر عنها بالعلاقة التالية [17] :

$$R = \frac{I_R}{I_0} \quad (6.I)$$

حيث :

I_R: شدة الشعاع المنعكس على السطح.I₀: شدة الضوء الوارد .

R: الانعكاسية .

5.1.I تطبيقات الأكاسيد الموصلة الشفافة :

تتنوع مجالات استخدام الأكاسيد الموصلة الشفافة على نطاق واسع في التطبيقات التي تسعى إلى الجمع بين الشفافية البصرية والتوصيل الكهربائي، من بين هذه التطبيقات نذكر ما يلي (الشكل 3.I) [18]:

- الخلايا الشمسية
- الشاشات المسطحة
- صمامات باعثة للضوء
- نوافذ ذكية
- نوافذ عاكسة للحرارة



الشكل (3.I) : بعض تطبيقات أكاسيد الناقلة الشفافة [18]

2.I. أكسيد الزنك :**1.2.I مفهوم أكسيد الزنك:**

هو مركب كيميائي لا عضوي صيغته (ZnO) ذو لون أبيض وعند تسخينه يميل إلى الأصفر، يمتلك العديد من التطبيقات الصناعية ويكون على شكل بلورة بيضاء سداسية أو مسحوق أبيض (الشكل 4.I) أو على شكل شرائح رقيقة، ذو جودة عالية، لا طعم له، لا يذوب في الماء [19].

ويعتبر أكسيد الزنك نصف ناقل، له شفافية عالية في مجال الأشعاعات المرئية وتحت الحمراء. ينتمي إلى المجموعة (II - VI) في الجدول الدوري و عادة ما يكون من النوع n ، يعتبر أكسيد الزنك مادة غير سامة وغير ملوثة ومتوفر [2].



الشكل (4.I) : مسحوق أكسيد الزنك

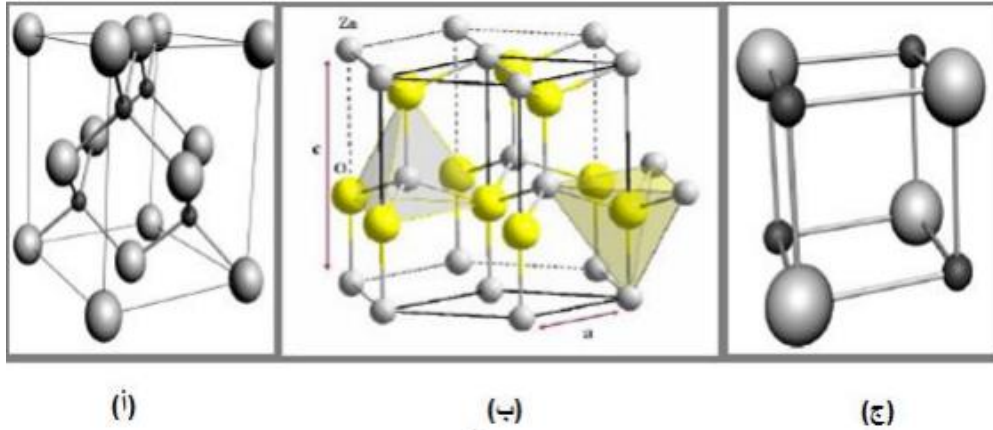
يوضح الجدول (5.I) بعض الخصائص الأساسية لأكسيد الزنك :

الجدول (4.I) : بعض الخصائص الأساسية لأكسيد الزنك [20,21]

خصائص أكسيد الزنك	
المظهر	صلب-أبيض
الرائحة	عديم الرائحة
الكتلة المولية	81.38g/mol
الفجوة	3.3ev
الشكل الهندسي	رباعي السطوح
الكثافة	5.606g/cm ³
درجة الانصهار	1975C°
ثوابت الشبكة	a=3.25Å C=82.5Å°
معامل الانكسار	2.0041
طاقة الربط	60-80meV

2.2.I. الخصائص البلورية :

أكسيد الزنك شبه ناقل ثنائي من مجموعة (II-VI) ، كما ان طبيعتها الأيونية وضعتها في واجهة أشباه الموصلات الأيونية والتساهمية. يتبلور ZnO على ثلاثة أشكال : "Wurtzite" ، " Zinc blende " ، " Rocksalt" كما هو موضح تخطيطياً في الشكل (2.I).



الشكل (5.I) : التركيب البلوري لأكسيد الزنك : (أ) هيكل ركانز الزنك (Zinc blende) ،

(ب) هيكل Wurtzite (سداسي) ، (ج) هيكل Rock salt (ملح صخري) .

في الحالة العادية ، تكون البنية السداسية على استقرار أكثر تيرموديناميكيا وتنتمي الى مجموعة الفضاء mcP63 ، كما يتم الحصول على "هيكل مزيج الزنك" في حالة نمو الركائز فوق مساند ذات تماثل مكعبي ، أما في الأخير تحصل على "هيكل Rocksalt" [22].

غالبا ما يتبلور أكسيد الزنك على شكل هيكل سداسي Wurtzite نظرا لاستقراره الجيد (الشكل ب) ، كما يحتوي هيكل Wurtzite على خلية أولية ذات ثوابت a و c و u حيث تحسب u على الشكل التالي :

$$u = \frac{1}{4} + \frac{c^2}{3a^2} \dots\dots\dots (7.I)$$

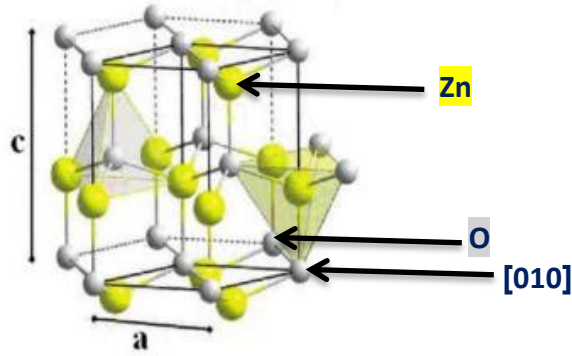
u : هو معامل داخلي (بلا أبعاد) يحدد موضع ذرات الأكسجين في الخلية البدائية حسب الاتجاه [010][23].

وتعطي النسبة $c/a = 1.633$ [24].

تتموقع ذرات الزنك والأكسجين في الخلية كالتالي :

Zn : (0;0;0);(1/3;2/3;1/2). O : (0;0;u);(1/3;2/3;u+1/2).

بحيث : $u = 0,375$



الشكل (6.I) : توزيع ذرات الزنك والأكسجين في هيكل السداسي Wurtzite [25]

نلاحظ أن أيونات الزنك تتمركز في منتصف المواقع الخاليا لرباعي السطوح ، بينما أيونات الأكسجين مرتبة في الشبكة سداسية مدمجة ، حيث يحيط بكل ذرة زنك أربع ذرات أكسجين تناسقياً [26].

تمثل ذرات الأكسجين والزنك %40 من حجم البلورة ، وفي بعض الحالات يمكن لذرات الزنك أن تتناسب مع هذه الأماكن ، أي مواقع في الخاليا ، وهي ميزة تساعد في تفسير بعض خصائص الأكاسيد، بينما المتعلقة بأشباه الموصلات والظواهر البصرية والبلورية...[27].

3.2.I الخصائص الكهربائية :

في الحالة المثالية يعتبر أكسيد الزنك عازلاً كهربائياً ، ولكن في ظل وجود عيوب شبكية مثل ثغوب الأكسجين وذرات الزنك المدمجة والشوائب ، يكون على الأغلب نصف ناقل من النوع n وكما أنه يصنف من أصناف النواقل ، حيث الفجوة الطاقية الواسعة له هي : $E_g=3.37\text{eV}$ وهي الطاقة اللازمة للاكترونات للانتقال من نطاق التكافؤ الى نطاق النقل في درجة حرارة الغرفة [28].

الجدول (5.I) : الخصائص الكهربائية لأكسيد الزنك [29]

n	نوع الناقلية الكهربائية
$2.2 \times 10^7 \text{ s.cm}^{-1}$	السرعة الحرارية للالكترونات
$1.5 \times 10^7 \text{ cm.s}^{-1}$	السرعة الحرارية للثغوب
مباشرة	طبيعة فجوة الطاقة الممنوعة
$0.28m_0$	الكتلة الفعالة للالكترونات
$0.6m_0$	الكتلة الفعالة للثغوب
$3.1\text{-}Ve3.4$	قيمة فجوة الطاقة الممنوعة
$10^6 \Omega.\text{cm}$	المقاومية القصوى
$3.71 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	كثافة عصابة التكافؤ
$1.16 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	كثافة عصابة النقل

4.2.I. الخصائص الضوئية :

أكسيد الزنك هو مادة شفافة مع معامل انكسار 2 [30]، ويتمتع هذا الأكسيد بخصائص بصرية جيدة في النطاق المرئي والأشعة فوق البنفسجية للطيف الكهرومغناطيسي، وله حساسية طيفية عالية في نطاق الأشعة فوق البنفسجية، ولهذا السبب تم تصنيفه على أنه يعمل كاشفاً ضوئياً في نطاق الأشعة فوق البنفسجية ويمكن التحكم في استجابتها الطيفية من خلال التحكم في الحجم عن طريق تغيير ظروف التصنيع أو إدخال الشوائب مثل أيونات المعادن الانتقالية [31].

يوضح الجدول (7.I) بعض الخصائص البصرية لأكسيد الزنك الحساسة جداً لوجود الشوائب، ويتميز أكسيد الزنك بخاصية التألق الضوئي عند تعرضه لشعاع ضوئي ذو طاقة أعلى من نطاق طاقة أكسيد الزنك، وذلك بسبب انبعاث فوتونات بطول موجي 550nm القريب من الضوء الأخضر [32].

الجدول (6.I) : بعض الخصائص الضوئية لأكسيد الزنك [33]

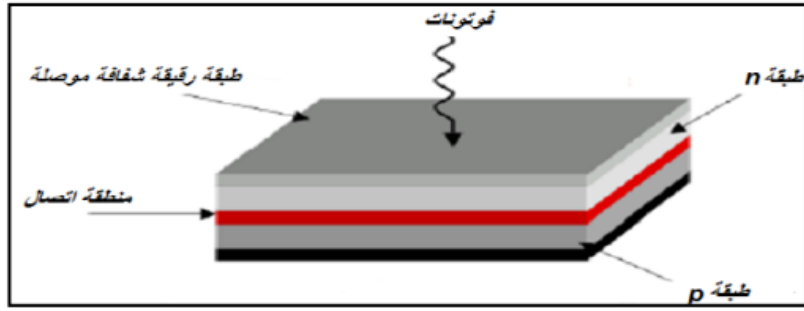
90%<	النفاذية
10^4cm^{-1}	معامل الإمتصاص
1.8-1.9	معامل الإنكسار 560nm
2.013-2.029	معامل الإنكسار 590nm

5.2.I. تطبيقات أكسيد الزنك :

يعد أكسيد الزنك من الأكاسيد التي لها خصائص مختلفة وغير مكلفة لكثرتها في الطبيعة ، حيث لهذا النوع من الأكاسيد أهمية كبيرة واستخدامات عديدة في مختلف التطبيقات والتقنيات الصناعية ، ومن بين هذه التطبيقات نذكر:

● الخلايا الشمسية :

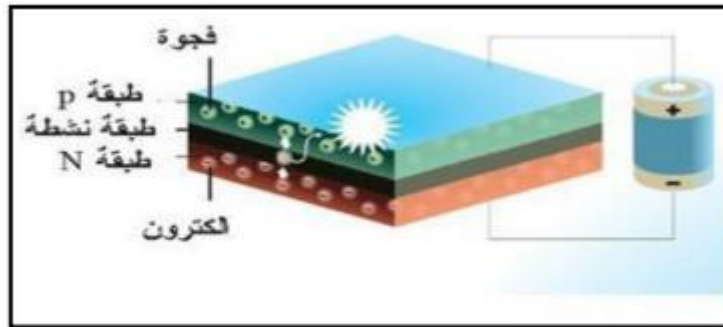
الخلايا الشمسية هي أنظمة مصنوعة من مواد شبه موصلة لها القدرة على تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء، والتي تنشأ بفعل الضوء على هذه المواد، حيث أن الضوء الساقط على هذه الخلايا تمتصه ذراتها وتقوم هذه الطاقة بتحفيز الإلكترونات الحرة بداخلها ، حيث يتم نقل إلكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل كما هو موضح في الشكل (7.I). بحيث يتحسن أداء أو كفاءة هذه الخلايا عن طريق إدخال الأغشية الرقيقة مثل أشباه الموصلات من النوع n لزيادة المساحة الفعالة وزيادة التفاعل مع الضوء ، بالإضافة إلى ذلك من خلال التكرير بالمواد يمكننا توسيع طيف امتصاص الضوء وبالتالي تحسين كفاءة هذه الخلايا [34].



الشكل (7.I) : الهيكل الأساسي للخلية الشمسية [33]

● الصمامات الباعثة للضوء :

يرمز لها برمز LED اختصاراً ل (Light Emitting Diodes) ويتكون من عدة طبقات من الأكاسيد الشفافة الموصلة، والتي يتم فيها تحويل الطاقة الكهربائية مباشرة إلى جزيئات ضوئية (فوتونات) ، ويستخدم أكسيد الزنك بشكل خاص في الثنائيات الباعثة للضوء الأزرق لأنه يحتوي على طاقة إثارة عالية تبلغ 60Vem، لأن مبدأ انبعاث الضوء في هذا LED هو نقل إلكترونات من الطبقة n والثقوب الموجودة في الطبقة p إلى الطبقة النشطة التي تصبح نشطة عند تطبيق جهد كهربائي، ومن خلالها تتصل وتصدر الضوء كما هو موضح في الشكل (8.I) [35]

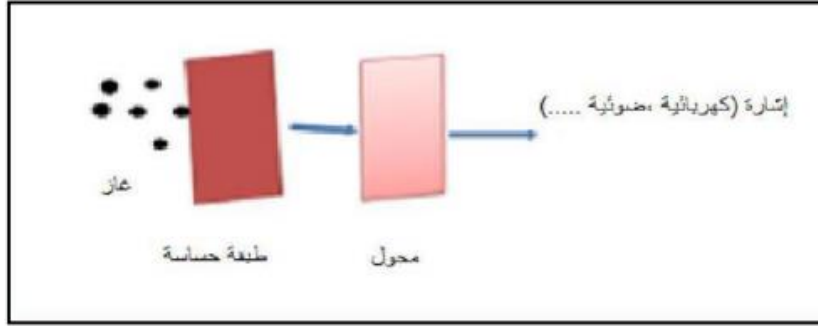


الشكل (8.I) : رسم تخطيطي LED على أساس طبقات من أصناف النواقل [33]

● حساسات الغاز :

هي أجهزة مصنوعة من أشباه الموصلات تقوم بكشف الغازات بناء على تأثير التفاعل (الغاز الصلب) وبشكل خاص امتصاص جزيئات الغاز المسال على السطح مما يؤدي إلى تغير في المقاومة الكهربائية أو الخصائص البصرية للجهاز [36-37].

بالنسبة لبعض الغازات أن تختلف المقاومة الكهربائية بشكل كبير بسبب طبيعة الغاز المحيط ، حيث تستخدم أجهزة كشف الغازات المعقدة المصنوعة من أكسيد الزنك على غاز ثنائي أكسيد النيترون و أول أكسيد الكربون [38] كما هو موضح في الشكل :



الشكل(9.1) : مبدأ عمل حساسات الغاز [39]

الخلاصة :

تم في هذا الفصل إجراء دراسة عامة على الأكاسيد الموصلة الشفافة، وهي مواد ذات أهمية كبيرة في التكنولوجيا الحديثة، وتحديد خصائصها الكهربائية والضوئية الرئيسية، ومن ثم مناقشة ناقليتها الكهربائية وكذلك فجوتها الطاقوية وتطبيقاتها في مختلف المجالات. ثم انتقل تطرقنا إلى موضوع بحثنا وهو أكسيد الزنك ، حيث ناقشنا خصائصه (البلورية والكهربائية ، الضوئية) وكذلك تطبيقاته على نطاق واسع.

مراجع الفصل الأول :

مراجع باللغة العربية :

1. ر. عبد هلا منيف، ر. عبد الوهاب اسماعيل، 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 تكريت، العراق، 2013.
2. ر. عبد الله منيف، ر. عبد الوهاب إسماعيل، ص. جاسم محمد، "دراسة الخواص التركيبية والبصرية لغشاء أكسيد الزنك الرقيق نانوي التركيب بطريقة الترسيب بالحمام الكيميائي"، (2012).
3. م. بن خالد، " دراسة بعض الخواص البصرية الأغشية لكبريتيد الرصاص المحضر بطريقة التحلل الكيميائي الحراري"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 30. ، العدد 6 ، (2012).
10. م. عبد العالي، "ترسيب الأغشية الرقيقة لأكسيد النحاس ($Cu_x O_y$) المحضرة بطريقة التريز البلازمي المغناطيسي المستمر" ، ماستر أكاديمي ، جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي ، 2019.
16. خ. بن ساسي ، ن . مبروكي دراسة تأثير مصدر النيكل على الخصائص البصرية و الكهربائية لطبقات أكسيد النيكل، مذكرة ماستر اكاديمي جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2017.
17. ش. لعشاش " تحضير و دراسة الخصائص الفيزيائية لأكسيد الزنك المطعم بالكوبالت بتقنية الطرد المركزي"، ماستر أكاديمي، جامعة محمد بوضيلف المسيلة (2020).
18. س ربيعي، أ طيار، تحضير ودراسة تأثير درجة الحرارة على الخصائص الضوئية لشرائح الزنك المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري"، مذكرة ماستر ، جامعة الوادي، (2020).
33. إ.قلاعي، "تحضير وتوصيف أغشية أكسيد الزنك الرقيقة النقية والمطعمة بالحديد بتقنية الرش بالإنحلال الحراري وأغشية أكسيد الزنك النانوية بالطريقة الكيميائية"، مذكرة ماستر ، جامعة بسكرة ، (2021).

مراجع باللغة الأجنبية :

4. A. B, Azzoum," Etude des couche minces du monoxyde nickel NiO", Mémoire de Magister, Université d'Oran, (2014).
5. A. Douayar," Contribution à l'étude des propriétés structurales, optiques et électriques des couches minces de l'oxyde de zinc (ZnO) dopé (fluor, indium, aluminium et néodyme)", These de doctorat, Université Mohammed V-AGDAL, (2013).

6. L. Youssef, "Elaboration Et Caracterisation Des Couches Minces Conductrices Et Transparentes Pour Les Cellules Solaire De Type Tco/Zns/Cis",Mémoire De Magister ,Université Des Sciences Et Technologie D'oran, (2011).
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. F. Ynineb," Contribution à l'élaboration de couches minces d'oxydes transparents conducteurs (TCO)", Mémoire du magister, Université Mentouri .Constantine, (2010).
11. N. Boubrik," Comparaison des effets antireflets du SnO 2 et ZnO utilisés comme couches antireflet sur les propriétés de la cellule solaire à homo-jonction", Mémoire du magister, Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, (2013).
12. A.A. Yadav, E. U. Masumdar, A. V. Moholkar, M. Neumann- Spallart, K.Y. Rajpure, C.H. Electrical structural and optical properties of SnO₂ Sub > 2/Sub >:F thin films effect of the substrate temperature, Journal of Alloys and Compounds, Vol.488, No.1, p.350-355 2009.
13. A. Abdlekrim, "Optimisation des conditions d'élaboration des couches minces d'oxyde d'étain SnO₂ par spray", thèse de doctorat, Université Khider - Biskra, (2018).
14. A. Ababou," Etude des différentes propriétés électronique et optiques des couches minces des oxydes transparents conducteurs (TCO) de type délafossite", thèse de doctorat, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbés, (2021).
15. R. Dixit, S. Gupta, P. Kumar, S. Sikarwar, B.C. Yadav, "Preparation and Properties of Transparent Conducting Oxide (TCOs) Thin Films: A Review", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology(2017), Vol. 6, Issue 2, p 1944-1959.
19. Li Q, Chen S, Jiang W (2007). "Durability of nano ZnO antibacterial cotton fabric to sweat". Journal of Applied Polymer Science. 103.

20. Introduction to Nanomaterial, H. Hofmann Powder Technology Laboration IMX ,Version 1 Spte 2009
21. P.Uikey, Dr.K.Vishwakarma," Review of Zinc oxide (ZnO) nanoparticles Applications and properties", international journal of emerging technology in computer science and electronics(IJETCSE) , vol.21, no. 2, April 2016.
22. R.A.T.P.Rupasinghe,"Dissolution and aggregation of Zinc oxide nanoparticels at circumneutral PH A study of size effects the presence and absence of citric Acid", the university of Iowa, A thesis submitted in partical fulfillment of the requirements for the Master of science, july2011.
23. Fang-Guang Kuang, Xiao-Yu Kuang, Shu-Ying Kang, Ming-Min Zhong, Xiao-Wei Sun, Materials Science in Semiconductor Processing, 31 (2015) 700.
24. A. Boulassel, " Synthèse par Co précipitation et caractérisation des nano poudres de l'oxyde de zinc .Etude de l'effet de dopage et de la température de calcination "; thèse de magister, univ de Jijel, Algérie, (2012) p1 –p10.
25. A. Mosbah," ELABORATION ET CARACTERISATION DE COUCHES MINCES D'OXYDE DE ZINC" thèse de doctorat, univ mentouri Constantine, Algérie, (2009) P 1- 34-35
26. H. Guendouz , " Elaboration et caractérisation des couches minces d'oxyde de zinc Co-dopé aluminium-étain par la technique sol-gel spin casting"; thèse de doctorat, univ de Jijel, Algérie, (2019), p4-7.
27. BENELMADJAT HANNANE «Elaboration et caractérisation des composites dopés par des agrégats nanométriques de semi conducteurs». Mémoire de Magister. Université mentouri-constantine, 2007.
28. A.F. Kohn, G. Ceder, D. Morgon, C. G. Van de Walle, Phys. Rev.B., 61 (2000) 15019.
29. P. SAGAR, M. KUMAR, R. M. MEHRA, "Electrical and Optical properties of sol-gel derived ZnO : Al thin films", Material Science-Poland, vol. 23, no. 3, P. 685, 2005.

30. L. Herissi, Élaboration et caractérisation de couches minces d'oxydes métalliques destinées à des applications optoélectroniques, Thèse de Doctorat en sciences, Université Larbi Ben M'hidi -Oum El Bouaghi, (2016).
31. Laabidi Herissi, thèse de Magister, université Larbi Ben M'Hidi – Oum El Bouaghi (2008).
32. A. RAJAN, H. K. YADAV, V. GUPTA, M. TOMAR, " Fast response ultra-violet photodetectors based on Sol gel Sderived Gadoped ZnO" Procedia Engineering, 94, 44 – 51, 2014.
34. B. Amrani, Thésede magister, universitédes science et de la technologie d'Oran, Algérie (2003).
35. A. Douayar, "Contribution A L'etude Des Proprietes Structurales, Optiques Et Electriques Des Couches Minces De L'oxyde De Zinc (Zno) Dope (Fluor, Indium, Aluminium Et Neodyme) "These De Doctorat, Universite Mohammed V - Agdal, (2013).
36. H. Sefardjella, " Propriétés Opto-Electriques Des Films Minces Du Dioxyde D'étain", These De Doctort, Université 20 Aout 1955- Skikda, (2015).
37. K. Ramamoorthy, M. Arivanandhan, K. Sankaranarayanan, C. Sanjeeviraja, "Materials Chemistry And Physics", Vol 85, P 257, (2004).
38. J. X. Wang, X. W. Sun, Y. Yang, Y. C. Lee, O. K. Tan, L. Vayssieres, Nanotechnology, Vol 17, (2006).
39. 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).

الفصل الثاني :

طرق ترسيب الأغشية الرقيقة وتقنيات المعاينة

تمهيد :

تعد تكنولوجيا الأغشية الرقيقة من أهم الإسهامات في تطوير التكنولوجيا بشكل عام وأشبه الموصلات بشكل خاص، وقد تطورت طرق تصنيعها نتيجة للتطورات العلمية، والتي أدت إلى دقة أكبر في تحديد سماكة الطبقات وتوحيدها، مما ساعد على التوصل إلى بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية للمواد [1].

في هذا الفصل، ستتم دراسة مفهوم الطبقات الرقيقة وطرق تصنيعها ومبادئ الترسيب وبعض الطرق الفيزيائية المستخدمة لتحليل ودراسة خواص الطبقات الرقيقة.

1.II. مفهوم الطبقات الرقيقة :

يستخدم مصطلح الطبقات الرقيقة لوصف طبقة أو طبقات عديدة من ذرات المادة التي لا يتجاوز سمكها واحد ميكرومتر أو عدة نانومترات [2]، ناتجة عن تكاثف الذرات أو الجزيئات على ركيزة (قاعدة صلبة)، وتكون من الزجاج أو السيليكون أو الألومنيوم، حسب طبيعة الدراسة [3].

يتمثل الفرق الأساسي بين المواد في الحالة الصلبة وتلك الموجودة في حالة الأغشية الرقيقة في أن المواد، في الحالة الصلبة تلعب دور الحدود (الأسطح) بشكل عام في خواصها الفيزيائية، أما في حالة الأغشية الرقيقة فالعكس هو الصحيح: تأثير السطح على الخواص الفيزيائية هو السائد. أما الميزة الأساسية الثانية للأغشية الرقيقة هي أنها دائماً ما يتم ترسيبها على ركيزة مهما كانت طريقة تحضيرها. لذلك يجب مراعاة أهمية تكوين الركيزة في التأثير على الخواص التركيبية للأغشية الرقيقة [4].

2.II. مبدأ ترسيب الطبقات الرقيقة :

لترسيب طبقة رقيق على سطح ركيزة صلبة، يجب أن تمر جسيمات المادة المكونة للغشاء الرقيق عبر وسط نقل ويجب أن يكون هذا الوسط على اتصال مباشر مع الركيزة، إذ بمجرد وصول الجسيمات لسطح الركيزة جزء منها يتمسك بالسطح من خلال تفاعل كيميائي معها [5]. يمكن أن تكون هذه الجسيمات أيونات أو جزيئات ويمكن أن تكون ذرات أيضاً. ويمكن أن يكون وسط النقل صلباً أو سائلاً أو غازياً أو مفرغاً من الهواء.

أ. **وسط صلب :** في هذه الحالة، تكون الركيزة على تلامس مع المادة المترسبة، ولكن الجسيمات فقط تنتشر على الركيزة لتكوين طبقة رقيقة. وغالباً ما يكون من الصعب جداً الحصول على طبقة رقيقة عن طريق التلامس بين الجسيمات [6].

ب. **وسط سائل :** يسهل استخدام هذه الطريقة نظراً لتنوع طرق الترسيب المتاحة، كمثال على هذا

نذكر هنا طريقة الترسيب بالحمام الكيميائي (CBD) وطريقة هلام- سائل (SOL-GEL) [7].

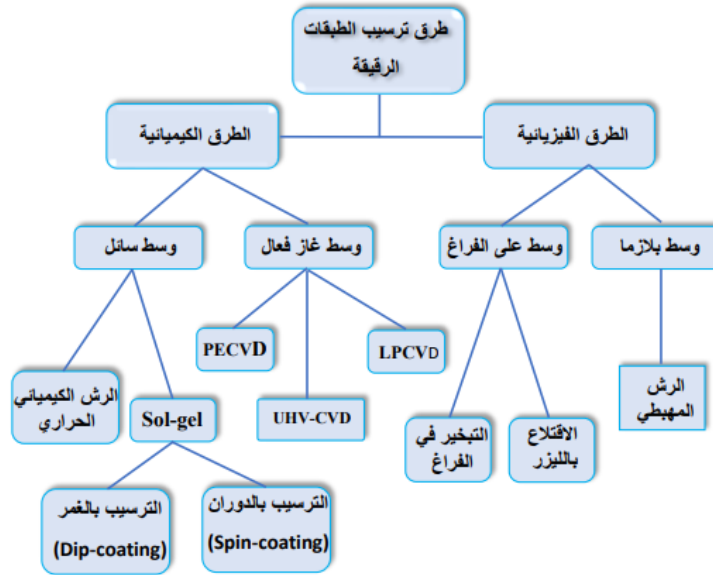
ت. **وسط غازي أو فراغ :** يعتبر هذا الوسط الأكثر استخداماً في مختلف طرق الترسيب مثل الترسيب

الكيميائي للأبخرة (CVD)، ويختلف الوسط الغازي عن وسط الفراغ في قيمة متوسط المسار

الحر (المسار بين تصادمين) [8]

3.II. طرق ترسيب الطبقات الرقيقة :

نظرًا لتنوع تطبيقات مواد الترسيب، تتنوع أيضًا تقنيات ترسيب الأغشية الرقيقة ويمكن تقسيمها إلى فئتين من طرق إنتاج الأغشية الرقيقة: الطرق الفيزيائية والكيميائية [9].



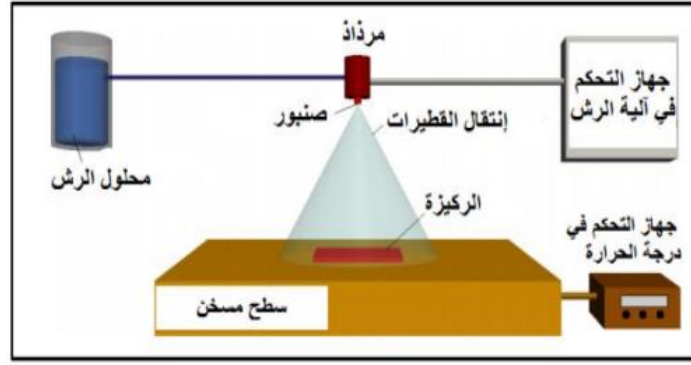
الشكل (1.II) : طرق ترسيب الطبقات الرقيقة [9]

1.3.II. الطرق الكيميائية :

1.1.3.II. طريقة الرش الكيميائي الحراري :

هذه التقنية هي طريقة كيميائية وقد تم تطويرها في الستينيات من القرن الماضي بسبب الحاجة الملحة لطريقة أرخص لتصنيع أغشية رقيقة ذات مساحة كبيرة للصناعة الكهروضوئية، وكان أول الباحثين الذين استخدموا هذه الطريقة في عام 1959 (HOTEL و AUGER)، عندما قاموا بتصنيع أغشية رقيقة من النحاس الأسود على قاعدة من الألومنيوم كسطح انتقائي على قاعدة من الألومنيوم [10].

وهي تقنية تعتمد على رش محلول يحتوي على العناصر المرغوبة من مركب على شكل أملاح منصهرة تتحلل على ركيزة ساخنة لتكوين طبقة صلبة (شريحة) مع مادة الركيزة مع تفاعل المواد الكيميائية، حتى نقطة التحلل الكيميائي للمادة باستخدام غاز معين على شكل رذاذ (الرش)، كما هو موضح في الشكل (2.II).



الشكل(2.II): رسم يوضح ترسيب الأغشية بطريقة الرش الكيميائي الحراري [11]

2.1.3.II. تقنية المحلول الكيميائي (sol-gel) :

تعد هذه الطريقة واحدة من أكثر الطرق شيوعاً واقتصادية لإنتاج الأغشية وتتضمن إذابة المواد المتفاعلة في الكحول لتكوين محلول [12]، حيث تُستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع لأنها تتفوق على الطرق الأخرى [13]. وهناك طريقتان لتشكيل الأغشية الرقيقة: طريقة الغمس وطريقة اللف المركزي.

● الترسيب بالغمس (Dip-coating) :

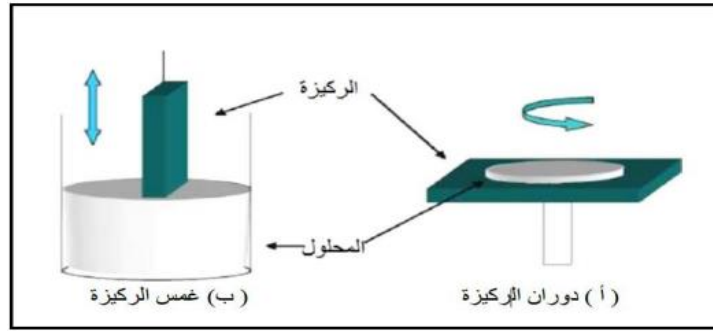
وقد درس الباحثين (Scherer و Brinker) العملية الفيزيائية (الترسيب بالغمس) على نطاق واسع، ويتمثل المبدأ في غمر الركيزة في محلول وسحبها عند درجة حرارة ثابتة وبمعدل ثابت دون اهتزاز، حيث هناك ثلاث خطوات أساسية: غمر الركيزة، سحب الركيزة وتبخر المركبات المتطايرة. يتم تحديد سمك الطبقة الرقيقة من خلال معدل السحب والمحلول الذي يتم غمرها فيه.

وتتمثل مزايا هذه الطريقة في إمكانية التحكم في معدل التطعيم والحصول على طبقات رقيقة وعالية الجودة لأن العملية يمكن تنفيذها في درجات حرارة منخفضة؛ أما العيوب فهي ارتفاع تكلفة المواد الخام وفقدان المحلول بسبب تحضير كميات كبيرة واستخدام كميات صغيرة [14].

● الترسيب بالطرد المركزي (pinS-coating) :

في هذه الطريقة، يتم إسقاط محلول الهلامي قطرة بقطرة بينما يتم تدوير الركيزة بسرعة عالية، بحيث يتم تشتيت مادة الترسيب على الركيزة بواسطة قوة الطرد المركزي ويمكن ضبط سمك الطبقة من خلال التحكم في سرعة الدوران والتسارع ولزوجة محلول الهلام.

تتحكم طريقة الترسيب بالطرد المركزي في سرعة الدوران والتسارع ولزوجة الهلام في كلتا الحالتين، حيث يتبخر المذيب بسرعة كبيرة. في كلتا الطريقتين هي نفسها: تتم معالجة الطبقة بالحرارة لإزالة المذيب تماماً، ويتمثل الدور الرئيسي لهذه المعالجة في تقليل العيوب البلورية وتحسين خصائص الأغشية من حيث النفاذية والتبلور [15].



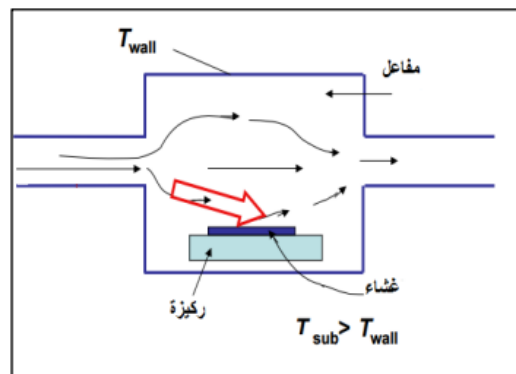
الشكل (3.II) : رسم تخطيطي لطريقة الترسيب بواسطة الغمس ودوران الركيزة [15]

3.1.3.II. الترسيب الكيميائي للأبخرة (CVD) :

تتضمن هذه الطريقة تبخير مادة من مركب متطاير (Volatile Compound) للحصول على طبقة رقيقة نقية من المعادن وأشباه النواقل والعوازل [16]، وتفاعل بخار المادة مع غاز أو سائل أو بخار آخر على القاعدة التي يراد ترسيب الطبقة الرقيقة عليها، حيث يؤدي التفاعل إلى ترسيب نواتج غير متطايرة تدريجياً (ذرة بذرة) على القاعدة، مكونة طبقة رقيقة إلى [17].

ولأن الاحتياجات الصناعية تفضل درجات حرارة منخفضة ، لذا تحتاج هذه الطريقة بعض التحسينات لتخفيض درجة الحرارة نذكر منها :

- الترسيب الكيميائي للأبخرة بواسطة البلازما (PACVD).
- الترسيب الكيميائي للأبخرة تحت ضغط منخفض (LPCVD).
- الترسيب الكيميائي للأبخرة في الفراغ العالي (UHV-CVD).



الشكل (4.II) : رسم تخطيطي يوضح ترسيب الأغشية الرقيقة بطريقة البخار الكيميائي [18]

II.2.3. الطرق الفيزيائية :

يمكن استخدام الطرق الفيزيائية لترسيب مجموعة متنوعة من المواد، بما في ذلك أكاسيد الناقل الشفافة ، وتوجد عدة طرق نذكر منها :

II.2.3.1. الترسيب الفيزيائي للأبخرة (PVD) :

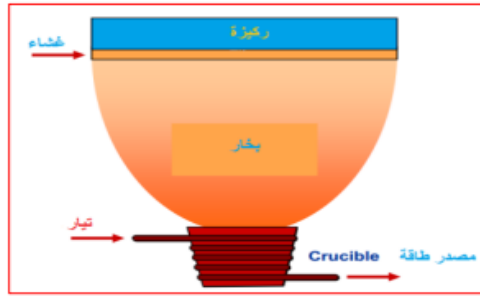
تعمل هذه التقنية من خلال عملية التبخير الحراري للمواد تحت ضغط منخفض ولها العديد من المزايا مقارنةً بطرق الترسيب بالبخار الكيميائي (CVD)، وتعتبر تقنية غير ملوثة، كما أن الطبقات المترسبة تكون كثيفة ويمكن ملاحظتها بسهولة.

II.2.3.2. بعض الأمثلة عن الترسيب الفيزيائي للأبخرة (PVD) :

من بين طرق الترسيب بالبخار الفيزيائي الأكثر استخداماً: طريقة التبخير تحت الفراغ، الرش المهبطي [19]، الاقتلاع بالليزر.

أ- التبخير الحراري في الفراغ:

في هذه الطريقة توضع المادة المراد تبخيرها في حوض ويتم تحضير الغشاء تحت ضغط منخفض للغاية، أقل من (10^{-2} Torr) ويصل إلى (10^{-9} Torr) في بعض الأحيان. يعتمد هذا الضغط على المادة المستخدمة في تصنيع الغشاء، ويتم تبخير المادة على القاعدة لتشكيل غشاء رقيق، والغشاء الرقيق هو نتيجة تسخين المادة إلى درجة انصهارها عن طريق تطبيق تيار عالي الكثافة، وهذه الطريقة مناسبة لمعظم المعادن وأشباه الموصلات [20].



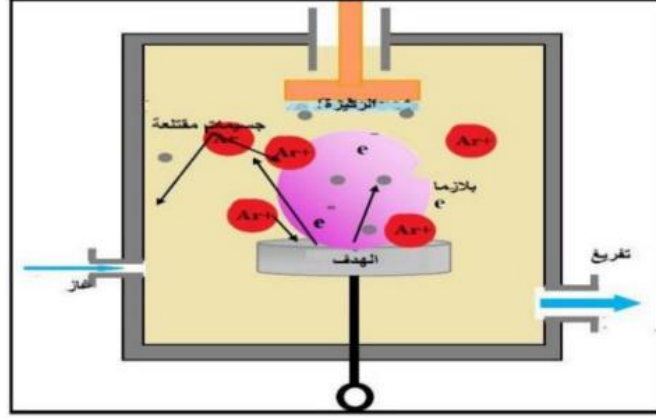
الشكل (5.II) : رسم تخطيطي يوضح ترسيب الأغشية الرقيقة بطريقة التبخير [21]

ب- الرش المهبطي :

في هذه الطريقة، توضع الرقيقة في حاوية تحتوي على غاز منخفض الضغط (عادة الأرجون)، وهذا التفريغ مسؤول عن تأيين أسطوانة الغاز، ومن خلال تطبيق فرق الجهد تتسارع الأيونات الناتجة وتسقط على مهبط يتكون من المادة المستهدفة (الهدف) تقتلع منه الذرات وترسب على سطح الرقيقة [22]. في بعض الحالات، يتم

إدخال غازات أخرى إلى جانب الأرجون للتفاعل كيميائياً مع الذرات المزالة لتكوين مركبات مرغوبة على الركيزة.

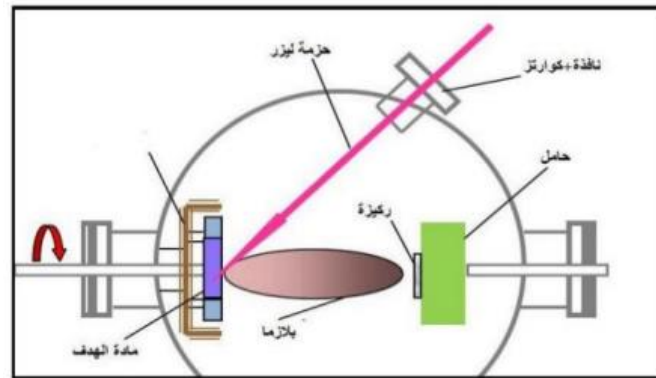
من المزايا الرئيسية لهذه الطريقة أنها سهلة التنفيذ وتسمح بترسيب جميع أنواع المواد الصلبة، ولكن معدل تكوين الطبقات ذات السماكة غير المنتظمة على كامل مساحة السطح بطيء.



الشكل (6.II): رسم يوضح ترسيب الأغشية بطريقة الرش المهبطي [23]

ج- الاقتلاع بالليزر: وتتضمن هذه التقنية تعريض هدف صلب يشتمل على المادة المراد ترسيبها لنبضات ضوئية مكثفة من الضوء المتولد من شعاع ليزر عالي الطاقة. في ظل ظروف تفاعل معينة، تنبعث كمية من المادة المستهدفة ويتم تجميعها على ركيزة موضوعة بشكل مواز للمادة المستهدفة، على بعد بضعة سنتيمترات من المادة المستهدفة وبوضعية موازية له.

تعتمد طبيعة وجودة الترسبات على عدد من العوامل (مثل طاقة الليزر وطبيعة وضغط الغاز المتبقي في العلبة ودرجة حرارة الركيزة).



الشكل (7.II): رسم يوضح ترسيب الأغشية بطريقة الاقتلاع بالليزر [24]

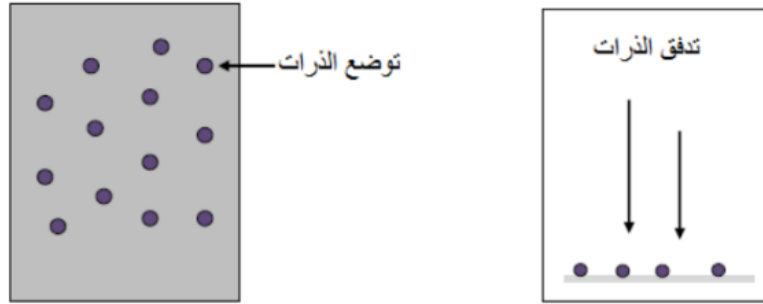
4.II. أليات نمو الطبقات الرقيقة :

تتضمن جميع عمليات ترسيب الطبقات الرقيقة ثلاث خطوات:

1. توليد الأنواع أو المواد المراد ترسيبها.
2. الأنواع من المصدر إلى الركيزة.
3. ترسيب ونمو الطبقات على الركيزة [25].

1.4.II. مرحلة التنويه:

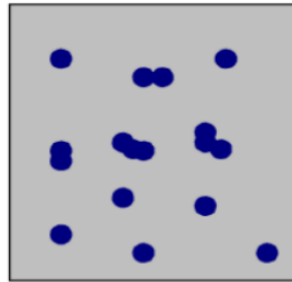
في هذه المرحلة نلاحظ ظهور عنقايد ذرية تسمى العناقيد على سطح المادة الأساسية، وهذا ناتج عن تحول المادة إلى رذاذ يتم رشه على سطح الركيزة، ويقوم السطح الأخير بتكثيف هذه المواد فيزيائياً مع تفاعل ذرات المادة مع الركيزة مكونة ما يسمى بالعناقيد [26].



الشكل (8.II): رسم تخطيطي يوضح مرحلة تدفق وتوضع الذرات على الركيزة [26]

2.4.II. مرحلة الالتحام:

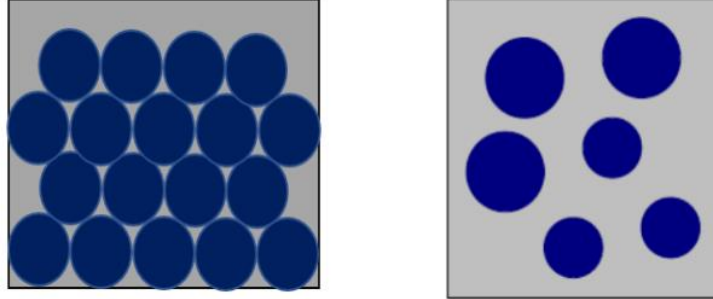
في هذه المرحلة، تبدأ المجموعات والجزيئات في النمو والاندماج لتكوين طبقات تغطي الركيزة تدريجياً [27].



الشكل (9.II) : رسم تخطيطي يوضح مرحلة الالتحام [27]

3.4.II. مرحلة النمو :

مرحلة النمو هي المرحلة الأخيرة من عملية تخليق الأغشية الرقيقة وهي استمرار لعملية الاندماج حيث تتداخل الطبقات المتتالية مع بعضها البعض لتشكيل الطبقة النهائية [28].



(أ): تمثل الخطوة الأخيرة للالتحام. (ب): تمثل مرحلة نمو الطبقات .

الشكل (10.II) : رسم تخطيطي يوضح مرحلة نمو الطبقات الرقيقة [28]

5.II. تقنيات معاينة وتحليل الطبقات الرقيقة :

عند تصنيع الشرائح الرقيقة، يجب استخدام عدة طرق (تقنيات) لتوصيف العينات المصنعة. لذلك يستعرض هذا الجزء التقنيات المستخدمة لتوصيف الأغشية الرقيقة.

1.5.II. الخصائص البنيوية:**1.1.5.II. انعراج الأشعة السينية (DRX) :**

تشير "بنية" المادة عموماً إلى تركيبها المعقد على مستويات مختلفة، بدءاً من الصيغة الجزيئية (التي تكشف عن العناصر الموجودة وبأي نسب) إلى الموضع الدقيق لكل ذرة في الجزيء، أي توزيع الكثافة الإلكترونية ثلاثية الأبعاد. تؤثر السمات الهيكلية بقوة على السلوك العياني للمواد وخصائصها. لذلك يؤدي التحليل الهيكلي دوراً مهماً في اكتشاف "بنية" المادة (النانوية/الحيوية) وبعد حيود الأشعة السينية تقنية مستخدمة على نطاق واسع لتحقيق هذه المهمة. حيث الأشعة السينية هي فوتونات ذات طاقات تتراوح طاقاتها من 100 فولت إلى 100 كيلو فولت (أطوال موجية من 0.01 إلى 10 نانومتر) [29].

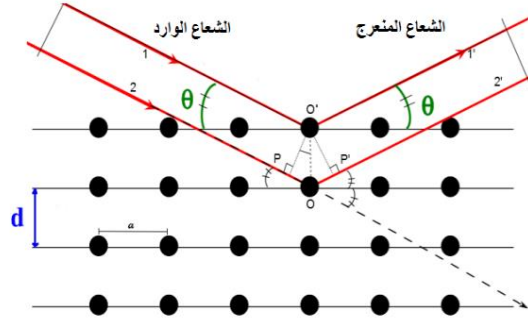
تهدف طرق الحيود المستخدمة إلى توفير وصف وتحديد الأطوار متعددة البلورات حيود الأشعة السينية متاح بسهولة وهو تقنية مفيدة ليس فقط لتحديد الطور ولكن أيضاً لتحليل البنى الشبكية البلورية حيود الأشعة السينية صالح للمواد الصلبة والأفلام ويمكنه وصف الأطوار وأحجام البلورات. يمكن أن توفر المواضع المختلفة لقمم اتجاه العينة معلومات مختلفة. ويمكن تلخيص ذلك من خلال علاقة براغ الموضحة في الشكل التالي [30]:

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

λ : الطول الموجي للأشعة السينية .

θ : زاوية إنعراج الأشعة السينية .

d_{hkl} : المسافة بين مستويات الشبكة البلورية .



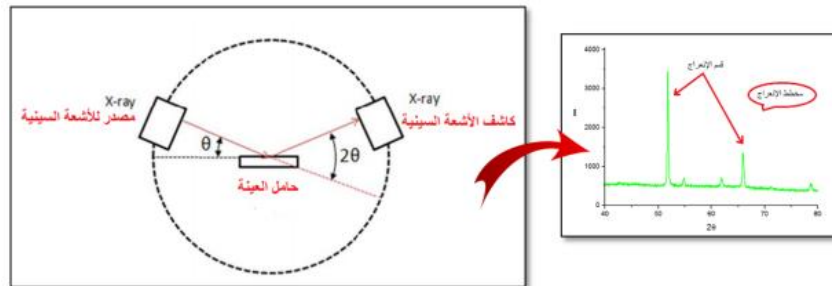
الشكل (11.II) : رسم تخطيطي يوضح عائلة المستويات البلورية في شروط براغ [11]

2.1.5.II. جهاز انعراج الأشعة السينية (DRX) :

يتكون جهاز انعراج الأشعة السينية الأحادي اللون من حامل عينة وكاشف للأشعة السينية ومقياس زاوية يتحرك من خلاله الكاشف. تنعرج الأشعة السينية من المصدر أثناء مرورها عبر العينة، ويقاس الكاشف شدة الإشعاع المشتت عند الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط (θ) ويعطي النتيجة في شكل مخطط انعراج يسمى مخطط انعراج الأشعة السينية [31].



الشكل (12.II) : جهاز انعراج الأشعة السينية (DRX)



الشكل (13.II) : رسم تخطيطي يظهر إنعراج الأشعة السينية (DRX) [30]

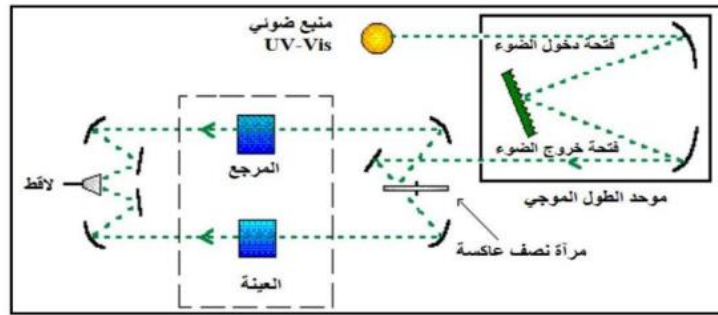
2.5.II. الخصائص الضوئية :

1.2.5.II. التحليل الطيفي للأشعة المرئية و فوق البنفسجية (UV-VIS):

يعد التحليل الطيفي للامتصاص فوق البنفسجي المرئي طريقة تحليلية كمية ونوعية. وهو يعتمد على ظاهرة امتصاص المادة للطاقة الكهرومغناطيسية. فعندما يمتص جزيء ما بعض الطاقة من الإشعاع الكهرومغناطيسي، يكون امتصاص هذه الطاقة مصحوبًا تلقائيًا بانتقال إلكترون من مستوى طاقة أقل إلى مستوى طاقة أعلى [32]. المنطقة الطيفية للأشعة فوق البنفسجية المرئية والأشعة تحت الحمراء القريبة (200-800 نانومتر).

يتكون مقياس الطيف الضوئي من مصباحين:

- مصباح الديوتيريوم الذي يصدر أطوال موجية من 119 إلى 499 نانومتر (فوق بنفسجي).
- مصباح التنجستن الذي يسمح بتحديد الموجات من 499 إلى 199 نانومتر (مرئية). ويتكون أيضًا من خطين ، خط إدخال وخط إخراج ، مما يسمح لك بتحديد الأطوال الموجية ومسح النطاق [33].



الشكل (14.II) : رسم تخطيطي يوضح جهاز التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية [34]

وتسمح هذه التقنية بفحص عدد من المعلمات المهمة المتعلقة بالأغشية الرقيقة، مثل قياس سُمك طبقات الأغشية الرقيقة ذات الانعكاس القابل للكشف. كما أن طبيعتها غير المدمرة هي إحدى المزايا الرئيسية لهذه التقنية، التي تتطلب إعدادًا دقيقًا للعينة [33].

• سمك الطبقة :

يمكن تحديد سُمك العينة بطريقة تعتمد على هامش التداخل، وتعتمد هذه الطريقة على نمو التداخل الملحوظ على طيف الإرسال في نطاقات الامتصاص السفلى، يتم تحديد سُمك الطبقة من خلال العلاقة التالية [35]:

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

ويتم تحديد معامل الانكسار n_1 و n_2 :

$$n_{1,2} = [N + (N^2 - S^2)^{1/2}]^{1/2} \quad (3.II)$$

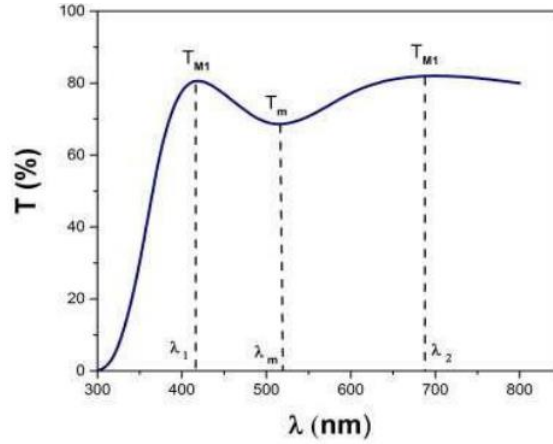
$$N_{1,2} = S2 \left[\frac{(T_M - T_m)}{T_M \cdot T_m} \right] + \left(\frac{S^2 + 1}{2} \right) \quad (4.II)$$

حيث :

S : هو معامل الإنكسار للركيزة (S=1.45)

T_M : هو أقصى نفاذية.

T_m : هو الحد الأدنى من النفاذية.



الشكل (15.II) : طريقة هامش التداخل لتحديد السماكة

● معامل الامتصاص :

من خلال طيف النفاذية يمكن تحديد معامل الامتصاص وكذلك معامل الإخماد للطبقات الرقيقة وذلك باستخدام قانون (Beer) الذي يعطى بالعلاقة الآتية [36]

$$T = \exp(-\alpha \cdot d) \quad (5.II)$$

حيث :

α : معامل الإمتصاص.

d : سمك الطبقة الرقيقة.

من خلال عبارة النفاذية المعطاة في هذه العلاقة، نحصل على معامل الامتصاص من خلال العلاقة التالية [36]:

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{100}{T\%}\right) \quad (6.II)$$

أما معامل الإخماد K يعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (7.II)$$

• الفاصل الطاقي E_g :

الفاصل الطاقي هو ثابت بصري مهم يزداد في بعض أشباه الموصلات ويقل في البعض الآخر. وتُعطى المعادلة التي تربط معامل الامتصاص α بالفاصل الطاقي E_g بالعلاقة التالية [11].

$$(\alpha hv)^2 = A (hv - E_g) \quad (8.II)$$

حيث :

A : ثابت.

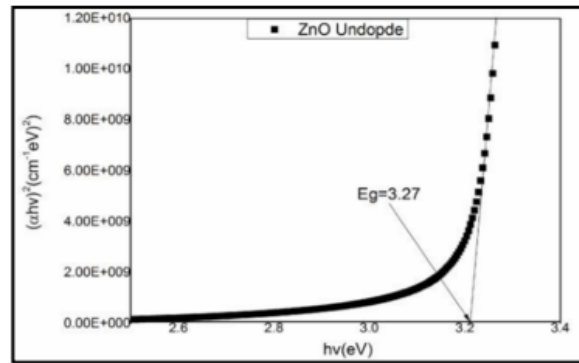
E_g : الفاصل الطاقي ووحده (eV).

hv : طاقة الفوتون ووحدها (eV).

لأجل تحديد الفاصل الطاقي يتم رسم منحنى تغيرات $(\alpha hv)^2$ بدلات طاقة الفوتون hv حيث :

$$hv \text{ (eV)} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{12400}{\lambda(A)} \quad (9.II)$$

وبتمديد القطعة المستقيمة أو رسم المماس للجزء الخطي من هذا التمثيل البياني ليتقاطع مع محور طاقة الفوتون عند النقطة $(\alpha hv)^2 = 0$ التي تمثل قيمة الفاصل الطاقي E_g ، ومنه $(hv = E_g)$ [32].



الشكل (16.II) : طيف فجوة الطاقة لأوكسيد الزنك النقي [37]

● تحديد طاقة أورباخ Eu :

هذه الطاقة هي معلمة مهمة تميز الخواص البصرية والهيكلية للطبقة الرقيقة، ووفقاً لعلاقة أورباخ، فإن العلاقة بين هذه الطاقة ومعامل الامتصاص هي كما يلي [38]:

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{hv}{Eu}\right) \quad (10.II)$$

حيث :

α_0 : معامل الامتصاص بأقل قيمة امتصاص.

Eu : طاقة أورباخ .

3.5.II. خصائص الكهربائية :

يمكن لدراسات الخصائص الكهربائية تحديد ثوابت خصائص الأغشية الرقيقة، بما في ذلك المقاومة الكهربائية. تُستخدم قياسات تأثير هول لتحديد نوع أشباه الموصلات [39].

1.3.5.II. تقنية المسابر الأربعة :

تهدف طريقة النقاط الأربع إلى معرفة مقاومة الغشاء الرقيق وتحديد قيمة توصيله، ومبدأها كما هو موضح في الشكل، هو تزويد مصدر تيار (I) من أربعة مجسمات مرتبة في خط مستقيم تفصل بينها مسافة متساوية على سطح الغشاء الرقيق، بحيث يمر التيار بين المجسمين الخارجيين ويقاس المجسمان الداخليان فرق الجهد (U) [40] ، وميزة هذه التقنية أن المسافة (a) التي تفصل بين هذه النقاط أكبر بكثير من سمك الشريحة (d)، ومن خلال هذه الاعتبارات يمكن تحديد قيمة المقاومة (R) من خلال العلاقة التالية [41] :

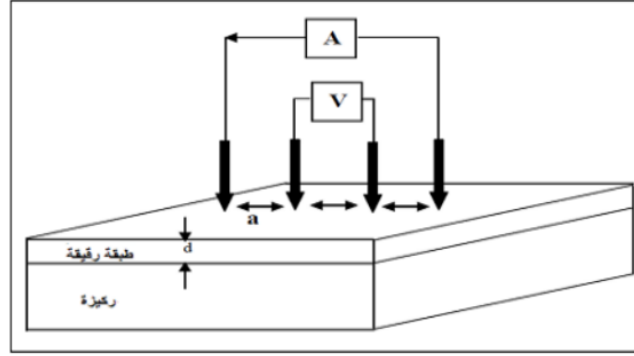
$$R = K \frac{\rho}{d} \quad (11.II)$$

ρ : مقاومة الغشاء الرقيق.

d : سمك الغشاء الرقيق.

$\frac{\rho}{d}$: تمثل هذه النسبة خاصية الغشاء الرقيق وتمثل المقاومة وتعطى وحدتها (Ω).

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



الشكل (17.II) : رسم تخطيطي يوضح تقنية المسابر الأربعة

4.5.II. طريقة ويليام صون هول William-hall :

في هذه الدراسة، استُخدم تحليل ويليام صون هول لتقدير التشوه الشبكي إن وجد، في جسيمات الزنك النانوية المحضرة، وكذلك حجم البلورة [42].

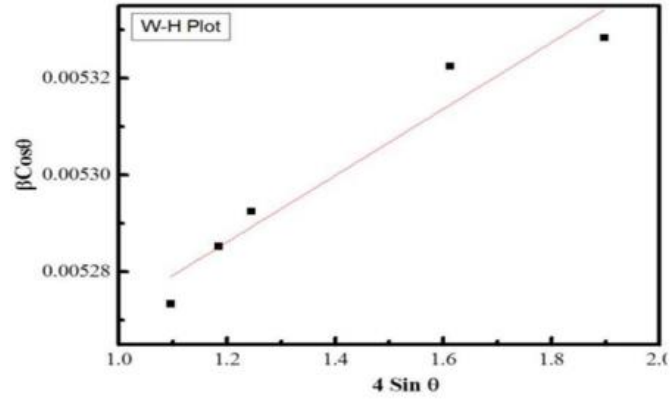
في منحنيات W-H، يكون عرض خط DRX متساوي الخواص بشكل أساسي، وهذا يعني أن مجال الانعراج متساوي الخواص وهناك مساهمة ثابتة للتشوه المجهرية طوال عرض الخط، لذلك يُؤخذ اتساع عرض الخط في الاعتبار من خلال ملف DRX، والانفعال البلوري (ϵ) واتساع عرض الخط بسبب الانفعال (β_s) بسبب العيوب البلورية ويرتبط التشوه عمومًا بـ :

$$\epsilon \approx \frac{\beta_s}{\tan\theta} \quad (12.II)$$

$$\beta_{hkl} \cos\theta = \frac{k\lambda}{D} + (4 \epsilon \sin\theta) \quad (13.II)$$

من المهم أن نذكر هنا أن المعادلة أعلاه (13.II) صالحة لنموذج التشوه المنتظم (UMD). بالنسبة للرسم البياني W-H يتم رسم حدود $\cos\theta$ مقابل $\sin 4\theta$ ، من أجل ظهور قمم الحيود للجسيمات النانوية (ZnO). يوضح الشكل التالي مخطط W-H الذي تم الحصول عليه [43].

وبالتالي، يتم تحديد تشوه البلورة وحجمها من خلال الميل و تقاطع y للخط المستقيم ، على التوالي.



الشكل (18.II) : مخطط وليام صون هول.

الخلاصة :

في هذا الفصل، قمنا بدراسة مفهوم الطبقات الرقيقة وكيفية إنتاجها، بالإضافة إلى طرق الترسيب الفيزيائية والكيميائية. حيث أن استخدام طريقة دون غيرها يعتمد على عدة عوامل من أهمها نوع المادة المستخدمة ومجال استخدام الأغشية المحضرة بحيث لكل طريقة إيجابيات وسلبيات ، بالإضافة إلى أننا تكلمنا في هذا الفصل عن الطرق التحليلية المختلفة المستخدمة في هذه الدراسة.

مراجع الفصل الثاني :

1. م. عبد العالي، "ترسيب الأغشية الرقيقة لأكسيد النحاس ($Cu_x O_y$) المحضرة بطريقة التريزيد البلازمي المغناطيسي المستمر" ، ماستر أكاديمي ، جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي ، 2019.
2. س. بن عمر، دراسة الخواص الفيزيائية للطبقات الرقيقة لأكسيد الزنك المطعم بالحديد المتوضع بتقنية رذاذ الانحلال الحراري ، مذكرة ماستر اكاديمي جامعة قاصدي مرباح ورقلة 25/05/2016.
4. ب. مروة، د. نبيلة تأثير " درجة الحرارة على الخصائص الفيزيائية للطبقات الرقيقة لأكسيد النيكل (NiO) " مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، (2017).
11. ل. سقني ، " تحديد خصائص أفلام أكسيد القصدير (SnO₂) المطعم بالحديد (Fe)" ، مذكرة ماستر أكاديمي ، جامعة حمه لخضر ، الوادي (2016) .
14. زنو إيمان، "دراسة الخصائص البنيوية و الضوئية للأفلام الرقيقة لـTiO₂ المحضرة بطريقة ال-Gel Sol" ، مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، (2016).
13. بن عمر سارة، "دراسة الخواص الفيزيائية للطبقات الرقيقة، أكسيد الزنك (ZnO) المطعم بالحديد ، المتوضع بتقنية رذاذ الانحلال الحراري" ، مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، (2016).
23. ف. خلفوي ، "تحديد خصائص أفلام أكسيد القصدير(SnO₂) المطعم بالكوبالت (CO) " ، مذكرة ماستر، جامعة الوادي، (2018).
32. ع. دقة، ط. مصباحي، "تحديد بعض خصائص أغشية أكسيد النيكل(NiO)المطعم بالحديد (Fe)" ، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الوادي (2017).
30. ر. الدلمي، دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $Ni_{(1-x)} Zn_x O$ المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري، رسالة ماجستير، جامعة ديالى، العراق .
34. أ. طيب. " الخصائص البنيوية و الضوئية للطبقات الرقيقة لأكسيد الزنك المطعم بذرات النيكل و المحضرة بطريقة الطرد المركزي " ماستر أكاديمي، جامعة محمد بوضياف-المسيلة(2018).
36. ج . بوصبيح صالح ، ص. لبيهايات ، "دراسة الخصائص التركيبية و البصرية للأغشية أكسيد النيكل(NiO) المطعمه بالنحاس(Cu)" مذكرة ماستر أكاديمي ،جامعة الوادي (2018).
38. م .حزيز بلقاسم، دراسة الخصائص البنيوية و الضوئية و الكهربائية لأكسيد القصدير المطعم بالفلور المتوضع بتقنية الأمواج فوق الصوتية، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الوادي، 2014 .
39. د. شريف أحمد خيري، د. حسن حسين حسن، 'أشياء موصالت ' دار الفكر العربي ، 2008.

3. P. A. SAVALE, physical vapor deposition (PVD) methods for synthesis of thin films: a comparative study, Arch. Appl. Sci. res, 8(5), 1-6,(2016).
5. A. Rahal, "Elaboration des verres conducteurs par déposition de ZnO sur des verres ordinaires", thèse de magister, Université d'El oued, Algeria, (2013).
6. O. Daranfad, "Elaboration et Caractérisation des Couches Minces de Sulfure de Zinc Préparées par Spray Ultrasonique", thèse de magister université de Constantine, (2010).
7. S. Sakka, "Handbook of sol-gel science and technology", kluwer academic publishers, New York, USA, (1995).
8. A. Beggas, B. Benhaoua, A. Attaf and M. S. Aida, Growth study of CdS thin films deposited by chemical bath, Elsevier Optik, 127, P. 8423-8430 (2016).
9. M. Bekkouche, " Elaboration et caractérisation des couches minces de Zno pures et dopées en Bi par voie Sol-gel", memoire de master, université de biskra, (2014).
10. T. T. John, K. P. Vijayaknmar, C. S. Kartha, Y. Kashiwaba and T. Abe, "Effect of variation of Indium on structural and optical properties of IndiumSulfidethin films", IEE Explore, vol. 32, no. 9, P. 155-157, (2009).
12. K. L. Chopra, S. Major and D.K.panday, "Transparent Conducators A status Review", Thinsolid film, Vol, 201, pp. 1-46, (1983) .
15. S. Menakh, ontribution à l'Etude des Propriétés de Films ZnO, thèse de magister, université de Constantine, (2010).
16. A. Moustaghfir, "Élaboration et caractérisation de couches minces d'oxyde de zinc". Université Blaise Pascal. novembre, (2004).
17. A. Hafdallah, Etude du Dopage des Couches Minces de ZnO Elaborées par Spray Ultrasonique, thème de magister, université de Constantine, (2007).
18. E. Chen, Thin Film Deposition, Applied Physics 298r, HarvardUniversity, (2004).
19. G. Hass and R. E. Thun, "Physics of thin Films", AcadémiePress, NewYork,(1966)

20. E. Salonen, Swift chemical sputtering of amorphous hydrogenated carbon , Physical Review, vol. 63, no. 19, P. 195, (2001).
21. E. Chen, Thin Film Deposition, Applied Physics 298r, Harvard University, (2004).
22. S.Wafa, "Etude des couches minces SnO₂ pures et dopées au Bismuth", memoire de master, université de jijel,(2018).
24. F Elaboration et caractérisation des films minces d'oxyde de titane pur.Labrèche, " et dopes Nd et Ag", thèse Doctorat, université de jijel,(2018).
25. K.H.Hidalgo, "Dépot chimique en phase de couches minces d'alumine dans une post-décharge micro-onde", thèse de doctorat, Université de Limoges, (2003).
26. A. Rahal, "Elaboration des verres conducteurs par déposition de ZnO sur des verres ordinaires", mémoire de magister, Université d'El oued, (2013).
27. 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).
28. A. Douayar , "Contribution A L'étude Des Propriétés Structurales, Optiques Et Electriques Des Couches Minces De L'oxyde De Zinc (Zno) Dopé (Fluor, Indium, Aluminium Et Néodyme)", Thèse De Doctorat, Université Mohammed V – Agdal, (2013).
29. G. Cinzia, L. Massimo, A. Davide, et al. "X-ray diffraction: a powerful technique for the multiple-length-scale structural analysis of nanomaterials". Crystals, (2016), vol. 6, no 8, p. 87.
31. 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) .

32. Y. Ghalmi." Etude du comportement électrochimique et optique de couches minces d'oxyde de nickel (NiO): application en photovoltaïques". Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas - Setif1.(2019).
33. S. Feltane, M.A.Roumili, "Élaboration et caractérisations des couches minces d'oxyde de zinc déposées par voies chimique et physique", thèse de Mémoire, Université Abderrahmane Mira – Béjaia.(2016).
35. H.Adel, calcul de la résistivité des semi-conducteurs irradiés mémoire de magister université de Biskra, 2005.
37. Meriem BOUHENNI, "Structural and opto-electrical study of ZnO thin films elaborated by spray pyrolysis(hom mad), for the Degree of Master.
40. A. Rahal, "Elaboration des verres conducteurs par déposition de ZnO sur des verres ordinaires", Mémoire de Magister, Université Achahid Hamma Lakhdar-El-Oued, (2013).
41. S. Laghrib, "Synthèse des films minces de : SnO₂, SnO₂: In par deux procédés physique et chimique et étude de leur caractérisation", thèse de magister, Université Ferhat Abbas- Setif, (2018).
42. V.D. Mote, Y Purushotham and B.N. Dole, J. of Theor. Appl. Phys. 6 (2012).
43. T. Pandiyarajan, B. Karthikeyan, J. Nanopart. Res. 14 (2012) 647 .

الفصل الثالث :

طرق المعاينة والتركيب التجريبي

تمهيد :

تعتمد خصائص الطبقات الرقيقة على اختيار المواد التي تدخل في تحضيرها و على التقنية المستعملة في ترسيب هذه المواد بالإضافة الى التقنية الملائمة لتحديد خصائصها و ذلك من اجل اعطاء فكرة على المجالات الصناعية المتاحة لهذه الطبقات.

سوف نتناول في هذا الفصل الجانب التجريبي حيث سنقدم وصفا لتحضير طبقات رقيقة من اكسيد الزنك باستخدام طريقة رذاذ الانحلال الحراري ثم دراستها بواسطة تقنيات تسمح بتحديد خصائصها البنيوية و الضوئية.

1.III. الادوات و المواد المستخدمة :

1. نقوم أولا بتحضير أكسيد الزنك (ZnO) ، المأخوذ من أستات الزنك
2. شرائح الزجاجية
3. 60 مل من محلول ايثانول
4. بيشر
5. خلاط كهربائي



الشكل (1.III) : الأدوات المستخدمة

2.III. تحضير العينات :

نضع 60 مل من محلول الايثانول في بيشر ثم نضع 1,317 جرام من أكسيد الزنك عند درجة حرارة 60 ، في خلاط مغناطيسي لمدة تتراوح بين 30 دقيقة الى 1 ساعة ، ليمتزج أكسيد الزنك في محلول الايثانول نقوم بقطع عينات من الزجاج الى قطع صغيرة شرائح ، ثم نقوم بتنظيفها ووضعها في أنبوب بمحلول الايثانول لمدة 15 دقيقة ثم نلطف العينات جيدا بقطعة قماش . بعد تحضير العينات نحتاج الى جهاز الرش و المقاومة لرش محلول الزنك في طريقة الترسيب ، نأتي بالعينات و نضعها فوق سخان كهربائي و نضبطه على درجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة 5 دقائق ، ثم في كل مرة نقوم

برفع الحرارة الى ان تصل الى 300 درجة مئوية . قمنا برش باستخدام طريقة الرش الانحلال الكهربائي ، نقوم بوضع عينتين للمقارنة بينهما في العينة الاولى ، نقوم بوضع 20 مل في الزجاجة ثم نختار مسافة قدرها 15 سم للرش ، أما العينة الثانية نقوم بوضع 20 مل مع تغيير مسافة الرش الى 25 سم.

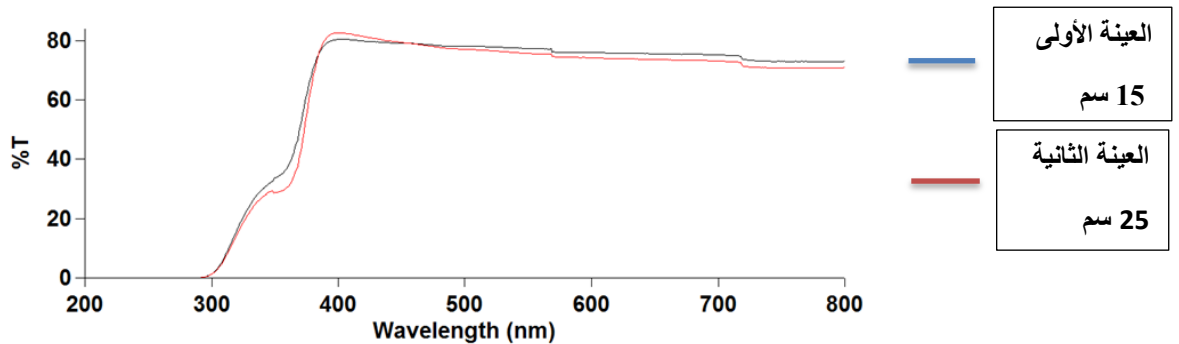


الشكل (2.III) : جهاز رذاذ الانحلال الكهربائي

3.III. النتائج :

1.3.III. مبدأ قياس الطيف الضوئي للأشعة فوق البنفسجية و المرئية :

يوضح الشكل (3.III) طيف النفاذية الضوئية بدلالة الطول الموجي المتغير ضمن مجال (200-800nm) لأغشية أكسيد الزنك النقي ، حيث أظهرت النتائج أن جميع الاغشية ذات نفاذية جيدة ، إذ وصلت النفاذية الى أكثر من 80 بالمئة في منطقة الطيف المرئي و منطقة تحت الحمراء القريبة ، بينما نلاحظ نفاذية منخفضة في منطقة فوق البنفسجية تزداد بشكل كبير عند القيم من (300-400nm) و هي منطقة الحافة الامتصاص الاساسية ، وهذا ما يعني أن المادة شبه موصلة ذو فجوة طاقة واسعة و أن طاقة الفوتونات في هذه المنطقة عالية النفاذية لا تعاني من امتصاص . كما اظهرت النتائج ان اغشية اكسيد الزنك تبدي نفاذية وصلت الى (79.5%) عند الاغشية ذات البعد 25 سم ثم ترتفع الى (83%) عند الاغشية التي بعدها 15سم و أن اختلاف في قيم النفاذية بسبب اختلاف في سمك العينات إذ أنه كلما زاد سمك الاغشية تقل نسبة النفاذية [1-2].

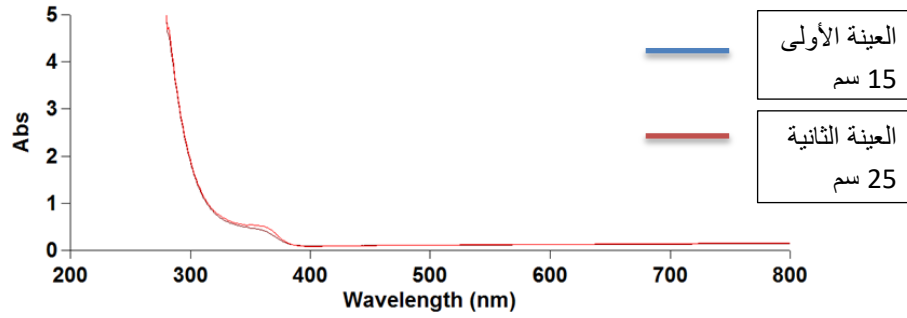


الشكل (3.III) : طيف النفاذية الضوئية لأغشية أكسيد الزنك

2.3.III. طيف الامتصاصية الضوئية :

يحتل معامل الامتصاص مكانة بارزة بين الثوابت البصرية نظرًا لاعتماده على طاقة الفوتونات المتساقطة ، بالإضافة إلى خصائص شبه الموصلات مثل فجوة الطاقة الممنوعة ونوع الانتقال الإلكتروني داخل نطاق الطاقة.

حيث في هذا العمل تمت دراسة طيف الامتصاص بنفس ظروف النفاذية ، حيث رسمت العلاقة البيانية كدالة للطول الموجي موضح في الشكل ، نلاحظ ان قيمة الامتصاص لأغشية أكسيد الزنك تتزايد بصورة تدريجية في منطقة الطيف فوق بنفسجي ، وهذا دلالة على انتقال الإلكترونات المباشرة بين عصابة التكافؤ و التوصيل [3].



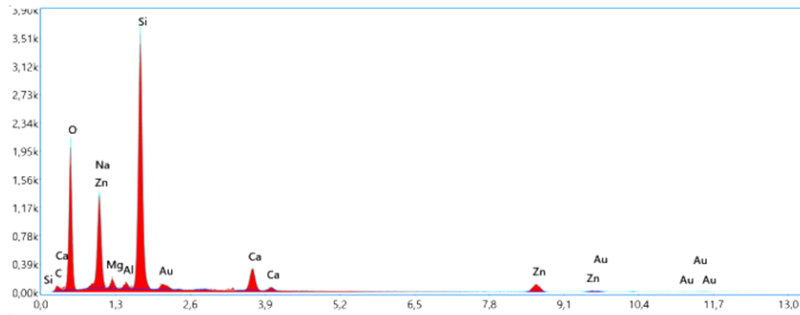
الشكل (4.III) : منحنى تغيرات معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون لأغشية أكسيد الزنك النقي

• العلاقة بين الشكل (3.III) و الشكل (4.III) :

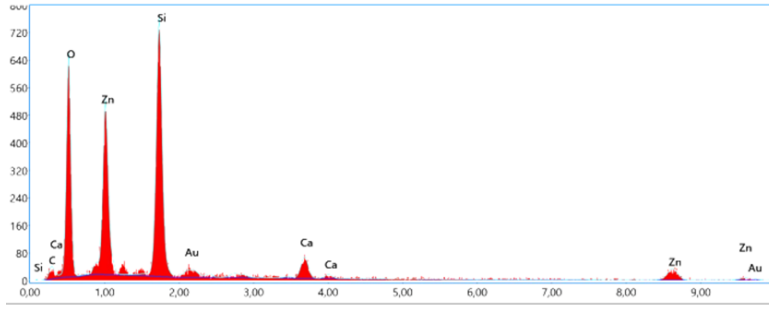
نلاحظ أن المنحنيين متعاكسين حيث يوجد علاقة عكسية بين النفاذية و الامتصاصية ، كما نلاحظ أيضا أنه عندما يصل الطول الموجي 400 تكون النفاذية عالي يقابلها امتصاصية ضعيفة ، وإذا كان الطول الموجي أقل من 400 تكون الامتصاصية عالي يقابلها نفاذية ضعيفة .

3.3.III. نتيجة و تحليل الاشعاع الطيفي :

توضح الاشكال تأثير البعد في أطيايف الانعراج للعينات أغشية أكسيد الزنك حيث في الشكل (5.III) البعد الرش 15سم ، و الشكل (6.III) بعد الرش 25سم.



الشكل (5.III) : تحليل الاشعاع الطيفي لأغشية أكسيد الزنك ذات البعد 15سم



الشكل (6.III) : تحليل الاشعاعي الطيفي لأغشية أكسيد الزنك ذات البعد 25 سم

من خلال الشكلين (III.5) و (III.6) نلاحظ وجود ذرات الزنك و الاكسجين كما يوجد ذرات السيليسيوم و بعض الرواسب و ذلك راجع الى مرور الضوء الى الصفيحة الزجاجية .

* - تحليل مقارنة بين تحليل الاشعاع الطيفي لأغشية أكسيد الزنك ذات الأبعاد المختلفة (15 سم و 25 سم) باستخدام الطيف الضوئي كمثال رئيسي :

● أغشية أكسيد الزنك بأبعاد 15 سم:

. الطيف الضوئي:

- المرئي: قد تظهر أغشية الزنك توافقات ممتازة في المنطقة المرئية مع انخفاض مقدار الامتصاص، مما يشير إلى نقاء عالي للأغشية وقلة الشوائب.

- الأشعة فوق البنفسجية: قد تظهر منطقة امتصاص قوية في الأشعة فوق البنفسجية، مما يدل على نوعية جيدة من الأكسيد وكفاءته في الامتصاص للأشعة فوق البنفسجية القصيرة.

- الأشعة تحت الحمراء: قد تظهر نفاذية عالية في منطقة الأشعة تحت الحمراء، مما يعكس قدرة الأغشية على نقل الضوء في هذا النطاق الطيفي.

● أغشية أكسيد الزنك بأبعاد 25 سم:

. الطيف الضوئي:

- المرئي: قد تظهر أغشية الزنك توافقات مشابهة لتلك بأبعاد 15 سم، مع امتصاص ضعيف في المنطقة المرئية.

- الأشعة فوق البنفسجية: من الممكن أن تظهر أنماط مماثلة للامتصاص في الأشعة فوق البنفسجية، ولكن مع إمكانية زيادة التوهج للأكسيد في هذا المجال.

- الأشعة تحت الحمراء: يمكن أن يظهر تأثير الضوء في هذا المجال ، وقد يظهر تحليل حساب التحليل الذي

مر به .

جدول (1.III) : نتائج تحليل الإشعاع الطيفي للعينة الأولى

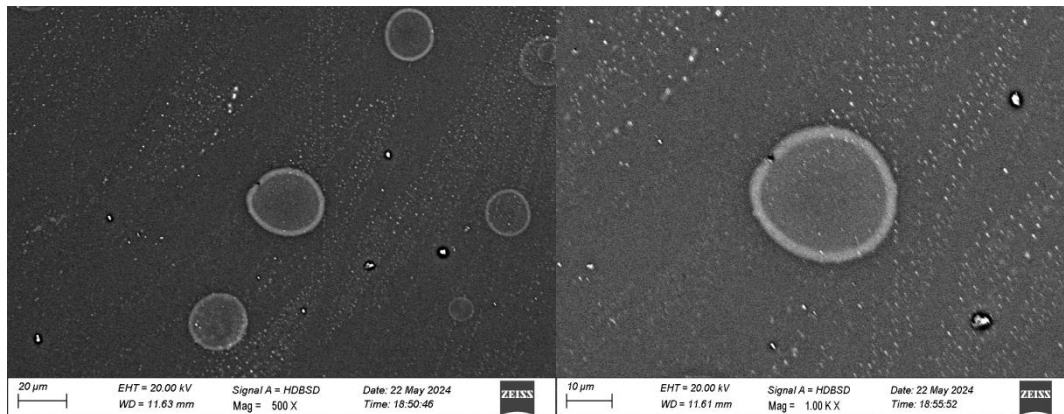
Elément	% de masse	% atomique	Kratio	Z	A	F
C K	2.38	4.53	0,0038	1.1334	0.1418	1.0000
O K	38.61	55.10	0,1202	1.0877	0.2862	1.0000
NaK	7.51	7.46	0,0290	0.9907	0.3897	1.0007
MgK	1.58	1.49	0,0071	1.0084	0.4422	1.0014
AlK	0.92	0.78	0,0051	0.9717	0.5726	1.0026
SiK	29.50	23.99	0,2030	0.9936	0.6916	1.0013
CaK	5.56	3.17	0,0479	0.9406	0.9037	1.0151
ZnK	8.03	2.81	0,0733	0.8035	1.0032	1.1321
AuL	5.91	0.69	0,0345	0.5641	1.0359	0.9988

الجدول (2.III) : نتائج تحليل الإشعاع الطيفي للعينة الثانية

Elément	% de masse	% atomique	Kratio	Z	A	F
C K	3.18	6.60	0,0058	1.1722	0.1549	1.0000
O K	35.62	55.43	0,1406	1.1196	0.3524	1.0000
SiK	27.27	24.17	0,2002	1.0137	0.7234	1.0013
AuM	1.90	0.24	0,0132	0.6384	1.0630	1.0191
CaK	5.67	3.52	0,0513	0.9537	0.9426	1.0068
ZnK	26.35	10.03	0,2155	0.7969	1.0025	1.0236

العينة الأولى (أبعاد 15 سم): تظهر أغشية أكسيد الزنك امتصاصًا منخفضًا في المنطقة المرئية مع امتصاص قوي في الأشعة فوق البنفسجية، مما يشير إلى نقاء عالي وكفاءة في امتصاص الضوء فوق بنفسجي القصير. كما تظهر نفاذية عالية في الأشعة تحت الحمراء، مما يعكس قدرة جيدة على نقل الضوء في هذا النطاق الطيفي.

العينة الثانية (أبعاد 25 سم): تظهر أغشية الزنك امتصاصًا منخفضًا مماثلًا في المنطقة المرئية للعينة الأولى، مع احتمال زيادة التوهج الضوء في هذا المجال.



الشكل (7.III) : صورتين بواسطة جهاز MOB ثنائية الأبعاد لأكسيد الزنك (ZnO)

يعتبر جهاز MOB (Molecular Organic Beam) ثنائي الأبعاد من الأجهزة المتقدمة التي تستخدم لدراسة هيكل وخصائص المواد بدقة عالية على مستوى النانومتر. إذا كان لدينا صورتان حصلنا عليهما بواسطة جهاز MOB لأكسيد الزنك (ZnO)، يمكن إعطاء تحليل تقريبي كالتالي:

1. تحليل الهيكل البلوري:

- الصورة الأولى التي حصلنا عليها من جهاز MOB قد تظهر تفاصيل دقيقة عن الهيكل البلوري لأكسيد الزنك. يمكن رؤية الترتيب البلوري للذرات والأوجه البلورية والانحناءات السطحية، مما يعطي فكرة عن الشكل العام للبلورات وتجانس توزيعها.

2. تحليل الطبقة السطحية والتفاعلات السطحية:

- الصورة الثانية من جهاز MOB قد تسلط الضوء على التفاعلات السطحية لأكسيد الزنك. يمكن أن توفر هذه الصورة معلومات حول الطبقة السطحية، وتأثيرات التفاعلات السطحية مع الجو أو العوامل الأخرى، مما يساعد في فهم الاستقرار والخصائص الكيميائية للسطح.

3. تحليل البنية الإلكترونية والتوزيع الإلكتروني:

- MOB يمكنه أيضًا إظهار تفاصيل دقيقة حول البنية الإلكترونية لأكسيد الزنك. يمكن أن تظهر الصور التوزيع النسبي للكثافة الإلكترونية، وتوزيع الحالات الإلكترونية على مستوى السطح، مما يعطي فكرة عن الخصائص الإلكترونية للمادة وإمكاناتها في التوصيل الإلكتروني.

4. التطبيقات المحتملة:

- الصور ثنائية الأبعاد التي تم الحصول عليها بواسطة MOB لأكسيد الزنك تلعب دورًا مهمًا في تطوير الأجهزة الإلكترونية النانوية مثل الأجهزة الشمسية والمفاعلات الكيميائية والأجهزة الحساسة، حيث يمكن استخدام هذه الصور لتحسين تصميمات الأجهزة وتحسين أدائها.

باستخدام جهاز MOB، يمكن الحصول على صور ثنائية الأبعاد ذات دقة عالية تكشف عن تفاصيل حيوية عن هيكل وخصائص أكسيد الزنك على مستوى النانومتر، مما يعزز فهمنا للمواد النانوية ويساهم في تطوير التكنولوجيات المتقدمة.

الاستنتاج :

بناءً على النتائج التي تمثلها التحليلات الطيفية لأغشية أكسيد الزنك، يمكننا استخلاص استنتاجات أعمق بخصوص استخدامه في التطبيقات الكهروضوئية كبديل للسيليكون وذلك بناءً على النقاط التالية:

1. نفاذية عالية في المجال المرئي:

- أغشية أكسيد الزنك تظهر نفاذية عالية في منطقة الضوء المرئي، مما يعني أنها تسمح بمرور كميات كبيرة من الضوء في هذا النطاق الطيفي. هذا الخصائص مهمة جداً في التطبيقات الكهروضوئية مثل الخلايا الشمسية حيث يحتاج المواد الشفافة التي تتمتع بنفاذية عالية لتسمح بمرور الضوء إلى الخلية الشمسية لتوليد الكهرباء.

2. امتصاصية ممتازة في المجال فوق البنفسجي:

- أغشية أكسيد الزنك تظهر أيضاً امتصاصاً قوياً في منطقة الأشعة فوق البنفسجية، وهذا يعني أنها قادرة على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية الضارة وتحويلها إلى طاقة كهربائية أو حرارية. هذه الخاصية تجعلها مرغوبة في التطبيقات حيث يكون الحماية من الأشعة فوق البنفسجية ضرورية مثل في النوافذ والأسطح الزجاجية الذكية.

3. كفاءة وتكلفة منخفضة:

- يمكن تصنيع أغشية أكسيد الزنك بتكلفة أقل مقارنة بالمواد الأخرى مثل السيليكون، مما يقلل من تكاليف الإنتاج ويجعلها أكثر جاذبية اقتصادياً للتطبيقات الكبيرة مثل الطاقة الشمسية والإلكترونيات الضوئية.

4. مرونة التصميم والتكامل:

- نظراً لنفاذيتها العالية وخصائصها الضوئية الجيدة، يمكن استخدام أغشية أكسيد الزنك بسهولة في مجموعة متنوعة من التطبيقات، بما في ذلك الأنظمة الشمسية الشفافة والأجهزة الإلكترونية الرقيقة والمرنة.

بالاعتماد على هذه الاستنتاجات، يمكن القول إن أغشية أكسيد الزنك تمثل بديلاً واعداً للسيليكون في التطبيقات الكهروضوئية بسبب قدرتها على تحقيق توازن مثالي بين النفاذية العالية للضوء والامتصاصية الممتازة للأشعة فوق البنفسجية، بالإضافة إلى التكلفة المنخفضة والمرونة في التصميم.

مراجع الفصل الثالث :

- [1] H. Villavicencio Garcia, M. Hernandez Vélez, O. Sanchez Garrido, J. M. Martinez Duart, J. Jiménez," CdS doped-MOR type zeolite characterization" ,Solid State Electronics, Vol. 43,N.6, p. 1171-1175, 1999.
- [2] M. Maâche , Dépôt et Caractérisation de Couches Minces de ZnO par Spray Pyrolyse », thèse de doctorat, Université de Biskra, 2005.
- [3] M. Rajendraprasad Reddy, V. Supriya, M. Sugiyama, K. T. Ramakrishna Reddy, Physical Investigations on ZnO:Ni Layers Deposited by Spray Pyrolysis, Article ID 508170, (2013).

الختامة

أظهرت هذه الدراسة بنجاح تحضير أغشية رقيقة من أكسيد الزنك ذات خصائص بصرية و كهرو ضوئية ممتازة باستخدام تقنية الرش الكيميائي الحراري ، و تم التحقق من خصائص هذه الأغشية باستخدام تقنية التحليل الطيفي للأشعة المرئية و فوق البنفسجية (UV-VIS) ، حيث قما ب :

❖ قياس الطيف الضوئي للأشعة فوق البنفسجية و المرئية:

نفاذية عالية: أظهرت أغشية أكسيد الزنك نفاذية ضوئية عالية تكاد تصل إلى (80%) في منطقة الطيف المرئي و تحت الحمراء القريبة، مما يدل على شفافية عالية.

امتصاص قوي في الأشعة فوق البنفسجية: تُلاحظ نفاذية منخفضة في منطقة الأشعة فوق البنفسجية، خاصة في نطاق (350-400 نانومتر)، مما يدل على وجود فجوة طاقة واسعة في أكسيد الزنك.

تأثير سمك الطبقة: ترتفع نفاذية الأغشية مع انخفاض سمكها.

❖ طيف الامتصاصية الضوئية:

معامل امتصاص مرتفع : أظهرت أغشية أكسيد الزنك معامل امتصاص مرتفع في منطقة الأشعة فوق البنفسجية، مما يدل على انتقالات إلكترونية مباشرة بين نطاقي التكافؤ و التوصيل.

النتائج:

تُشير خصائص النفاذية و الامتصاص و النمو البلوري إلى إمكانية استخدام أغشية أكسيد الزنك في تطبيقات كهرو ضوئية متنوعة، مثل الخلايا الشمسية و صمامات ثنائية باعثة للضوء و أجهزة استشعار الغاز ، و يمكن تحسين خصائص الأغشية من خلال التحكم في سمكها و ظروف الترسيب.

كما نستنتج أيضا أنه كلما ابتعدت مسافة الرش قلت نسبة ترسيب أكسيد الزنك .

التوصيات:

إجراء المزيد من الدراسات حول تأثير معلمات أخرى على خصائص الأغشية، مثل نوع الركيزة و ظروف الترسيب.

التحقيق في إمكانية استخدام مواد أخرى ذات خصائص نفاذية مختلفة مع أكسيد الزنك لتحسين أداء الأجهزة الكهرو ضوئية.

استكشاف تطبيقات جديدة لأغشية أكسيد الزنك بناءً على خصائصها البصرية و الكهرو ضوئية المميزة.

المخلص :

في هذه الدراسة، تم تحضير طبقات رقيقة من أكسيد الزنك (ZnO) باستخدام تقنية الانحلال الحراري بالرش على ركائز زجاجية ، حيث تم استخدام أستات الزنك كمصدر للزنك ، تم التحكم في معلمات العملية حيث قمنا بدراسة عينتين بحجم ثابت 20 مل و بعد متغير (15 و 25 سم) ، ثم قمنا بدراسة النفاذية و الامتصاصية الضوئية بواسطة تقنية التحليل الطيفي للأشعة المرئية و فوق البنفسجية (UV-VIS) و أخذنا صور ثنائية الأبعاد بجهاز MOB. توصلنا إلى أن أكسيد الزنك يمكن استخدامه في التطبيقات الكهروضوئية ، وذلك راجع الى نفاذيته العالية في المجال المرئي و امتصاصيته الممتازة في المجال فوق البنفسجي ، و منه يمكن استخدام أغشية أكسيد الزنك كبديل للسليسيوم .

Abstract:

In this study, thin layers of zinc oxide (ZNO) were prepared using the thermal decay technique by spraying on glass plumes, where zinc estat was used as a zinc source, process parameters were controlled, where we studied two samples of a constant size of 20 m and after a variable (15 and 25 cm), and then we studied the permeability and photoabsorption by means of the spectroscopy technique of UV-VIS and we took two-dimensional images of the MOB .We have found that zinc oxide can be used in PV applications, due to its high PVF and excellent absorption in the violet field, from which zinc oxide membranes can be used as a substitute for clysium.

Resumé :

Dans cette étude, des couches fines d'oxyde de zinc (ZnO) ont été préparées à l'aide de la technologie de dissolvabilité thermique en bouteille sur les récipients en verre, où l'acide zinc a été utilisé comme source du zinc, contrôlé dans des modèles de processus où nous avons étudié deux échantillons de 20 ml de taille fixe et deux variables (15 et 25 cm), puis étudié l'efficacité et l'absorption optique par la technologie d'analyse thérapeutique du rayonnement visuel et du spectre (UV-VIS) et nous avons réalisé des images bidimensionnelles avec un appareil MOB . Nous avons conclu que l'oxyde de zinc peut être utilisé dans les applications électrolytiques, en raison de son efficacité élevée dans le champ visuel et de son excellente absorption dans le domaine du pétrole pulmonaire, et qu'il peut être employé comme substitut au silicium.