



رقم الترتيب:

رقم التسلسل:

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي
كلية علوم الدقيقة
قسم الفيزياء



مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاعات و طاقة

من إعداد: فاطمة الزهرة غرايسة

ريان قصير

الموضوع

دراسة الخصائص البصرية والبنوية لأغشية أكسيد النيكل
المطعمة بالألمنيوم

نوقشت يوم: 2023/06/08

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

رئيسا
مناقشا
مؤطرا

أستاذ محاضر - أ
أستاذ محاضر - ب
أستاذ محاضر - ب

عز الدين بقاص
حمزة سليمان
مبروك غوقالي

الموسم الجامعي: 2023/ 2022

انجزت المذكرة بمخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوية (LEVRES)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفي أما بعد:

الحمد لله الذي وفقنا لتتميم هذه الخطوة في مسيرتنا التعليمية وهي ثمرة جهد ونجاح بفضلته تعالى

نتقدم بإهداء هذا العمل

إلى والدينا وإلى كل عائلتنا

إلى كل من أحببناه وأحبنا في الله وإلى كل من يقدر العلم ويسعى نحوه.

الشكر والعرفان

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله

بداية نشكر الله سبحانه وتعالى على توفيقنا في إعداد مذكرتنا وتحقيق الأماني في إكمال مشوارنا.

والصلاة والسلام على رسول الله صلى الله عليه وسلم وعلى آله وصحبه الطاهرين.

قال رسول الله- صلى الله عليه وسلم: " من لا يشكر الله لا يشكر الناس".

نتقدم ببالغ الشكر الجزيل إلى مشرفنا الذي ضبط سيرنا نحو الوجهة المقصودة، كان لنا خير عون ومرشد

الدكتور غوقالي مبروك والمشرف المساعد الدكتور العايش عمار التهامي الذي

لا يمكن أن ننسى فضله في مساعدتنا لتحقيق أهدافنا المرجوة.

كما نتقدم بفائق الشكر لطاخم مخبر استغلال وتثمين مصادر الطاقة الصخرارية "LEVRES" بجامعة الوادي

من مدير المخبر الدكتور "رحومة فرحات" إلى المهندس "قدة عثمان" وكل العاملين في هذا المخبر، لتوفير الجو الملائم

والامكانيات اللازمة لإتمام هذا العمل.

كما نتقدم بالشكر للأستاذ "رجال عاشور" والأستاذ "محبوب محمد الصادق" والأستاذ "ميموني مراد" والأستاذات نورة ومريم

غرايسة على ما قدموه لنا من مساعدات وتوجيهات.

كما نتقدم بالشكر إلى طلبات الدكتوراه "مماي نرجس" و"الباهي شياء" و"وردة بن علي" نظير كل المساعدات التي قدمتها

لنا فلهنّ منا كل الشكر والتقدير.

كما لا ننسى شكر أعضاء اللجنة المناقشة لقبولهم بمناقشة هذه المذكرة وتكرمهم لنا بتقديم التوجيهات والتصحيحات القيمة.

وأخيرا لا يسعنا المقام أن نشكر الجميع لذا نعتذر لكل من نسيم قلمنا دون أن تنساهم قلوبنا.

الصفحة	المحتوى
	إهداءات
	شكر و عرفان
I	فهرس المحتويات
IV	قائمة الأشكال
VI	قائمة الجداول
VII	قائمة الرموز
IX	قائمة الاختصارات
X	المصطلحات
2	المقدمة العامة
4	مراجع المقدمة العامة
	الفصل الأول: دراسة عامة للأكاسيد الناقلة الشفافة
6	1.1. مقدمة
6	2. I مفهوم تكنولوجيا النانو
7	3. I المواد النانوية
7	1.3. I تحضير المواد النانوية
8	2.3. I تصنيف المواد النانوية
9	3.3. I خواص المواد النانوية
11	4.3. I تطبيقات تكنولوجيا النانو
11	4. I العنصر الكيميائي
11	1.4. I معدن النيكل
11	2.4. I معدن الألمنيوم
12	5. I الأكاسيد الناقلة الشفافة
12	1.5. I تعريف الأكاسيد الناقلة الشفافة
13	2.5. I مميزات الأكاسيد الناقلة الشفافة
13	3.5. I الخصائص الكهربائية للأكاسيد الناقلة الشفافة
14	4. 5. I الخصائص الضوئية
16	5.5. I الأكاسيد الناقلة الشفافة في الحالة النقية والمطعمة
16	6.5. I تطبيقات الأكاسيد الناقلة الشفافة
17	6. I الأكاسيد المعدنية
17	1.6. I أكسيد النيكل
17	1. 1.6. I البنية البلورية لأكسيد النيكل
18	2. 1.6. I خصائص الشبكة البلورية لأكسيد النيكل
18	3. 1.6. I الفاصل الطاقي لأكسيد النيكل
19	4. 1.6. I الخصائص الكهربائية

19	1.6.I.5. الخصائص الضوئية
20	1.6.I.6. الخصائص الفيزيائية والكيميائية
20	7.I. خلاصة
21	مراجع الفصل الأول

الفصل الثاني: طرق الترسيب وتقنيات المعاينة

25	1.II. مقدمة
25	2. II. مفهوم الأغشية الرقيقة
25	3. II. مبدأ ترسيب الأغشية الرقيقة
26	4. II. طرائق وتقنيات ترسيب الأغشية الرقيقة
26	1.4. II. طرائق الترسيب الفيزيائية
26	2.4. II. طرائق الترسيب الكيميائية
26	5. II. آليات نمو الأغشية الرقيقة
28	1.5. II. نمو ثنائي الأبعاد (2D) نمو فرانك فندر ميرو
28	2.5. II. نمو ثلاثي الأبعاد (نمو فولمر وابر)
28	3.5. II. نمو المختلط (نمو سترانسكي كراستانوف)
29	6. II. طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري
30	7. II. الأشعة الكهرومغناطيسية
31	1.7. II. الخصائص البنيوية
31	1.1.7. II. الأشعة السينية
35	2.1.7. II. الأشعة تحت الحمراء
37	2.7. II. الخصائص الضوئية
38	1.2.7. II. الأشعة فوق البنفسجة والمرئية
40	3.7. II. الخصائص الكهربائية
40	1.3.7. II. تقنية المسابر الأربعة
42	8. II. خلاصة
43	مراجع الفصل الثاني

الفصل الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها

48	1. III. مقدمة
48	2. III. ترسيب الأغشية بتقنية الانحلال الكيميائي الحراري
48	1.2.III. التركيب التجريبي للرش بالانحلال الكيميائي الحراري
48	2.2.III. تحضير الأغشية الرقيقة
50	1.2.2.III. الشروط التجريبية لتحضير الأغشية الرقيقة
50	2.2.2.III. تهيئة القواعد الزجاجية
51	3.2.2.III. تحضير المحلول المستخدم في تحضير أغشية (NiO)
52	4.2.2.III. تحضير محلول العينات المطعمة
53	5.2.2.III. ترسيب الأغشية الرقيقة
53	3.III. تحديد خصائص الأغشية المحضرة
53	1.3.III. الخصائص البنيوية
54	1.1.3.III. انعراج الأشعة السينية
55	2.1.3.III. تحديد ثوابت الشبكة البلورية
55	3.1.3.III. القد الحبيبي

57	4.1.3.III كثافة الانخلاع والانفعال المتوسط
58	5.1.3.III مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR)
59	2.3.III الخصائص الضوئية للأغشية المحضرة
59	1.2.3.III النفاذية
60	2.2.3.III تحديد سمك العينات
60	3.2.3.III الامتصاصية
61	4.2.3.III الفاصل الطاقى
62	5.2.3.III طاقة أورباخ
63	6.2.3.III معامل الخمود
64	7.2.3.III معامل الانكسار
65	8.2.3.III ثابت العزل الكهربائى الحقيقى والخيالى
66	3.3.III الخصائص الكهربائىة للأغشية المحضرة
66	1.3.3.III المقاومة السطحية والناقلية
67	4.III خلاصة
68	مراجع الفصل الثالث
70	الخاتمة العامة

الصفحة	عنوان الجدول	الرقم
	الفصل الأول	
6	مختلف أنواع جسيمات النانوية العضوية وغير عضوية	الشكل (1.I)
7	أحجام الهياكل الكيميائية والبيولوجية في مقياس النانو	الشكل (2.I)
8	طرق تحضير المواد النانوية	الشكل (3.I)
9	مخطط تصنيف المواد النانوية	الشكل (4.I)
17	أهم تطبيقات الأكاسيد الناقلة الشفافة	الشكل (5.I)
18	البنية البلورية لأكسيد النيكل	الشكل (6.I)
19	قيمة الفاصل الطاقى لأكسيد النيكل	الشكل (7.I)
20	طيف النفاذية لطبقة رقيقة من أكسيد النيكل بالنسبة لـ 2.5 ساعة عند درجات حرارة مختلفة	الشكل (8.I)
	الفصل الثاني	
25	بنية الحقيقة والتجريبية للطبقة الرقيقة	الشكل (1.II)
27	آليات نمو الأغشية الرقيقة على سطح ركيزة	الشكل (2.II)
27	مرحلة التنوي	الشكل (3.II)
27	مرحلة الالتحام	الشكل (4.II)
28	مرحلة النمو	الشكل (5.II)
29	مختلف أنماط نمو الطبقات الرقيقة	الشكل (6.II)
30	طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري	الشكل (7.II):
31	طيف الأشعة الكهرومغناطيسية	الشكل (8.II)
32	رسم تخطيطي للمستويات الشبكية	الشكل (9.II)
33	رسم تخطيطي يوضح طريقة استنتاج قانون براغ	الشكل (10.II)
34	جهاز انعراج الأشعة السينية المستخدم	الشكل (11.II)
35	منحنى يمثل طريقة تحديد عرض منتصف القمة	الشكل (12.II)
36	رسم تخطيطي لعملية امتصاص الأشعة تحت الحمراء	الشكل (13.II)
37	رسم تخطيطي لجهاز الأشعة تحت الحمراء	الشكل (14.II)
37	جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء المستعمل	الشكل (15.II)
38	المجال الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية	الشكل (16.II)
39	رسم تخطيطي لجهاز التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية	الشكل (17.II)
39	جهاز التحليل الطيفي (UV.VIS) المستعمل	الشكل (18.II)
41	رسم تخطيطي لجهاز المسابر الأربعة	الشكل (19.II)
42	جهاز المسابر الأربعة	الشكل (20.II)
	الفصل الثالث	
49	التركيب التجريبي لجهاز الرش الكيميائي الحراري	الشكل (1.III)
49	العداد الرقمي للسخان الكهربائي	الشكل (2.III)
50	صورة لجهاز الرش	الشكل (3.III)
51	ركائز زجاجية	الشكل (4.III)
51	نترات النيكل بشكل مسحوق ومذابة في الماء المقطر	الشكل (5.III)
52	نترات الألمنيوم	الشكل (6.III)
52	مرحلتى الخلط والوزن	الشكل (7.III)
54	مخطط انعراج الأشعة السينية لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم	الشكل (8.III)
55	منحنى تغيرات كل من القد الحبيبي وثابت الشبكة بدلالة نسب التطعيم	الشكل (9.III)
56	منحنى يمثل تغيرات سمك العينة والقُد الحبيبي بدلالة التطعيم	الشكل (10.III)

57	البطاقة الدولية للقياسات (JCPDS 47-1049)	الشكل (11.III)
58	منحنى تغيرات القد الحبيبي ومتوسط الانفعال وكثافة الانخلاع بدلالة نسب التطعيم	الشكل (12.III)
59	طيف الأشعة تحت الحمراء لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم	الشكل (13.III)
60	أطياف النفاذية لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم	الشكل (14.III)
61	أطياف الامتصاصية لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم	الشكل (15.III)
61	منحنى تغيرات $(Ahv)^2$ بدلالة (hv) لأغشية النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم	الشكل (16.III)
62	منحنى تغيرات $\ln(\alpha)$ بدلالة $h\nu$ لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم	الشكل (17.III)
63	منحنى تغيرات كل من الفاصل الطاقى وطاقة أورباخ بدلالة نسب التطعيم	الشكل (18.III)
64	معامل الخمود لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم	الشكل (19.III)
64	معامل الانكسار لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم	الشكل (20.III)
65	منحنى تغيرات ثابت العزل الكهربائي الحقيقي للأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة	الشكل (21.III)
66	منحنى تغيرات قيم ثابت العزل الكهربائي التخيلي لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة	الشكل (22.III)

الصفحة	عنوان الجدول	الرقم
	الفصل الأول	
12	الخصائص الكيميائية والفيزيائية للألمنيوم	الجدول (1.I)
17	أهم خصائص أكسيد النيكل	الجدول (2.I)
18	الخصائص الشبكية البلورية لأكسيد النيكل	الجدول (3.I)
19	الخصائص الكهربائية لأكسيد النيكل	الجدول (4.I)
20	الخصائص الفيزيائية والكيميائية لأكسيد النيكل	الجدول (5.I)
	الفصل الثاني	
36	مجال الأشعة تحت الحمراء	الجدول (1.II)
	الفصل الثالث	
53	مختلف التجارب المستعملة لتحضير العينات	الجدول (1.III)
56	ملخص النتائج المتحصل عليها من أطياف انعراج الأشعة السينية	الجدول (2.III)
57	ملخص نتائج كثافة الانخلاع	الجدول (3.III)
58	جدول يوضح نوع الرابطة والتردد الموافق لها	الجدول (4.III)
60	سمك العينات لمختلف العينات المحضرة	الجدول (5.III)
62	قيم الفاصل الطاقى لأغشية أكسيد النيكل النقي والمطعم بالألمنيوم	الجدول (6.III)
63	قيم طاقة أورباخ لعينات أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم	الجدول (7.III)

المصطلحات	الرموز
.الناقلية الكهربائية (cm ⁻¹ .Ω ⁻¹)	σ
.المقاومية الكهربائية (cm.Ω)	ρ
.الشحنة الكهربائية (C)	q
.كثافة حاملات الشحنة (cm ⁻³)	N
.حركية الشحنات (cm ² /V.s)	μ
.سمك الشريحة (nm)	d
.المقاومة المربعة (Ω)	R _s
.فرق الجهد (V)	ν
.شدة التيار (A)	I
.السرعة الحرارية للإلكترون (m/s)	V
.الكتلة الفعالة للإلكترون (Kg)	m*
.زمن الاسترخاء بين التصادمين (s)	τ
.متوسط المسير الحر.	l
.النفاذية (%)	T
.شدة الإشعاع النافذ.	I _T
.شدة الإشعاع الساقط.	I ₀
.الانعكاسية (%)	R
.شدة الضوء المنعكس.	I _R
.الامتصاصية (%)	A
.الإشعاع الممتص.	I
.معامل الامتصاص (cm ⁻¹)	α
.الطول الموجي (cm)	λ
.معامل الخمود.	K
.فجوة الطاقة الممنوعة (eV)	E _g
.معامل الانكسار	n
.ثابت العزل الكهربائي.	ε'
.سرعة الضوء في الفراغ (m/s)	c
.تردد الموجة (Hz)	ν
.بعد بين المستويات الذرية (nm)	d _{hkl}
.زاوية براغ (°)	θ
.طاقة الفوتون (eV)	E
.ثابت بلانك (J.s)	h
.ثابت الشبكة (Å)	a

القد الحبيبي (nm).	D
قيمة عرض منتصف القمة (red).	β
كثافة الانخلاعات (lines/m^2).	δ
الانفعال المتوسط.	ε
ثابت الشبكة في الحالة النقية (\AA).	a_0
طاقة أورباخ (eV).	E_U
ثابت العزل الحقيقي.	ε_1
ثابت العزل التخيلي.	ε_2

قائمة الاختصارات

الأكاسيد الناقلة الشفافة	TCO
عصابة التكافؤ	BV
عصابة النقل	BC
أكسيد النيكل	NiO
الألمنيوم	Al
شبه ناقل موجب	P
شبه ناقل سالب	N
بنية بلورية مكعبة	CFC
انعراج الأشعة السينية	XDR
الأشعة فوق البنفسجية	UV
الأشعة المرئية	VIS
الأشعة تحت الحمراء	FTIR
قرائن ميلر	hkl
عرض منتصف أعلى شدة	FWHM
البطاقة الدولية القياسية	JCPDS

المصطلحات

English	العربية
Nanomaterials	مواد نانوية
Nickel	النيكل
Aluminum	الألمنيوم
Conductor	ناقل
Insulator	عازل
Semiconductor	شبه موصل
Electrical conductivity	الناقلية الكهربائية
Resistivity	المقاومية
Electrical mobility	الحركية الكهربائية
Electrical Properties	الخصائص الكهربائية
Transmittance	النفذية
Reflectivity	الانعكاسية
Absorbance	الامتصاصية
Absorbation coefficient	معامل الامتصاصية
Extinction coefficient	معامل خمود
Reflective Index	معامل انكسار
Doping	التطعيم
Energy Bandle	الفاصل الطاقى
Wavelength	طول الموجى
Nickel Oxide	أكسيد النيكل
Thin films	أغشية رقيقة
Glass Substrate	ركيزة زجاجية
Spray Pyrolysis Technique	طريقة الرش بالانحلال الكيمياءى الحرارى
Sprayer Nozzle	جهاز الرش
Electromagnetic Radiation	أشعة كهرومغناطيسية
Ultraviolet Radiation	أشعة فوق البنفسجية
Infrared Radiation	أشعة تحت الحمراء
Thin Film Diposition	ترسيب الأغشية الرقيقة
Gamma Radiation	أشعة جاما
Structural Properties	خصائص بنيوية
Lattice Levels	مستويات شبكية
Lattice Constants	ثوابت الشبكة
X-Ray Diffraction	حيود الأشعة السينية
Optical Properties	الخصائص الضوئية
Grain Size	القد الحبيبي
The Dislocation Density	كثافة الانحلال

The straine	الانفعال
Pure	نقي
Thickness	سمك
Reflective Index	قرينة انكسار
Direct Electronic Transitions	الانتقالات الإلكترونية المباشرة
Energy Bundle	عصابة طاقية
Bulk material	مادة سائبة
Dielectric constant	ثابت العزل
Crystalline	متبلور
International Card	البطاقة الدولية

المقدمة العامة

المقدمة العامة

يقف العالم اليوم على أعتاب ثورة علمية هائلة، هي ثورة تكنولوجيا النانو أو تكنولوجيا متناهية الصغر^[1]؛ حيث أسهمت بشكل كبير في العديد من مجالات البحث كما تُعدُّ بوابةً للتكنولوجيا في القرن الحادي والعشرين^[2]، وهي من أهم التقنيات في الوقت الحاضر والمستقبل؛ لذا يمكن التأكيد على أن العصر القادم يمكن أن يسمى "عصر النانو"^[3]، وشهدت هذه التقنية مؤخرًا مجالًا ناشئًا من العلوم، وتعدُّ مقدرًا للإنسان على تصنيع المادة والأجهزة والأنظمة التي تقوم على استخدام الذرات والجزيئات في صناعة مواد جديدة بمواصفات مميزة وفريدة، مع مجموعة متنوعة من التطبيقات المفيدة في مختلف المجالات، نظرا لخصائصها البصرية والكهربائية والمغناطيسية^[1، 2].

تعدُّ الأغشية الرقيقة واحدة من أهم التقنيات التي ساعدت في تطوير تكنولوجيا النانو ودراسة أشباه الموصلات وخاصة الأكاسيد الناقلة الشفافة^[4]، ويستعمل مصطلح الأغشية الرقيقة لوصف طبقة واحدة أو طبقات عديدة من الذرات، قد لا يتعدى سمكها مايكرونا واحدا^[5].

تم التعرف على علم الأكاسيد الناقلة الشفافة من قبل العالم "Badeker" في سنة 1907م الذي عمل على أول غشاء من معدن الكاديوم^[6]، إذ تعد الأكاسيد الناقلة الشفافة من المواد المهمة التي تدخل في صناعة الأغشية الرقيقة، هذه الأخيرة جذبت اهتمام الباحثين من خلال تطويرها لعدة مجالات صناعية نذكر منها: الإلكترونيات ومجال البطاريات، والمحركات الضوئية، والخلايا الشمسية... وغيرها^[7] ومن بينها أكسيد النيكل والذي يعدُّ من بين الأكاسيد الناقلة الشفافة المهمة؛ إذ يمتلك خصائص كهربائية ومغناطيسية وبصرية مميزة، التي جعلت منه عنصرا فعّالاً لكثير من التطبيقات، من بينها المتحسسات الغازية وكذلك يمكن استخدامها كأقطاب كهربائية في الأجهزة البصرية الإلكترونية وفي صناعة الليزرات وشاشات العرض المسطحة والطلاءات غير العاكسة...^[8].

تطور تحضير وإعداد الأغشية الرقيقة وأصبحت دقيقة جدا من ناحية تحديد تجانس الغشاء المحضر وسمكه، وتعددت طرائقها وأصبح لكل طريقة خصوصياتها وامتيازاتها لتؤدي الغاية التي تم استخدامها من أجلها، من بين هذه الطرق طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري إذ تمتاز هذه الطريقة بشدة التصاق الأغشية المحضرة بالقاعدة^[9].

إن الأيونات المعدنية المضافة كشوائب تسمح بشكل واضح في تغيير تركيز حاملات الشحنة وإحداث تغيرات في خصائصها سواء من الناحية الفيزيائية أو الكيميائية، حيث قامت مجموعة من الأبحاث على أكسيد النيكل كونه من المواد المتاحة وسهلة الترسيب، وتم أيضا تطعيمه بالكثير من المواد من بينها الزنك^[10] وكذلك النحاس الذي سمح بتغيير في العديد من خصائصه^[11].

من خلال هذا العمل سيتم تقديم دراسة تجريبية على ترسيب أغشية رقيقة من أكسيد النيكل المحضرة بتقنية الرّشّ بالانحلال الكيميائي الحراري على ركائز زجاجية، ثم دراسة تأثير التطعيم بالألمنيوم بنسب مختلفة على الخصائص البنيوية والبصرية والكهربائية لأغشية النيكل المحضرة.

يمكن أن تتلخص فكرة العمل في مراحل مرتبة في الفصول التالية:

❖ الفصل الأول:

يهتم هذا الفصل بأهم المفاهيم حول تكنولوجيا النانو وتطبيقاتها والمواد النانوية وخواصها، ومن ثم التعرف على عنصرين من بين عناصر الجدول الدوري وهما النيكل والألمنيوم، يضم الفصل كذلك مفهوم الأكاسيد الناقلة الشفافة (TCO) ومميزاتها، إلى ان تخصص الدراسة على الأكاسيد المعدنية إلى دراسة أكسيد النيكل وخواصه.

❖ الفصل الثاني:

يعرض هذا الفصل تعريفا عاما للأغشية الرقيقة، وأهم أنواع طرق ترسيب الأغشية الفيزيائية والكيميائية، كما سيتم التعرف على أحد طرائق التحضير والمتمثلة في طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري، بالإضافة إلى التعرف على بعض طرق وأجهزة المعاينة المستعملة من أجل دراسة الخصائص البنيوية للأغشية باستعمال انعراج الأشعة السينية وطيف الأشعة تحت الحمراء، والخصائص البصرية باستخدام طيف نفاذية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية، والخصائص الكهربائية من خلال قياس المقاومة الكهربائية.

❖ الفصل الثالث:

تضمن هذا الفصل خطوات العمل التجريبي وأهم ما تم إنجازه بالإضافة إلى عرض النتائج التجريبية المتحصل عليها ومناقشتها في إطار دراسة تأثير التطعيم بالألمنيوم على الخصائص البنيوية والبصرية والكهربائية لأغشية أكسيد النيكل.

مراجع المقدمة العامة

مراجع باللغة العربية:

- [1] ع. ع. سميرة، "أفاق استخدام تقنية النانو تكنولوجي وتطبيقاتها"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، الرقم 40، العدد 3، ص 107-125، (2018).
- [3] م. أ. هاشم إيمان، " دور تكنولوجيا النانو في تحسين خواص المنتجات وزيادة عمرها الافتراضي"، مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، مجلد 8 العدد 37، ص 166-186، (2023).
- [4] ع. ن. صالح، أ. إبراهيم حسن، " دراسة تأثير نوع وطبيعة الأرضية على الخواص البصرية لأغشية (NiO) المحضرة بطريقة الطلاء الدوراني"، مجلة تكريت للعلوم الصرفة، العدد 20، الرقم 1، ص 126-131، (2015).
- [5] س. عزارة حسين، غ. جليل عبد السادة، "تأثير التشويب بالنحاس Cu على الخواص التركيبية لأغشية فرايت الخارصين ZnFe₂O₄"، مجلة جامعة كربلاء العلمية، المجلد 16، العدد 1، ص 58-66، (2018).
- [6] سقني ليلي، " تحديد خصائص أكسيد القصدير (SnO₂) المطعم بالحديد (Fe)"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمة لخضر، الجزائر (الوادي)، (2016).
- [7] س. بن عمر، " دراسة الخواص الفيزيائية للطبقات الرقيقة لأكسيد الزنك (ZnO) المطعم بالحديد المتوضع بتقنية رذاذ الانحلال الحراري"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح، الجزائر (ورقلة)، (2015).
- [9] ع. مريم، " دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعم بالكوبالت (Co)"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمة لخضر، الجزائر (الوادي)، (2019).
- [10] ع. ردينة صديق، " دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية Ni_(1-x)Zn_xO المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري، رسالة ماجستير، جامعة بابل، العراق، (2013).
- [11] ف. شاكر هيثم، " تأثير التطعيم بالنحاس على الخصائص التركيبية وفجوة الطاقة البصرية لأغشية أكسيد النيكل النانوية المحضرة بطريقة المحلول الغروي"، مجلة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية، العدد 6، المجلد 24، (2016).

مراجع باللغة الأجنبية:

[2] A. Mohammed Nattah, "An overview of titanium oxide nanoparticles, chareacterisatin, synthesis and potential applications", Jouenal of university of babylon for engineering sciens by university of babylon is licensed under a creatice commons attribution 4.à international license, Vol 30, No 1, P 72-85, (2022).

[8] S. S. Chiad, A. A. Kamel, O. Z. Abed, " Effect of thickness on the electronic transitions of (NiO) thin films prepared by the chemical spray pyrolysis", Jouenal diyala for pure sciences, Vol 8, No 3, P 57-67, (2012).

الفصل الأول

د راسة عامة للأكاسيد الناقله الشفافة

1.1. مقدمة:

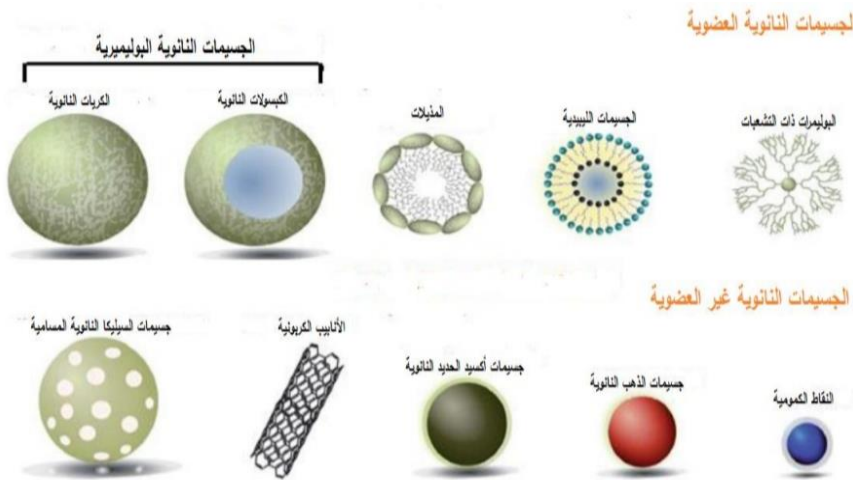
شهد العالم في السنوات الأخيرة ثورة علمية وتكنولوجية [1] تشمل المواد ذات الأبعاد النانوية والتي تعدّ تكنولوجيا القرن الواحد والعشرين [2] فقد حظيت باهتمام كبير من طرف العالم وذلك لصغر حجمها وكفاءتها العالية [1]، وقد شملت تقنية النانو العديد من المجالات واستخدمت في الكثير من التطبيقات [3] ولعل من أبرزها الأكاسيد الناقلة الشفافة والتي هي عبارة عن أشباه موصلات تتكون من معدن متحد مع الأكسجين [4] وما يميزها عن باقي المواد هو ناقلتها الكهربائية وشفافيتها الضوئية في نفس الوقت [5]، يتم تحضير هذه المواد على شكل طبقات رقيقة بسمك صغير جدا بأبعاد نانوية بتقنيات متعددة مثل تقنية الرش بالانحلال الحراري الكيميائي والتي تعدّ من أبسط الطرق المعتمدة في تحضير الأفلام الرقيقة [6]، كما أن اختلاف الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه المواد يختلف باختلاف طريقة تحضيرها [7]، وهي مواد تستعمل في العديد من التطبيقات الإلكترونية والبصرية [6].

يتطرق هذا الفصل إلى نظرة عامة حول تقنية النانو ودراسة الأكاسيد الناقلة الشفافة وخصائصها الكهربائية والضوئية ومن ثم نخصص الدراسة على أكسيد النيكل (NiO).

2.1. مفهوم تكنولوجيا النانو:

تكنولوجيا النانو هي عبارة على مصطلح مكوّن من كلمتين، الكلمة الأولى "نانو" وهي كلمة يونانية وتعني القزم، والثانية "تكنولوجيا" وتعني التطبيق العملي للمعرفة في مجال معين [8]، حيث يتعلّق هذا المصطلح بفهم الخصائص الفيزيائية، والكيميائية، والبيولوجية على المقاييس الذرية والجزيئية، والتحكم بهذه الخصائص لإنشاء مواد جديدة من خلال إعادة ترتيب الذرات التي تتكون منها المواد في وضعها الصحيح، وكلما تغير الترتيب الذري للمادة كلما تغير الناتج، كما تتميز هذه المواد بأنظمة وظيفية جديدة وفريدة ومتطورة، إذ تتراوح أبعادها بين 1 إلى 100 نانومتر. ويتم تطبيق المواد النانوية في العديد من المجالات العلمية.

ظهر هذا المصطلح "النانو تكنولوجيا" في عام 1974م على يد العالم الياباني نوريو تانيجوتشي، لوصف عمليات تصنيع أشباه الموصلات المبنية بترتيب نانومتري، وبيّن أن التكنولوجيا النانوية هي عملية معالجة وفصل وإعادة ترتيب الذرة أو الجزيء الواحد من المواد [8، 9].

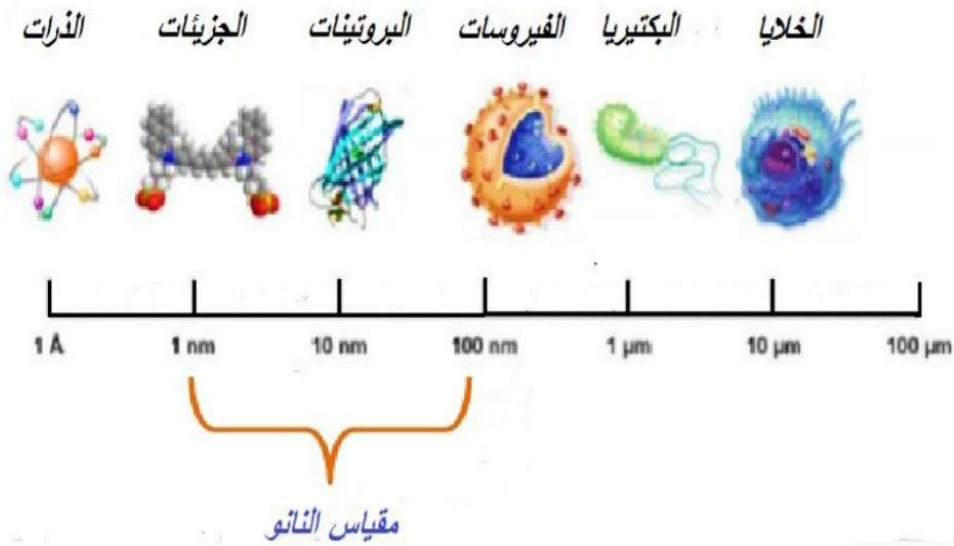


الشكل (1.1): صورة تمثل مختلف أنواع جسيمات النانوية العضوية وغير عضوية [10].

تكنولوجيا النانو هي القدرة على تصنيع المواد والأجهزة والأنظمة عند مقياس النانو، وهذا الأخير هو واحد من المليار من المتر^[11]؛ إذ يعكس هذا التعريف حقيقة أن التأثيرات الميكانيكية الكمومية هامة في مقياس المجال الكمي، ومنها تحول التعريف من هدف تكنولوجي معين إلى نوع من البحوث تشمل جميع أنواع التكنولوجيات التي تتعامل مع الخصائص الخاصة للمادة التي تحدث تحت عتبة الحجم المحددة^[12].

3.I. المواد النانوية:

تعرف المواد النانوية بأنها نوع من المواد المتقدمة التي يمكن إنتاجها، بحيث تكون أبعادها أو أبعاد حبيباتها الداخلية بين 1 و 100 نانومتر كما يظهر في الصورة (2.I)، فهي مواد تسلك سلوكا مغايرا عن المواد التقليدية كبيرة الحجم^[13]، ويعود هذا الاختلاف في الخواص إلى سببين أساسيين: هما مساحة السطح وتأثير الكم^[8]، وتتوفر هذه المواد على صفات شديدة التميز، ويمكن أن تكون مواد عضوية أو غير عضوية أو مواد طبيعية أو مصنوعة، إذ يهيمن هذا التصغير على المواد في النمط الذي تسلكه في التفاعلات الكيميائية والبيولوجية المختلفة^[13]، تم تصنيعها وهندستها عمدا لإظهار خصائص جديدة مثل القوة والموصلية مقارنة بالمادة السائبة، تستجيب المواد النانوية المعدنية إلى المنبهات الخارجية، مثل الضوء، ويمكن أن يؤثر شكل جسيمات النانوية على خصائصها الجوهرية^[14].



الشكل (2.I): صورة تمثل أحجام الهياكل الكيميائية والبيولوجية في مقياس النانو^[15].

1.3.I. تحضير المواد النانوية:

يتم تحضير الجسيمات النانوية بطريقتين كما يظهر في الصورة (3.I) وهما:

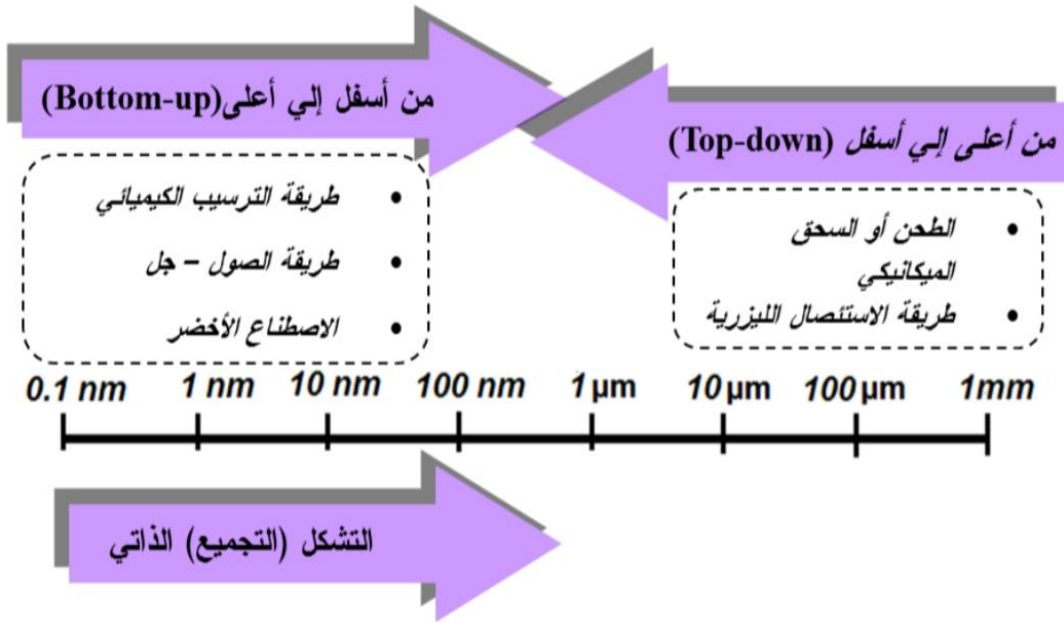
أ- طريقة من الأعلى إلى الأسفل:

تستخدم في هذه الطريقة نوع من القوة مثل القوة الميكانيكية^[16]؛ حيث تستعمل المواد السائبة كمادة أولية ويتم تقليل حجم الجسيمات إلى جسيمات نانوية من خلال عمليات فيزيائية وكيميائية وميكانيكية مختلفة^[17]، تبدأ هذه الطريقة بحجم مدرّوس من المادة محل الدراسة وتصغر شيئا فشيئا إلى أن تصل إلى

المقياس النانوي [11]؛ أي يتم تحويل المواد الكبيرة إلى جزيئات صغيرة بحجم النانو، وهي تشمل طرقاً مثل الطحن الميكانيكي، والاستئصال الحراري [17].

ب- طريقة من الأسفل إلى الأعلى:

هذه الطريقة تستخدم عملية التجميع الذاتي الجزيئي والكيمياء فوق الجزيئية لجعل الجزيئات تنظم نفسها بشكل مستقل في شكل مفيد [12]، قد تكون المواد المستخدمة في هذه العملية بشكل غازات أو سوائل أو مواد صلبة وتتبع أساليب منظمة أو فوضوية [16]، تبدأ هذه الطريقة بجزيئات منفردة كأصغر وحدة بحيث تتجمع العديد من الجزيئات ذاتياً في خطوات متوازية في تركيب أكبر، وتنتج هذه المعالجة هياكل أكثر تعقيداً من الذرات أو الجزيئات بالإضافة إلى تحكمها في توحيد في الأحجام والأشكال، وغالباً ما تكون هذه الطرق كيميائية، كما تستخدم لتحضير معظم المواد النانوية، وتتميز بصغر حجم النواتج، وقلة هدر للمادة الأصلية، وأيضا الحصول على قوة ترابط بين الناتج النانوي للجسيمات [11, 17].



الشكل (3.I): طرق تحضير المواد النانوية [18].

2.3.I. تصنيف المواد النانوية: قسمت المواد النانوية إلى ثلاثة أصناف كما تظهر الصورة (4.I)

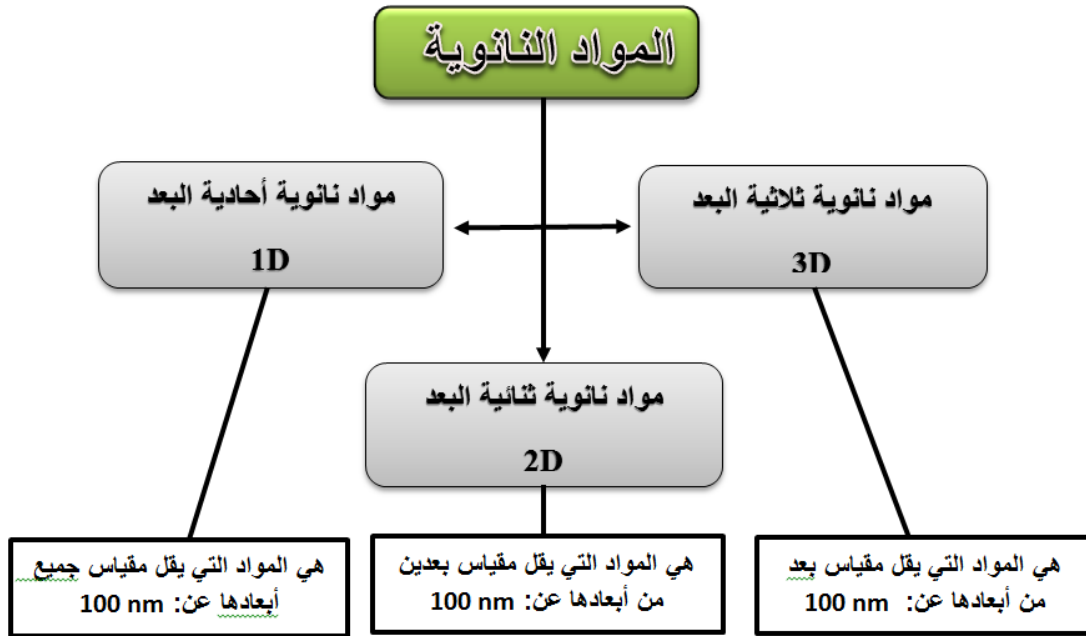
ونجد:

1.2.3.I. مواد نانوية أحادية البعد:

وهي جميع المواد التي يقل أحد مقاييس أبعادها عن 100 نانومتر، وتكون على هيئة طبقة مسطحة رقيقة، وسميت بأحادية البعد لأن لديها بعد نانوي واحد والمتمثل في ارتفاع الصفيحة. ومن أمثلتها: الرقائق أو الأغشية مثل المواد الموظفة في أعمال طلاء الأسطح [13].

I.2.2.3. مواد نانوية ثنائية البعد:

يشترط في هذه الفئة أن يقل مقياس بعدين من أبعادها عن 100 نانومتر، ومن نماذجها: الأنابيب أو الأسطوانات النانوية منها أنابيب الكربون النانوية، وسبب تسميتها بثنائية البعد أن لديها بعدين نانويين ويمتلان في القطر^[13].



الشكل (4.I): مخطط تصنيف المواد النانوية^[19].

I.3.2.3. مواد نانوية ثلاثية البعد:

وهي المواد التي تمتلك ثلاثة أبعاد نانوية لا تزيد عن 100 نانومتر^[8]، وتتمثل في الكريات نانوية الأبعاد، مثل الحبيبات النانوية وكذلك مساحيق الفلزات والمواد السيراميكية فائقة النعومة^[13].

I.3.3. خواص المواد النانوية:

I.1.3.3. الخواص الميكانيكية:

تتمتع المواد النانوية بخواص ميكانيكية مميزة، والتي تتمثل في ارتفاع قيم الصلادة للمواد الفلزية وسبائكها، وكذلك تزيد مقاومتها من خلال مواجهة اجهادات الأحمال الواقعة عليها، وزيادة في مقاومة الأسطح للخدش^[13]، كما توقّر أيضا انخفاضاً في الوزن بالإضافة إلى زيادة الاستقرار وتحسين القدرة الوظيفية^[16].

2.3.3.I. الخواص الكيميائية:

للمواد النانوية نشاط كيميائي بسبب الزيادة في مساحة السطح بالنسبة للحجم ولوجود عدد كبير من الذرات على السطح الخارجي للمادة فأصبحت تستخدم كمحفزات [8].

3.3.3.I. الخواص الفيزيائية:

أ. الخواص البصرية:

تختلف المواد النانوية عن نظائرها من المواد التقليدية كبيرة الحبيبات، فقد أظهرت إن امتداد تأثير حجم الحبيبات إلى تغيير الخواص البصرية للمادة ومنها التشتيت أو التفسير الضوئي لسطح المادة، وينعكس تصغير أحجام الحبيبات على قدرة تلك الحبيبات لمقاومة التفسير الضوئي وجمعها بين انبعاث طيفي ضيق المدى وطيف استنارة واسع المدى [13]، تتغير الخاصية البصرية للمادة النانوية بطريقتين وهما: الحبس الكمي ورنين على السطح (رنين البلازمون السطحي)، فالتقليل من حجم المادة يحدث الحبس الكمي ويصبح التباعد بين مستويات الطاقة بارزا بحيث يمكن رؤية التغير الحاد في لون النقطة الكمومية [17].

ب. الخواص المغناطيسية:

تعتمد قوة المغناطيس على مقاييس أبعاد حبيبات المادة المصنوع منها المغناطيس. وكلما صغرت تلك الحبيبات تزايدت مساحة أسطحها الخارجية وعدد الذرات على تلك الأسطح كلما ازدادت قوة وفعالية وشدة المغناطيس [13]، فالخواص المغناطيسية تتغير نتيجة الحصر الكمي للإلكترونات الجسيمات الصغيرة، وكذلك نتيجة تأثير السطح إذ تزداد نسبة مساحة السطح مقارنة بالحجم مسببة تكسر الروابط وتغير التماثل التركيبي، وزيادة عدد الإلكترونات السطح [17].

ت. الخواص الكهربائية:

أثر تناهي صغر أحجام حبيبات المواد النانوية وكثافة أعداد الحدود الحبيبية بالإيجاب على الخواص الكهربائية، والتي تتمثل في قدرتها الفائقة على توصيل التيار الكهربائي، مما مكن هذه القطاعات الصناعية من إنتاج أجهزة خفيفة الوزن عالية المواصفات التقنية [13]، حيث أثرت على المواد العازلة مثل: البوليمرات وأشباه موصلات في جعلها موصلة للتيار الكهربائي على المقياس النانوي [8].

ث. الخواص الحرارية:

المواد النانوية لها موصلية حرارية عالية [17]، نظرا لأن انتقال الحرارة يحدث على سطح الجزيئات [14]، تتأثر قيم درجات حرارة انصهار المادة من خلال تصغير أبعاد مقاييس حبيباتها، حيث تنخفض بتناقص أقطار تلك الحبيبات انخفاضا ملحوظا [13].

4.3.3.I. الخواص البيولوجية:

تحسين التلاؤم والتوافق البيولوجي وزيادة قدرة النفاذية والاختراق للموائع والحواجز البيولوجية التي تعوق وصول الأدوية والعقاقير العلاجية للجزء المصاب [13].

4.3.I. تطبيقات تكنولوجيا النانو:

لقد فتحت العلوم والتقنيات النانوية المتناهية في الصغر مجالاً حول تطبيقات متعددة ومتنوعة تشمل مختلف المجالات العلمية والصناعية [8]، مثل: بيولوجيا الجزيئية، الفيزياء، الكيمياء، الطب، علوم المواد والهندسة [14].

4.I.العنصر الكيميائي:

لقد عرّف الفيزيائي الإنجليزي بويل سنة 1661م العنصر الكيميائي على أنه جزء تتكون منه المادة، وعُرّف حديثاً على أنه لا يمكن تجزئته إلى أجزاء أصغر بالأساليب الكيميائية العادية، لكن يمكن تجزئته إلى جزيئات ذرية أو أصغر من ذلك أو كسره باستخدام أساليب أقوى من التفاعل الكيميائي [22]. وهو لبّ المادة والأساس في تعريف العنصر المادي من خلال العدد الذري، وهو مادة كيميائية نقية تتكون من نوع واحد من ذرات المادة التي تعرف بعددها الذري متمثلاً في عدد البروتونات [23].

1.4.I. معدن النيكل:

هو معدن فضي لامع تم اكتشافه في عام 1751م من قبل أكسل فريدريك كونسند في معدن يسمى نيكل له نواة مستقرة جداً رمزه الكيميائي Ni، مما يجعلها المنتج النهائي للعديد من التفاعلات النووية التي تحدث في النجوم، وعلى الأرض يتم توزيعه على نطاق واسع [24].

النيكل من العناصر الانتقالية وينتمي للدور الرابع [20]، من أهم خصائص العناصر الانتقالية أن لديها قابلية على الأكسدة تتراوح بين +1 إلى +8 لذلك فإن لها كثافات وأوزان عالية وكذلك درجات انصهار عالية [25]، فهو من الفلزات التي تُكون أيونات موجبة عند فقدان الإلكترونات [21، 26].

يُعد النيكل العنصر الثاني والعشرين من حيث الوفرة في القشرة الأرضية، كما يعد المعدن السابع من حيث وفرة العناصر الانتقالية، وهو عنصر نشيط كيميائياً بشكله الحر.

سبائك النيكل تحتوي على مقاومة جيدة للتآكل في وسط أساسي أو حامضي ولها استعداد جيد للتشكيل والالتحام.

البنتلانديت المصدر الرئيسي لفلز النيكل وهو عبارة على مزيج من الكبريت والحديد والنيكل. دخل النيكل في صناعة الصلب عام 1889م [26].

النيكل هو عنصر لا يوجد في البيئة إلا بمستويات منخفضة، ويكون ضرورياً في الكميات الصغيرة، قد يكون خطراً عند تجاوز الحد الأقصى المسموح به من الكميات [27].

2.4.I. معدن الألمنيوم:

هو معدن غير حديدي خفيف، أبيض فضي ناعم للغاية وهش، رمزه الكيميائي "Al" يمكننا أن نجده في الصخور النارية مثل سيليكات الألمنيوم كما أنه موجود في معادن مثل اللاتريت وهو موصل جيد للكهرباء والحرارة، وأن المواد المصنوعة من الألمنيوم أكثر بقليل من 8% [24].

الفصل الأول: دراسة عامة للأكاسيد الناقلة الشفافة

الألمنيوم من عناصر المجموعة الرئيسية وينتمي للدور الثالث منها [20]. وهو ثالث عنصر وفرة في الطبيعة، ويعتبر الألمنيوم من أكثر المعادن فعالية كيميائياً (معدن حر)، حيث يمكنه أن يرتبط بأكثر من 270 معدن مختلف، كون بنيته مكعبة ممركرة الوجوه [28].

الجدول (1.I): الخصائص الكيميائية والفيزيائية للألمنيوم [29].

Al	الرمز الكيميائي
13	الرقم الذري
26.98 g/mol	الكتلة المولية الذرية
660 C°	درجة حرارة الانصهار
2519 C°	درجة الغليان
2.7	كثافة
$2.7 \times 10^{-2} \Omega.m$	المقاومة الكهربائية
$220 W m^{-1} K^{-1}$	الموصلية الحرارية
$9.102 J Kg^{-1} K^{-1}$	القدرة الحرارية الكتلية
$24 \times 10^{-6} K^{-1}$	معامل التوسع
69000 Mpa	وحدة المرونة
مكعب ممرركز الوجوه	الشبكة البلورية
0.51 Å	نصف القطر الأيوني

5.I. الأكاسيد الناقلة الشفافة:

1.5.I. تعريف الأكاسيد الناقلة الشفافة:

والمعروفة بأكاسيد التوصيل الشفافة (TCO) اختصاراً ل (Transparent Conducting Oxides) [30]، تم اكتشافها عام 1907م على يد (Karl Baedeker) [31]، وكان أول استعمال لها عام 1954م [32]، وهي عبارة عن أكاسيد معادن أي أنها مكونة من ذرات معدن وذرات أكسجين يرمز لها ب (M_xO_y) .

M: الرمز الكيميائي للمعدن.

O: الرمز الكيميائي للأكسجين.

X, Y: أعداد طبيعية [33]

الأكاسيد هي عبارة عن أنصاف نواقل تمتاز بخصائص كهربائية وضوئية .

يكون نصف الناقل من نوع سالب إذا كانت حاملات الشحنة الأغلبية هي إلكترونات، ويكون من نوع موجب عندما تكون حاملات الشحنة الأغلبية هي فجوات (ثقوب) [32].

تصنف المادة حسب توصيليتها الكهربائية إلى ثلاثة أصناف:

(1) نواقل:

تكون فيها حزمة التكافؤ متداخلة مع حزمة التوصيل [34] وناقليتها الكهربائية عالية جداً $(\Omega.cm)^{-1}$ (10^8-10^3) [35].

(2) عوازل:

تكون فيها حزمة التكافؤ والتوصيل مفصولتان بحاجز طاقي، تصل قيمته إلى 5 إلكترون فولط أو أكبر^[34]، وناقليته ضعيفة $(\Omega.cm)^{-1}$ $(10^{-8} - 10^{-18})$ ^[35].

(3) أشباه موصلات:

لا تختلف كثيرا عن مخطط العوازل حيث يكمن الاختلاف بينهما في سعة فجوة الطاقة والتي تكون أقل بكثير من العوازل^[34, 35].

2.5.I. مميزات الأكاسيد الناقلة الشفافة:

للأكاسيد الناقلة الشفافة عدة مميزات والتي تجعلها هامة في التطبيقات العلمية وهي:

- عند زيادة درجة الحرارة تزداد ناقليتها وعند درجات حرارة منخفضة تكون شبة عازل.
- تعدّ الأكاسيد الناقلة الشفافة حساسة جدا عند إضافة بعض الشوائب إليها أو إحداث بعض العيوب فيها.
- تبدي حساسية عند تسليط الضوء عليها من خلال الظاهرة الكهروضوئية أو من خلال تغيير مقاومتها^[36].
- يمتد طيف نفاذيتها ما بين 400 إلى 1500 نانومتر.
- في الأطوال الموجية من 400 إلى 800 نانومتر تكون لها شفافية عالية^[37].

3.5.I. الخصائص الكهربائية للأكاسيد الناقلة الشفافة:

في عام 1970م انصب الاهتمام بالخصائص الكهربائية للأكاسيد الناقلة الشفافة من بينها:
أ. الناقلية الكهربائية والمقاومية:

يرمز للناقلية $(\Omega^{-1}.cm^{-1})$ σ والمقاومية $(\Omega.cm)$ ρ يمكن كتابتها بالعلاقة^[38]:

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

حيث:

q : شحنة حاملات الشحنة.

N : كثافة حاملات الشحنة.

μ : حركية الشحنات.

σ : الناقلية السطحية.

وتسمى أيضا بالمقاومة المربعة وتعطى بالعلاقة:

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

حيث:

d : سمك الشريحة.

ρ : المقاومة الكهربائية للمادة.

$$R_s = c \cdot \left(\frac{V}{I}\right) \quad (3.I)$$

حيث:

c : معامل تصحيح ويساوي 4.532.

v : فرق جهد.

I : شدة التيار.

ب. الحركية (μ):

هي من المقادير التي تؤثر على الناقلية حيث إن زيادة هذه الخاصية تؤدي إلى تحسين الخصائص الكهربائية للأكاسيد الناقلة الشفافة، وهذا المقدار يعتمد على انتشار حاملات الشحنة في الشبكة البلورية للمادة وتعطى بالعلاقة^[39]:

$$\mu = \frac{q \cdot \tau}{m^*} = \frac{q \cdot l}{m^* \cdot V} \quad (4.1)$$

حيث:

q : هي شحنة الإلكترون.

m^* : الكتلة الفعالة للإلكترون.

V : سرعة الحرارية للإلكترون.

τ : زمن الاسترخاء بين التصادمين.

l : متوسط المسير الحر.

4.5.I الخصائص الضوئية:

تعدّ الخصائص البصرية للمواد مهمة في العديد من التطبيقات الصناعية والمختبرية. تتجسد الخصائص البصرية للمواد في ثلاث ظواهر أساسية:

أ. النفاذية (T):

تعرف على أنها النسبة بين شدة الإشعاع النافذ وشدة الإشعاع الساقط، وتعتمد على عدة عوامل منها سمك الغشاء، ودرجة حرارته ونسبة التطعيم، وتعطى بالعلاقة^[32]:

$$T(\%) = \frac{I_T}{I_0} \cdot 100 \quad (5.1)$$

ب. الانعكاسية (R):

وهي النسبة بين شدة الضوء المنعكس وشدة الضوء الساقط وتعطى بالعلاقة^[39]:

$$R(\%) = \frac{I_R}{I_0} \cdot 100 \quad (6.1)$$

ت. الامتصاصية (A):

تعرف الامتصاصية على أنها النسبة بين شدة الإشعاع الممتص وشدة الإشعاع الساقط وتعطى بالعلاقة^[39]:

$$A(\%) = \frac{I}{I_0} \cdot 100 \quad (7.1)$$

التدفق الكلي محفوظ أي:

$$I_A + I_T + I_R = I_0 \quad (8.1)$$

أي:

$$T + R + A = 1 \quad (9.1)$$

ث. معامل الامتصاصية (α):

يعرف على أنه نسبة نقصان طاقة الإشعاع الساقط بالنسبة لوحدة المسافة في اتجاه انتشار الموجة في الوسط، وهو يعتمد على طاقة الفوتونات الساقطة وعلى خواص المادة، يمكن معرفة طبيعة الانتقالات الإلكترونية إن كانت مباشرة أو غير مباشرة، ويعطى بعلاقة الشدة [38]:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha d} \quad (10.1)$$

حيث:

I_0 : شدة الإشعاع الساقط.

I : شدة الإشعاع النافذ.

d : سمك المادة.

α : معامل الامتصاص.

و يعطى معامل الامتصاص من علاقة النفاذية:

$$T = (1 - R) \cdot e^{-\alpha d} \quad (11.1)$$

ج. معامل الخمود (K):

يعبر عن مقدار التوهين الحاصل للأشعة الكهرومغناطيسية، وهو كمية الطاقة التي تمتصها إلكترونات المادة من الفوتونات الساقطة عليها [40]:

$$K = \frac{\alpha \cdot \lambda}{4 \cdot \pi} \quad (12.1)$$

حيث:

λ : طول الموجي.

هـ. معامل الانكسار (n):

هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في الوسط، وهو الجزء الحقيقي من معامل الانكسار المعقد، ويمكن التعبير عنه بالعلاقة التالية [41]:

$$n = \left[\left(\frac{1 + R}{1 - R} \right)^2 - (K^2 + 1) \right]^{1/2} + \frac{1 + R}{1 - R} \quad (13.1)$$

5.5.I. الأكاسيد الناقلة الشفافة في الحالة النقية والمطعمة:

5.5.I.1. الحالة الذاتية:

يكون فيها شبه ناقل خالٍ من الشوائب والعيوب أي في حالة توازن حيث نجد فيه عدداً متساوياً من حاملات الشحنة السالبة والموجبة (الإلكترونات والفجوات)، ونجد فيه حزمة التكافؤ تكون مملوءة بالإلكترونات وحزمة التوصيل فارغة عند درجة حرارة صفر مطلق [42].

5.5.I.2. الحالة المطعمة:

التطعيم هو إضافة شوائب إلى شبه ناقل بحيث يعمل على إضافة مستويات طاقة جديدة تقع في الفاصل الطاقى الممنوع (بين حزمتين التكافؤ والتوصيل)، وتكون هذه المستويات إما فوق حزمة التكافؤ أو تحت حزمة التوصيل حسب نوع التطعيم [43]، بحيث يتم إنتاج حاملات الشحنة الأكثرية بواسطة التطعيم وحاملات الشحنة الأقلية تنتج حرارياً [44].

أ. شبه ناقل مطعم من النوع P:

يتم الحصول عليها بإضافة شوائب ثلاثية التكافؤ، بحيث تكون حاملات الشحنة الأغلبية هي الفجوات، وحاملات الشحنة الأقلية هي الإلكترونات [44].

ب. شبه ناقل مطعم من نوع N:

يتم الحصول عليه بإضافة شوائب خماسية التكافؤ والتي تحل في مكان الأكسجين أو المعدن [45]، ويكون فيه حاملات الشحنة السالبة (الإلكترونات) هي الغالبة، وحاملات الشحنة الأقلية هي الفجوات التي تعمل على إضافة مستويات طاقة جديدة أسفل حزمة التوصيل، وهذا يُمكن الإلكترونات من الانتقال من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل عند درجات الحرارة الغرفة.

في الحالة الذاتية يشغل مستوى فرمي منتصف الحزمة الطاقية الممنوعة في حين أنه يكون في أنصاف النواقل من نوع السالب ينزاح مقتربا من حزمة التوصيل، أما بالنسبة للنوع الموجب فيقترب من حزمة التكافؤ [44، 46].

6.5.I. تطبيقات الأكاسيد الناقلة الشفافة:

للأكاسيد الناقلة الشفافة عدة تطبيقات منها [47]:

- الشاشات المسطحة.
- تجويف الليزر.
- المرايا الكهرومغناطيسية.
- الحماية الكهرومغناطيسية.
- جهاز استشعار الغاز.
- النوافذ العاكسة للحرارة (مباني، فرن).
- شاشة التحكم باللمس.
- الديود العضوي.
- الخلايا الشمسية.



الشكل (5.I): صورة تمثل أهم تطبيقات الأكاسيد الناقلة الشفافة^[33].

6.I. الأكاسيد المعدنية:

الأكسيد هو مركب كيميائي يحتوي على ذرة أكسجين أو أكثر، والمعادن هي مواد لها خصائص فريدة المتمثل في الموصلية الكهربائية والحرارية، الانصهار، معامل الانتشار....^[48]. وتعدّ الأكاسيد من بين أكثر المركبات وفرة في الطبيعة، بالإضافة إلى كونها لها تطبيقات تكنولوجية عديدة وهامة وفي الفترة الأخيرة توجهت الأنظار نحوها بتطوير تكنولوجيا ونانوي كبير، وهذا ما جعل منها متميزة في العديد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية^[49، 50].

1.6.I. أكسيد النيكل:

هو مادة شبه موصله نجدها في شكل مسحوق بلوري أخضر، يحتوي على فجوة طاقة عريضة ومباشرة ومهمة بسبب استقرارها الكيميائي الممتاز^[51، 52]، يغير لونه عند تسليط مجال كهربائي عليه، وهو مادة تسمح بتخزين الأيونات ويمتاز بمتانة عالية^[53]، ويكون شفافاً للأشعة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء القريبة ويستخدم كأقطاب كهربائية شفافة^[53، 54].

الجدول (2.I): أهم خصائص أكسيد النيكل^[53، 55].

6.67	الكثافة (g/cm^3)
842.87	وزن الجزيئي (g/mol)
1984	درجة الانصهار ($^\circ\text{C}$)
نوع توصيلية الكهربائية (P- Types) موجب	

1.1.6.I. البنية البلورية لأكسيد النيكل:

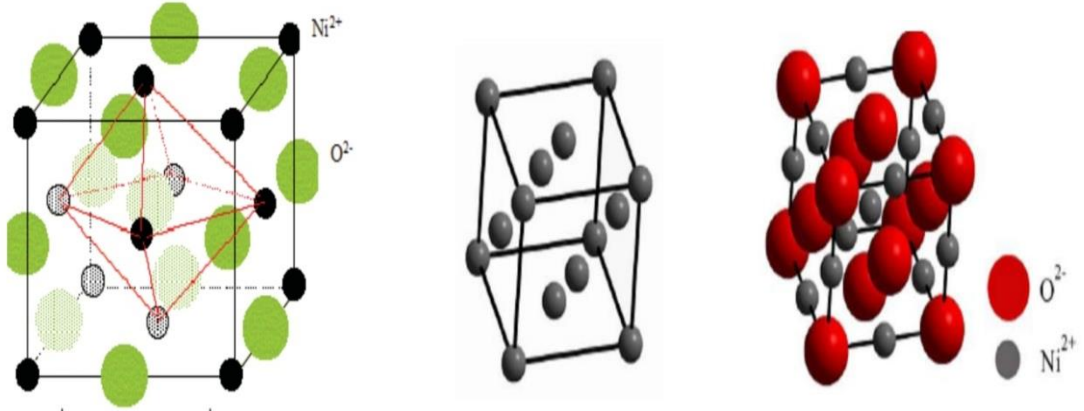
يتبلور أكسيد النيكل على هيكل مكعب من النوع (CFC) متمركز الأوجه كما هو موضح في الشكل (6.I) ويشابه تركيب كلوريد الصوديوم^[31، 55]، يتكون من 8 ذرات (4 ذرات نيكل و 4 ذرات أكسجين)، كون مواقع أيونات الأكسجين (O^{2-}) في رؤوس المكعب بالإضافة إلى مراكز الأوجه وأيونات النيكل (Ni^{2+}) في مراكز منتصف الأضلاع تشكل أيونات الأكسجين خلية متمركزة الأوجه (CFC) وأيونات النيكل (Ni^{2+}) تمثل جوار الأقرب^[56].

- قيمة نصف قطر الأيوني^[52]: $R(Ni^{2+})=72 \text{ pm}$ ، $R(O^{2-})=140 \text{ pm}$.

- بالنسبة للمرجع $(0,0,0)$ لذرة النيكل تحتل ذرة الأكسجين الموقع $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$.

- المستوي (100) هو مستوي مشترك يتألف من 50% من ذرات النيكل و50% ذرات الأكسجين أما المستوي (111) فهو بالتناوب.

- الوجه (111) قطبي وبالتالي غير مستقر، والوجه (100) غير قطبي إذا فهو مستقر^[58].



الشكل (6.I): البنية البلورية لأكسيد النيكل^[57, 31].

I.6.1.2. خصائص الشبكة البلورية لأكسيد النيكل:

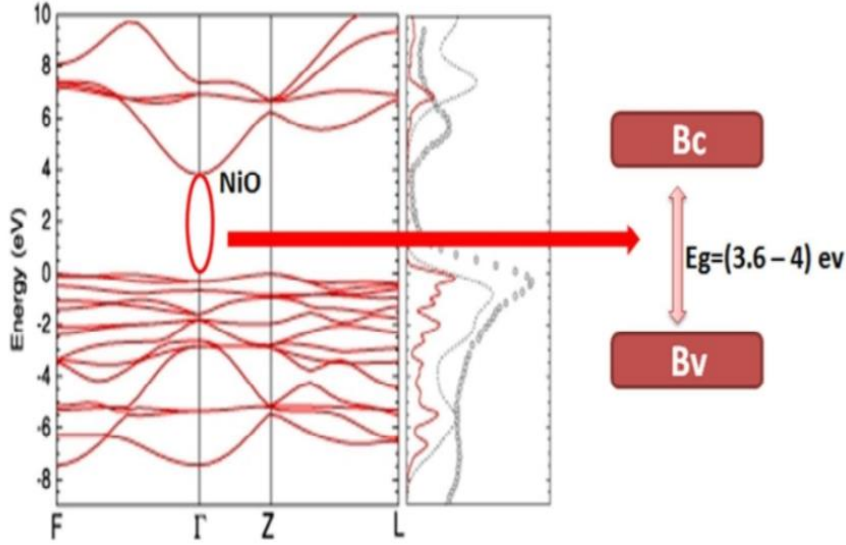
نلخص خصائص الشبكة البلورية في الجدول (3.I):

الجدول (3.I): خصائص الشبكة البلورية لأكسيد النيكل.

Fm-3m	المجموعة
4.17	$a=b=c (A^\circ)$
90	$\alpha=\beta=\gamma (^\circ)$

I.6.1.3. الفاصل الطاقي لأكسيد النيكل:

لأكسيد النيكل فاصل طاقي يتراوح بين (4-3.6) إلكترون فولط وهو ما توضحه الصورة (7.I) ويختلف باختلاف طرق الترسيب وشروطها^[58].



الشكل (7.I): قيمة الفاصل الطاقوي لأكسيد النيكل [59].

4.1.6.I الخصائص الكهربائية:

عند درجة حرارة الغرفة يكون أكسيد النيكل غير عازل، ويعدّ من المواد التي لها فجوة طاقة عريضة. يستعمل في الجانب الصناعي في صنع الأنود الكهربائي، وبسبب كفاءته الإلكترونية العالية يستعمل في عدة استخدامات.

لأكسيد النيكل عدة خصائص كهربائية والموضحة في الجدول (4.I) [52]:

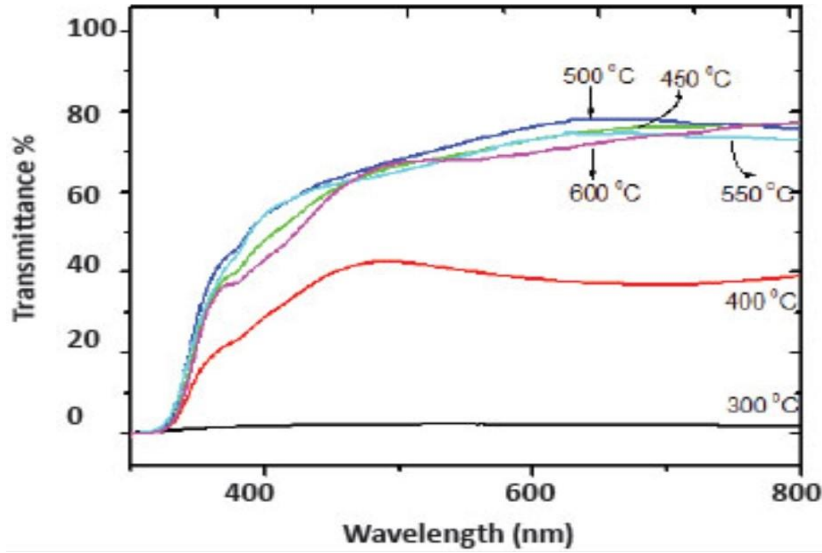
الجدول (4.I): الخصائص الكهربائية لأكسيد النيكل.

مقدارها	الخاصية
أقل من 10	الناقلية $\sigma (\Omega.cm)^{-1}$
1-0.1	الحركية $\mu (cm^2/v.s)$
$10^{18}-10^{19}$	تركيز حاملات الشحنة $n (cm^{-3})$
4-3.6	فجوة الطاقة الممنوعة $E_g (ev)$
11.9	ثابت العزل الكهربائي ϵ

5.1.6.I الخصائص الضوئية:

أكسيد النيكل نصف ناقل شفاف للأشعة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء القريبة [34]، تعدّ شفافيته في المجال المرئي مرتبطة بالتكافؤ، قيمة معامل انكساره 2.33-1.6 [52].

أشار العالمان (A. Venter/ R. Botha) إلى أن نفاذية الضوء فوق البنفسجي والمرئي في طبقة رقيقة من أكسيد النيكل تتعلق بدرجة الحرارة ودرجة التأكسد، حيث وضحا من الشكل (8.I) أن النفاذية عند 350 درجة ليست واضحة أما عند 450 درجة خلال 2,5 ساعة أخذت قيمة عظمى (70-80) بالمئة في مجال الأطوال الموجية من 500 إلى 1000 نانومتر [54].



الشكل (8.I): طيف النفاذية لطبقة رقيقة من أكسيد النيكل في 2.5 ساعة عند درجات حرارة مختلفة [54].

6.1.6.I. الخصائص الفيزيائية والكيميائية:

لأكسيد النيكل عدة خصائص فيزيائية وكيميائية موضحة في الجدول (5.I) [60، 61]:

الجدول (5.I): الخصائص الفيزيائية والكيميائية لأكسيد النيكل.

أكسيد النيكل	اسم المعدن
NiO	الصيغة الكيميائية
842.87g/mol	الكتلة المولية
مسحوق بلوري	المظهر
أسود/اخضر	اللون
6.67g/cm ³	كثافة
1984c°	نقطة الانصهار
قابل للذوبان	ذوبان في الماء

7.I. خلاصة:

تم التطرق في هذا الفصل إلى مفهوم تقنية النانو وبعض التفاصيل حولها بالإضافة إلى دراسة الأكاسيد الناقلة الشفافة وخصائصها وتطبيقاتها الواسعة والمهمة في العديد من المجالات، كما تم التعرف على الأكاسيد المعدنية ثم تخصصت الدراسة حول أكسيد النيكل التي تمت بالتعرض على أهم خصائصه البنيوية والفيزيائية والكيميائية، ومن ثم التعرف على خصائص معدن الألمنيوم.

مراجع الفصل الأول

مراجع باللغة العربية

- [1] ي. القدسي، أ. الخضر، إ. الغريبي، ص. ه. السالم، م. علي، ع. المنوفي، " دور تقنية النانو في تحسين إنتاجية المحاصيل الحبية ودعمها للاقتصادي الزراعي في المرحلة الراهنة"، IJSRSD، المجلد. 4، الإصدار. 1، ص1(2021).
- [2] ف. ن. الرفاعي، " مفاهيم أساسية في تقنية النانو"، كلية العلوم، جامعة ذي قار، العراق، (2015).
- [3] س. بنت غازي غازي العتيبي، " الوعي بتقنية النانو لدى طالبات كلية العلوم بجامعة جدة في المملكة العربية السعودية"، المجلة العربية للنشر العلمي (AJSP)، العدد 28، ص42 (2021).
- [4] ن. منصور، " تحضير ودراسة الخواص الفيزيائية للطبقات الرقيقة لأكسيد الزنك (ZnO) بدلالة عدد الطبقات وقياس سمكها"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة محمد خيضر، بسكرة (2022).
- [5] ف. خلفاوي، " تحديد خصائص أفلام أكسيد القصدير (SnO₂) المطعمة بالكوبالت (Co)", مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الوادي، الجزائر (2018).
- [8] ع. درباله، أ. حمزة، " تكنولوجيا النانو وتطبيقات في مجالات عديدة (الزراعة-تكنولوجيا الغذاء-المياه-البيئة-مكافحة الآفات)", دار الكتب العلمية، مصر (2016).
- [9] أ. أ. فاضل، " دور تكنولوجيا النانو في تحقيق ابعاد التنمية المستدامة"، مجلة الإدارة والاقتصاد، العدد 129، الصفحات 406-419 (2021).
- [11] س. ع. عبود، " آفاق استخدام تقنية النانو تكنولوجي وتطبيقاتها"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، رقم 40، العدد 3، الصفحات 107-125(2018).
- [12] ف. صبري، " تقنية النانو الجزيئية"، ترجمة: نبيه قطان، واحد مليار مستنير (2023-01-15).
- [13] م. ش. الإسكندراني، " تكنولوجيا النانو من أجل غد أفضل"، عالم المعرفة، الكويت (2010).
- [14] أ. ع. ح. الشمري، " علم النانو وتقنية النانو تحضيره وتطبيقاته"، احمد عامر الشمري، العراق (06-2023).
- [16] ف. صبري، " نانوسينسو: تطوير مستشعرات نانوية ذكية متصلة بالشبكة لإضاءة كيمياء الدماغ والكشف المبكر عن السرطان"، ترجمة نبيه قطان، واحد مليار مستنير (2023).
- [20] ب. ع. نعمة، " الجدول الدوري والخواص الدورية للعناصر"، جامعة المنارة، سوريا(اللاذقية).
- [21] إ. شري، " مقدمة قصيرة جدا الجدول الدوري"، ترجمة: محمد عبد الرحمان إسماعيل، مؤسسة هنداوي لنشر المعرفة والثقافة(ط1) (2016).
- [22] صالح يحيى الباروني، " رواد ومبدعون في مجال البحث العلمي والتقني"، دار حميثرا للنشر والترجمة (16-07-2018).
- [23] محمد سعيد عبد الله، " تعلم... الخزف... فن وعلم: دليل الهواة والدارسين والفنانين"، المنهل (2015).
- [25] خالد فائق صديق العبيدي، " تفصيل النحاس والحديد في الكتاب المجيد"، دار الكتب العلمية، لبنان(بيروت) (21-07-2007).
- [26] سعد الله نجم النعيمي، " تسمم الإنسان بالعناصر الثقيلة"، دار الكتب العلمية(ط1)، لبنان(بيروت) (25-2020-11).
- [27] سعد الله نجم النعيمي، " التربة السليمة وصحة الغذاء والانسان"، دار الكتب العلمية (ط1)، لبنان(بيروت) (29-03-2021).
- [29] ن. مصباحي، " الدراسة البنوية والضوئية لأكسيد القصدير (SnO₂) المطعم بالألمنيوم بطريقة الرش الحراري"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2019).

- [30] م. بن خليل، "دراسة بعض الخواص البصرية والكهربائية لأغشية أكسيد الزنك المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 30، العدد 6، العراق (2012).
- [34] م. العقون، "دراسة تأثير زمن الطبقات الرقيقة لأكسيد النيكل (NiO) على بعض الخصائص الفيزيائية، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح، الجزائر (2017).
- [35] و. بن علي، ص. بوشول، "تحضير ودراسة الأغشية الرقيقة لكبريتيد الكاديوم (Cds) المرسبة بطريقة الحمام الكيميائي (CBD)"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2018).
- [36] أ. زيد عبد، "دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية (NiO)"، رسالة ماجستير، جامعة ديالى، العراق (2012).
- [37] ف. حميدة زينب، ص. صمامة، "دراسة بعض الخصائص البصرية لأغشية أكسيد النيكل المطعمة تطعيما مزدوجا بالنحاس Cu وكوبالت Co"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2020).
- [38] م. حريز بلقاسم، "دراسة الخصائص البنيوية والضوئية والكهربائية لأكسيد القصدير المطعم بالفلور المتوضع بتقنية الأمواج فوق الصوتية، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2014).
- [40] ع. عيادة إبراهيم، ز. ناجي مجيد، س. عبد الله حسن، "دراسة تأثير التلدين والتشويب على بعض الخواص البصرية لأغشية كبريتيد الخارصين الرقيقة"، مجلة جامعة كركوك للدراسات العلمية، المجلد 8، العدد 1، العراق (2011).
- [41] ن. علي حسين، "دراسة الخواص البصرية لأغشية أكسيد النحاس (CuO) المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري وتأثير إشعاع كما عليها"، مجلة العلوم المستنصرية، المجلد 33، العدد 2 (2012).
- [42] ن. م. ع. الكرخي، "دراسة الخصائص التركيبية والبصرية اغشية (ZnO: Sn) المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري"، رسالة ماجستير، جامعة ديالى، العراق (2012).
- [44] ص. س الراوي، "فيزياء الإلكترونيات، مطبعة جامعة الموصل، العراق (1987).
- [45] ش. لعشاش، "تحضير ودراسة الخصائص الفيزيائية لأكسيد الزنك المطعم بالكوبالت ب تقنية-Sol-gel/spain-caoting"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة مسيلة، الجزائر (2020).
- [48] ع. ك. فطحيزة، ع. س. غمام، "دراسة أكسيد الحديد المطعم بالألمنيوم"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2021).
- [51] ر. ص. ع. الدليمي، "دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية (Ni_(1-x) Zn_xO) المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحرارية"، رسالة ماجستير، جامعة ديالى، العراق (2011).
- [53] و. بن علي، ص. بوشول، "تحضير ودراسة الأغشية الرقيقة لكبريتيد الكاديوم (Cds) المرسبة بطريقة الحمام الكيميائي (CBD)"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2018).
- [55] أ. زيد عبد، "دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية (NiO)"، رسالة ماجستير، جامعة ديالى، العراق (2012).
- [58] ن. ع. حسين، "دراسة الخواص البصرية لأغشية أكسيد النحاس (CuO) المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري وتأثير اشعاع كما عليها"، مجلة العلوم المستنصرية، المجلد 33، العدد 2 (2012).
- [59] س. ربيعي، أ. ع. طيار، "تحضير ودراسة تأثير درجة الحرارة على الخصائص الضوئية لشرائح أكسيد الزنك المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2020).
- [60] ع. ر. صديق، "دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية Ni_(1-x) Zn_xO المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري"، رسالة ماجستير، جامعة بابل، العراق (2011).

مراجع باللغة الأجنبية

- [6] J. Garni, "élaboration de couches minces d'oxydes transparents et conducteurs par spray cvd assiste par radiation infrarouge pour applications photovoltaïques ", engineering sciences, thèse de doctorat, arts et métiers paris tech, France(2009) .
- [7] S. Yahiaoui, " l'effet de la molarité des différentes sources d'étain sur les propriétés des couches minces d'oxyde d'étain SnO₂ élaborées par spray ultrasonique", magister thesis, Biskra university, Algeria (2014).
- [10] d. a. richarads al, " antibody fagements as nanoparticle targeting ligands: astep in the light direction", chemical science, vol 8, p 63-77 (2017).
- [15]b. d. eddine," élaboration et étude de nanoparticules Au/TiO₂", présenté pour obtenir le diplôme de magister en physique, université mentori, Constantine, p1-73 (2017).
- [18]c. buzea et al," nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity", biointerphases, vol 2, p 17-71 (2007).
- [19]f. c. adams et al," nanoscience, nanotechnology and spectrometry", spectrochimica acta part B, spectrochimica acta part B 86, p3-13 (2013).
- [24] Enrique luis graue wiechers rector," te la tabla de los elementos", hecho e impreso en méxico (1' edicion), coyoacan (méxico) (2019).
- [28] Alena sindelar, "les problèmes du commerce de certains produits provenant des ressources naturelles (étude documentaire sur l'aluminium et les produits en aluminium)", GATT, Geneva (1987).
- [31] H. mouliki," Matériaux et dispositifs electrochromes à base de NiO modifie en couche minces", Thèse de doctorat, université de Bordeaux, France (2014).
- [32] 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)", Thèse de doctorat, Université Mohammed V-AGDAL (2013) .
- [33] N. Boufaa," Elaboration et caractérisation des Nano poudres d'oxyde d'étain (SnO₂)", mémoire de magister, universite mentouri Constantine (2012).
- [39] N. Bourik," comparaison des effets antireflets du (SnO₂) et ZnO utilises comme couches antireflet sur les propriétés de la cellule solaire a homo-jonction", mémoire magister, université mouloud mammeri Tizi-Ouzou (2013).
- [43] A. Khawwam Mohammed "“ studying the effect of Annealing on the structural and Optical Properties of (Zn_{1-x}Fe_xO) Thin Films prepared by chemical spray pyrolysis Method"“, thesis the degree of M. Sc, Diyala University, Iraq (2014)
- [46] B. I. Shama, R. K. Purohit, " Semiconductor Heterojunction", pergamon Press (1974).
- [47] J. Dekkers," Transparent Conducting Oxides on Polymeric Substrates by pulsed laser Deposition", ph.D, thesis University of Twente, Enschede, The Netherlands (2007).
- [49] Ali. Attarad, et al, "Synthesis, characterization, application, and challanges of iron oxide nanoparticles". Nanotechnology, science and application 9:49
- [50] Bezencenet, Odile (2008)." Propriétés et couplage d'échange dans le système modèle : Co/ α -Fe₂O₃ (0001)".Diss. Paris 6 (2016).
- [52] H. Benzarouk," Synthèse d'un oxide transparent conductor (OTC) par pulvérisation chimique (ZnO, NiO)", Mémoire de Magister, Université de Badji Mokhtar, Algérie (2008).
- [54] A. Venter, J. Botha," Optical and Electrical properties of NiO for possible dielectric applications", S Afr J Sci.107(1/2), Art.268, vol 107, N 6 pages. 102 (2011).
- [56] H. Sato, T. Minami, S. Takata and T. Yamada," Thin Solid films", 236, 27 (1993).
- [57] M. Ghougali," elaboration and characterization of nanostructuring NiO thin films for gaz sensing applications", doctoral thesis, university of Biskra, Algeria (2019).
- [61] P. Dae hoon," Optimization of nickel oxide-based electrochromic thin films", thèse de Doctorat, l'université Bordeaux 1 (2010).

الفصل الثاني

طرق الترسيب وتقنيات المعاينة

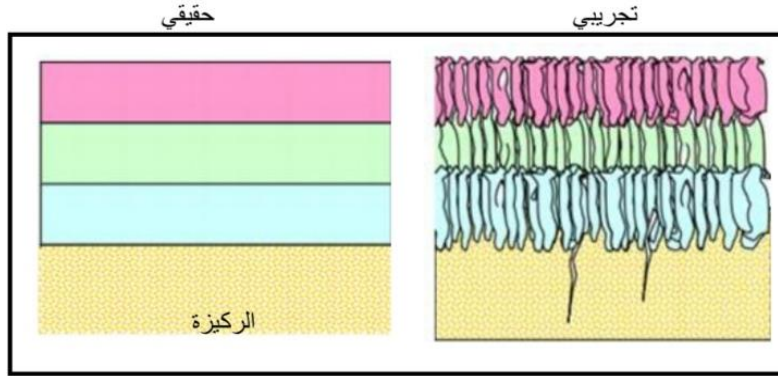
1.II. مقدمة:

جذبت دراسة الأغشية الرقيقة اهتمام الفيزيائيين منذ النصف الثاني من القرن التاسع عشر، حيث أجريت العديد من البحوث في هذا المجال، وتعدّ هذه التقنية من أهم التقنيات التي أسهمت في تطوير تكنولوجيا النانو، ودراسة أشباه الموصلات. وتحظى الأغشية الرقيقة اليوم باهتمام أكبر في مجالات متعددة في الجانب المدني والعسكري وفي صناعة الخلايا الشمسية... [1].

لقد تطورت وتنوعت طرق تحضير الأغشية الرقيقة فمنها الفيزيائية ومنها الكيميائية، ومن أهم الطرق المندرجة تحت هذه الأخيرة طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري، وهي تقنية تتميز بمزايا متعددة منها أنها منخفضة التكلفة، وسهلة الاستخدام، وأمنة نسبياً، ويمكن تنفيذها في معمل قياسي [2]؛ لذلك اختيرت هذه الطريقة من بين الطرق المختلفة في هذه الدراسة. سيتناول هذا الفصل مفهوم الأغشية الرقيقة وطريقة نموها، وبعض تقنيات تحليلها ومعاينتها.

II. 2. مفهوم الأغشية الرقيقة:

يستعمل مصطلح الأغشية الرقيقة لوصف طبقة واحدة أو طبقات عديدة من الذرات التي لا يتعدى سمكها مايكرونا واحداً أو عدة نانومترات، بدأ العمل في مجال تحضير الأغشية الرقيقة في منتصف القرن التاسع عشر [3]، ففي عام 1852 م توصل كل من العالمان (Grove) و(Bunsen) إلى تحضير أغشية معدنية رقيقة [4]، إذ يتمثل الفرق بين المادة الصلبة والأغشية الرقيقة أنه في الحالة السائبة نهمل دور الحدود(السطوح) في الخصائص أما في حالة الأغشية الرقيقة يكون الغالب تأثير السطوح على الخصائص، فكلما زاد انخفاض السمك زاد تأثير السطوح في الخصائص الفيزيائية [5]. يمكن توضيح الفرق بين البنية الحقيقية والتجريبية للطبقة الرقيقة في الشكل (1.II):



الشكل (1.II): البنية الحقيقية والتجريبية للطبقة الرقيقة [6].

II. 3. مبدأ ترسيب الأغشية الرقيقة:

إن ترسيب شريحة رقيقة على ركيزة صلبة يستدعي أن تمر جسيمات المادة على وسط ناقل ويكون هذا الوسط على اتصال مباشر بالركيزة، عندما تصل الجسيمات لسطح الركيزة جزء منها يتمسك بالسطح من خلال قوة الروابط الكيميائية الناشئة.

تكون الجسيمات إما ذرات أو جزيئات أو أيونات ووسيلة نقل للمواد قد تكون صلبة، أو سائلة، أو غازية/فراغ [7].

• الوسط الصلب:

في هذه الحالة تكون الرّكيزة على تماس مباشر مع المادة المراد ترسيبها لكن الجسيمات فقط تنتشر على الرّكيزة لتشكل طبقة رقيقة، وتعد هذه التقنية صعبة جدا [8].

• الوسط السائل:

هناك طريقتان للترسيب، هما طريقة المحلول الهلامي (Sol-Gel) وطريقة الحمام الكيميائي.

• الوسط الغازي أو الفراغ:

يعدّ الوسط الغازي من أكثر الأوساط المستعملة لترسيب الطبقات الرقيقة. وهو يعتمد على الأبخرة الكيميائية للمواد ويكمن الفرق بين الوسط الغازي والفراغ في قيمة متوسط المسار الحر للجزيئات (التصادم) [9].

II. 4. طرائق وتقنيات ترسيب الأغشية الرقيقة:

تصنف التقنيات المستخدمة في ترسيب الأغشية إلى مجموعتين هما:

II. 1.4. طرائق الترسيب الفيزيائية:

- الترسيب الفيزيائي للبخر.
- الاستئصال بالليزر.
- تضخيم الحزمة الجزيئية.
- رشاشات مغنطرونية.

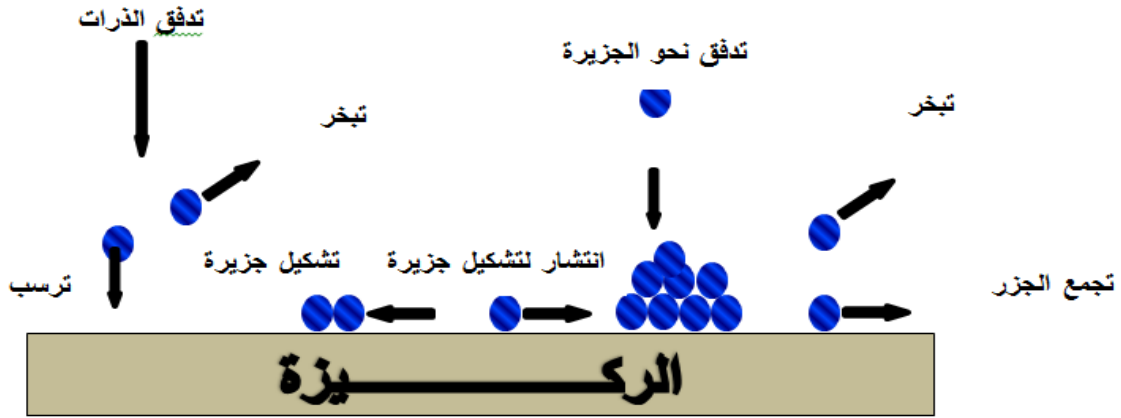
II. 2.4. طرائق الترسيب الكيميائية:

- بخار كيميائي.
- الرّش بالانحلال الكيميائي الحراري.
- تفريغ الكهربائي.
- ترسيب حمام مائي.
- طلاء بالدوران [10].

II. 5. آليات نمو الأغشية الرقيقة:

يتم تحضير الأغشية الرقيقة عن طريق الترسيب بالمواد (معادن، أشباه موصلات...) كما هو موضح في الشكل (II. 2) في ثلاث مراحل أساسية:

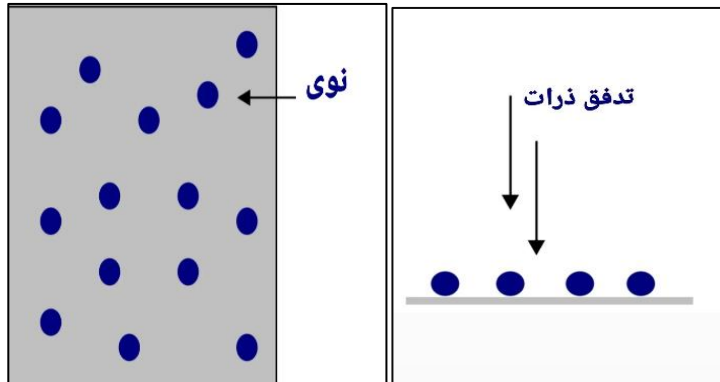
- تحضير المواد المناسبة للترسيب (ذرات، جزيئات).
- نقل الجسيمات المراد ترسيبها من المصدر إلى الرّكيزة.
- التكتيف على الرّكيزة إما بطريقة مباشرة أو عن طريق التفاعل الكيميائي.
- وهذه المرحلة تنقسم إلى ثلاث مراحل أخرى:



الشكل (II.2): آليات نمو الأغشية الرقيقة على سطح ركيزة [11].

أ. مرحلة التتوي:

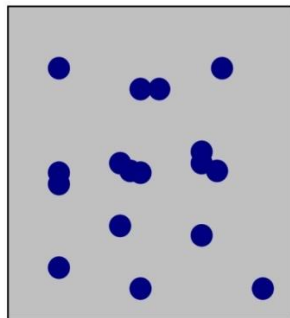
تظهر على الواجهة العلوية للركيزة تجمعات أو بقع (جزر) صغيرة من المادة المرسبة، بحيث تكون مستقرة حرارياً. تحدث هذه المرحلة كما هو واضح في الشكل (II.3):



الشكل (II.3): مرحلة التتوي [12].

ب. مرحلة الالتحام:

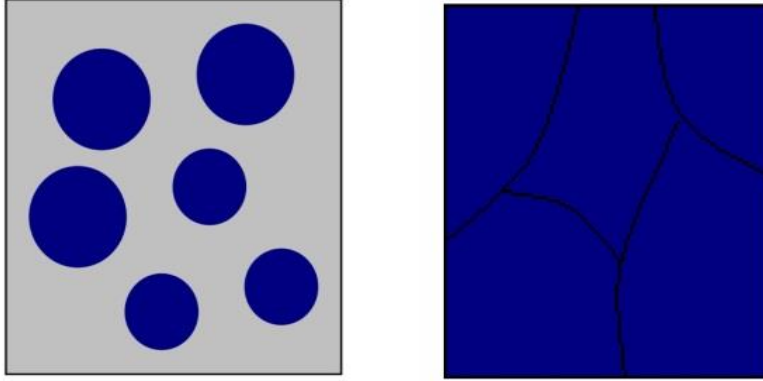
في هذه المرحلة يتم التصاق الجزر مع بعضها البعض، مخلقة بعض الفجوات (فراغات) فيما بينها، وتؤدي درجة الحرارة إلى تسريع عملية الالتحام. يمكن التعبير عن هذه المرحلة كما في الشكل (II.4):



الشكل (II.4): مرحلة الالتحام [12].

ت. مرحلة النمو:

في الأخير يتم تشكيل طبقة مستمرة وذلك لزيادة حجم الجزر واقتربها أكثر من بعض مما يسمح بسدّ الفجوات فيما بينها، بالتالي تشكيل غشاء رقيق ومستمر على سطح الركيزة. وهي موضحة في الشكل (II. 5):



الشكل (II.5): مرحلة النمو [12].

وفي عام 1958 قام أرنيسست موير بتصنيف أنماط النمو إلى ثلاثة أقسام:

II. 1.5. نمو ثنائي الأبعاد (2D) نمو فرانك فندر ميرو:

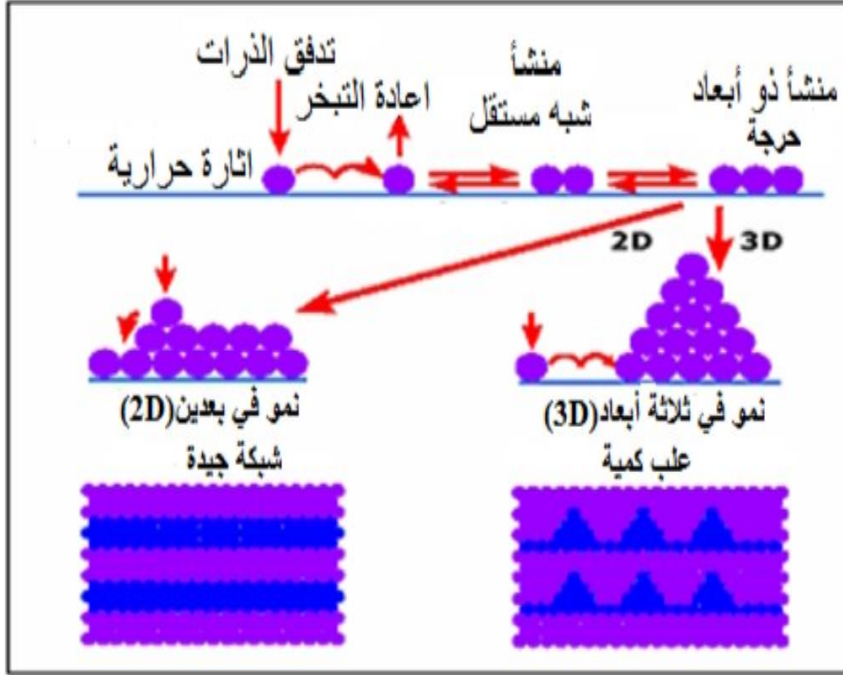
يحدث هذا النوع من النمو عندما تكون طاقة الربط بين الطبقة الرقيقة والركيزة أكبر أو تساوي طاقة الربط بين الذرات المتموضعة، الذرات الأولى التي تصل إلى سطح الركيزة تشكل طبقة تغطي كامل السطح ثم تتموضع الطبقات التي تليها طبقة بطبقة.

II. 2.5. النمو الثلاثي الأبعاد (نمو فولمر وابر):

يتشكل على سطح الركيزة أنوية صغيرة ثم تنمو مشكلة جزر وفي الأخير تلتحم هذه الجزر لتكوّن طبقة مستمرة، يتميز هذا النوع بكون ذرات هذه الطبقة تكون شديدة الالتصاق مع الركيزة.

II. 3.5. النمو المختلط (نمو سترانسكي كراستانوف):

يعتبر مزيج من النمطين السابقين، النمو الأول يكون ثنائي الأبعاد بعدها يميل النمو إلى أن يصبح ثلاثي الأبعاد مع تشكيل الجزر، وهذا راجع إلى أن طاقة التفاعل بين الذرات المتموضعة على السطح والركيزة تنخفض تدريجياً. توضح أنماط نمو الطبقات الرقيقة في صورة مبسطة في الشكل (II. 6):



الشكل (II. 6): مختلف أنماط نمو الطبقات الرقيقة [13].

II. 6. طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري:

ترتكز هذه الطريقة على رش محلول يحتوي على المادة المراد ترسيبها والتي تكون إما كلوريدات أو نترات قابلة للذوبان في الماء والكحول، ترش هذه المادة على ركيزة ساخنة بدرجة حرارة من 200 إلى 500 درجة، تعمل هذه الحرارة على تبخير المذيبات وتنشيط التفاعل الكيميائي، وتنتج عن هذه الطريقة طبقة رقيقة جدا من المادة المرسبة ولها خطوات متعددة:

II. 1.6. تكسير المحلول إلى قطرات أو بخار ذو بعد صغير جدا:

يتم توليد قطرات من المحلول وإرسالها بسرعة أولية نحو سطح الركيزة.

يتعلق حجم ومعدل الانحلال والسرعة الأولية للقطرات بالبخاخات (الضغط أو الهواء العالي)، ويعمل زيادة ضغط السائل على زيادة قطر القطرة.

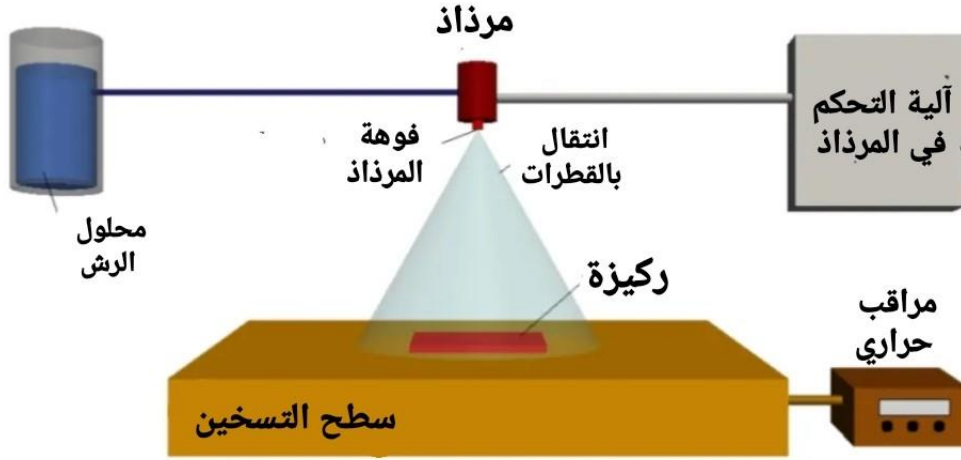
II. 2.6. انتقال البخار أو القطرات في الهواء إلى الركيزة:

تغادر القطرات البخاخة بسرعة يحددها المرذاذ وتخرج على شكل بخار لتنتقل إلى سطح الركيزة.

تنتقل القطرة في الهواء وهذا ما يجعلها أكثر عرضة للتغيرات الكيميائية (الحرارة) والفيزيائية (القوى المؤثرة).

II. 3.6. تموضع القطرات على الركيزة مشكلة طبقة رقيقة:

تتموضع القطرات على الركيزة مشكلة طبقة رقيقة بعدة طرق والتي تمثل مراحل النمو [10]. يمكن أن تُوضح طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري بصورة مبسطة في الشكل (II. 7).



الشكل (7. II): طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري [14].

7. II. الأشعة الكهرومغناطيسية:

الأشعة الكهرومغناطيسية هي عبارة عن ضوء أنتاج من قبل العالم ماكسويل عام 1864م [15]. أطلق عليها ماكسويل هذا الاسم "الأشعة الكهرومغناطيسية" وهو عبارة عن مجالين كهربائي وآخر مغناطيسي متعامدان على بعضهما البعض ويتعامدان على اتجاه انتشار الأشعة، كما أنّ للأشعة الخاصية الموجية والجسيمية سرعة انتشار الأشعة في الفراغ تعرف بسرعة الضوء ويرمز لها بالرمز c وتعطى بالعلاقة:

$$c = \lambda \nu \quad (1. II)$$

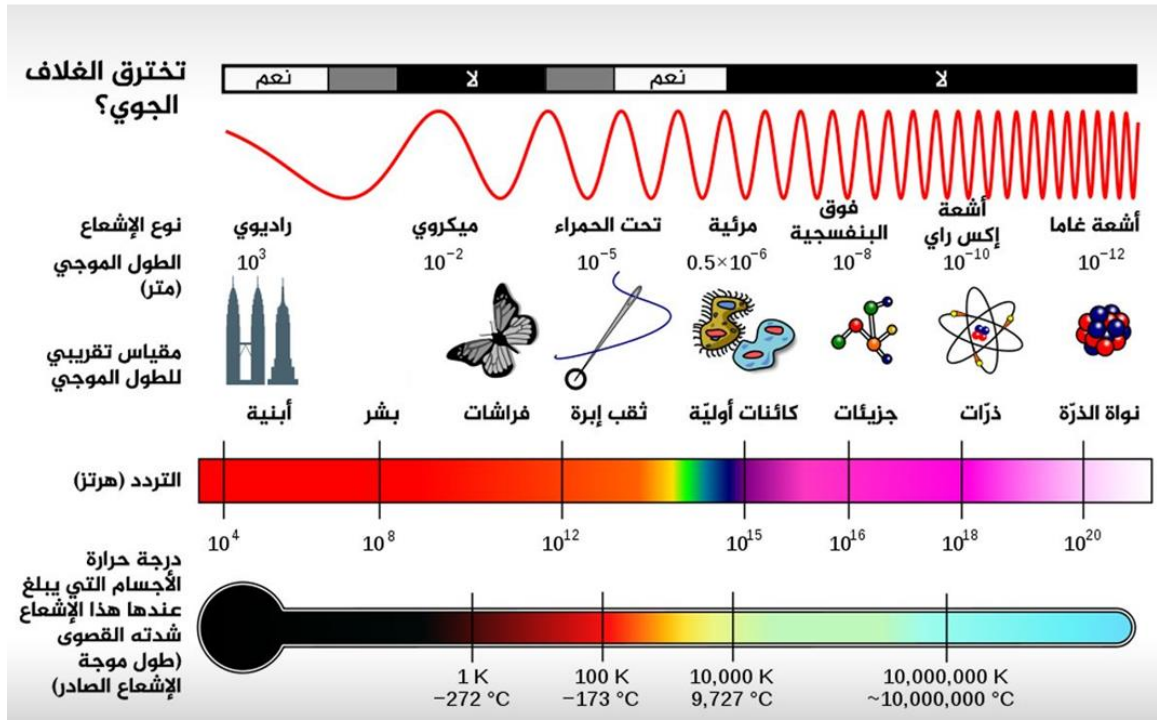
حيث:

λ : الطول الموجي.

ν : تردد الموجة.

تتشارك الأشعة الكهرومغناطيسية في بعض الخواص منها سرعة الانتشار، وظواهر الانعكاس، والانكسار، والتداخل، والحيود، والاستقطاب، وعدم الانحراف بالمجال الكهربائي.

تتكون الأشعة الكهرومغناطيسية من أشعة جاما، الأشعة السينية، الأشعة فوق البنفسجية، الضوء المرئي، الأشعة تحت الحمراء، الموجات الميكرونية وموجات الراديو [16]. يمكن توضيحها في الشكل (II). (8):



الشكل (8.11): طيف الأشعة الكهرومغناطيسية [17].

II 1.7. الخصائص البنوية:

إنّ دراسة الخواص التركيبية للأغشية الرقيقة تساهم في تحديد هوية الأغشية المتحصل عليها، كما تساعد على تفسير النتائج المتباينة والكثيرة للأغشية تبعاً لتغير ظروف التحضير وغيرها من المؤثرات الأخرى، فيعيّن التركيب البنائي عادة بواسطة أحد التقنيات منها [18]:

II 1.1.7. الأشعة السينية:

تم اكتشافها من قبل العالم الفيزيائي الألماني رونتجن عام 1895م. وهي عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي ذو طول موجي من رتبة 10^{-10} m ، يتم توليد هذا النوع من الأشعة عن طريق قذف معدن ثقيل بالإلكترونات ذات طاقة عالية، تستخدم الأشعة السينية في تحليل التركيب البنائي للمادة الصلبة [19]، [20] [21].

أ. حيود الأشعة السينية:

تعرف على أنها من التقنيات التي تستعمل في الكشف عن ترتيب الذرات في المواد الصلبة، وتحديد الأنواع المعدنية وغيرها المختلفة بها، بحيث تشترط أن يكون الطول الموجي لبعض الأشعة السينية مساوياً تقريباً للمسافة الفاصلة بين الذرات في المواد المتبلورة، وهذا ما يساعد على تشكيل أنماط حيودية وتحديد المركبات الموجودة في العينة [21].

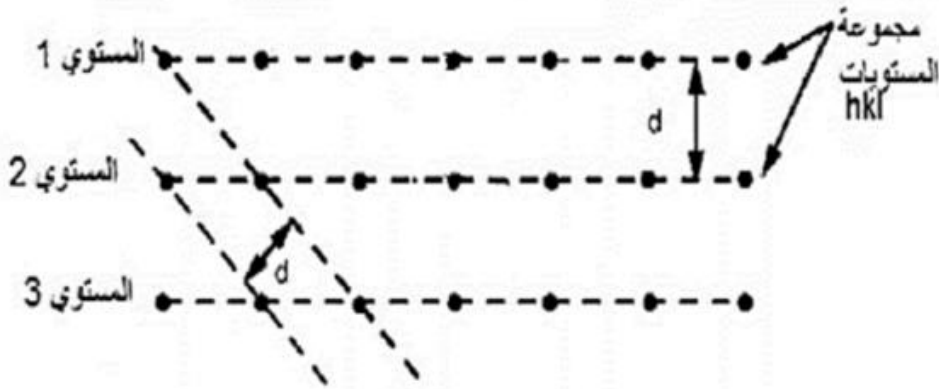
عندما تسقط بعض الأنواع من الأشعة على المادة الصلبة فإنها تنتشر بواسطة المستويات الذرية للمادة وتحديد عن مسارها وتتداخل معاً مكونة نموذج حيود يقدم معلومات عن التركيب البنائي للمادة [20].

الفصل الثاني: طرق الترسيب وتقنيات المعاينة

حيود الأشعة السينية هي تقنية تصوير تعتمد على تسجيل الشدة التي تمر عبر الجسم باستخدام أجهزة الكشف والتي تجعل هيكله الداخلي مرئيا بسبب الاختلاف المحلي في الامتصاص، فهي تتمثل في القدرة البلورية على حيود الأشعة السينية بطريقة مميزة تسمح بدراسة الأطوار البلورية [22].

• المستويات الشبكية:

تنظم الذرات في البلورة وفق ثلاث اتجاهات (x,y,z) ، ويطلق على هذا التنظيم مصطلح الشبكة البلورية، فهي توزيع منتظم للذرات أو الجزيئات أو الأيونات، فتنموضع على شكل العديد من المستويات الذرية المتوازية والمتباعدة بمسافة متساوية تتمثل في البعد بين المستويات البلورية ويرمز لها بالرمز d_{hkl} ومن خلالها يتم تحديد قرائن ميلر (hkl) والتي تسمى بالمستويات الشبكية [23]. المتمثلة في الشكل (9. II):



الشكل (9. II): رسم تخطيطي للمستويات الشبكية [23].

• قانون براغ:

إن أبرز صفة للبلورة هي تمتعها بالتماثل الانتقالي، مما يستوجب لجميع الخصائص البلورية دورية تكرر نفسها وفق الاتجاهات البلورية المختلفة التي تكون محددة بمتجه في الشبكة البلورية.

كان العالم براغ أول من وضع الشروط الهندسية والتي من خلالها يحدث الحيود في البلورة، يعطى قانون براغ الذي يصف هذا الحيود بالمعادلة التالية [20]:

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

حيث:

n : عدد طبيعي ويعبر عن مرتبة الحيود.

λ : الطول الموجي.

d_{hkl} : المسافة بين مستويين ذريين متتاليان في التركيب البلوري.

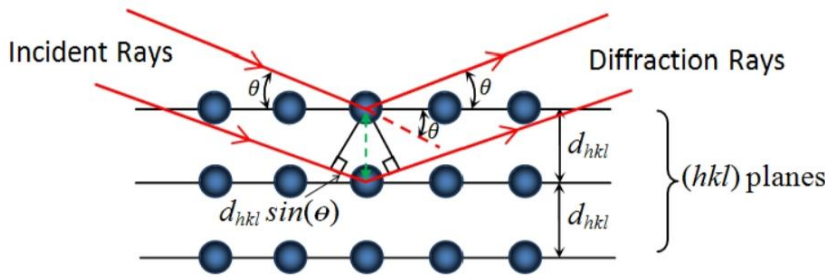
θ : زاوية براغ.

الفصل الثاني: طرق الترسيب وتقنيات المعاينة

إذا كانت n تساوي واحد فيعني أن حيود الأشعة من الرتبة الأولى وكلما زادت رتبة الحيود عندها الشدة تقل، ويحدث الحيود لأشعة ذات طول موجي معين عند زاوية θ خاصة. ويعد أهم شرط من شروطه هو أن يكون الطول الموجي مساويًا أو أقل من ضعف هذه المسافة أي ^[24].

$$\lambda \leq 2d \quad (3. II)$$

يمكن توضيح طريقة استنتاج قانون براغ بشكل أوضح من خلال الشكل (10. II).



الشكل (10. II): رسم تخطيطي يوضح طريقة استنتاج قانون براغ ^[10].

يتم تعيين طاقة الفوتون للأشعة السينية من خلال طولها الموجي بالعلاقة:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (4. II)$$

يمكن أن نكتب العلاقة أيضا من الشكل ^[20]:

$$\lambda(A^\circ) = \frac{12.4}{E(KeV)} \quad (5. II)$$

هناك عدة طرق لحيود الأشعة السينية وتعتمد هذه الطرق على طبيعة العينة سواء أكانت مسحوق أو بلورة أحادية، بالإضافة إلى نوع الأشعة المستخدمة إذا ما كانت أشعة وحيدة الموجة أو ذات طيف مستمر ^[25]، من بين طرق الحيود نذكر الانعراج الآلي وهو محل الدراسة.

ب. مبدأ عمل مطياف حيود الأشعة السينية:

وهي من الطرق الحديثة التي يتم فيها تسجيل طيف الحيود بواسطة عدادات إلكترونية، وجهاز رسم، وتبنى فكرة عمل هذه الطريقة على استخدام طول موجي ثابت، وتغيير زاوية سقوط الأشعة، يتم تعريض العينة لشعاع من الأشعة السينية المنعكسة، ويقوم الجهاز برسم طيف التشتت (شدة الأشعة وزاوية براغ)، إذ تمثل كل قمة تشتت انعكاس برافي، وتمثل المساحة تحت كل قمة شدة التشتت المتكاملة ^[20]، فيقوم الجهاز بقياس شدة الإشعاع المنعرج بدلالة الزاوية 2θ المتشكلة من الأشعة النافذة، وتقدم النتائج في شكل مخطط انعراج (Diffractogrammes) ^[26].

خلال الدراسة تم استعمال جهاز من النوع (PROTO MANUFACTURING) والموضح في الصورة (11. II).



الشكل (11.II): جهاز انعراج الأشعة السينية المستخدم.

ت. المعلومات البلورية:

• ثوابت الشبكة:

هي خاصية هامة في علم المواد ومميزة لكل مادة [27]، تعد معرفة العوامل البنيوية الخاصة بالمادة والتي تعتمد على طيف حيود الأشعة السينية من الأمور الهامة في تفسير الكثير من الخصائص الفيزيائية لنفس المادة، ويتميز أكسيد النيكل ببنية بلورية مكعبة حيث a ، b ، c ثوابت الشبكة ($a=b=c$) [28]، يمكن أن نستنتج ثابت الشبكة من طيف الأشعة السينية بالعلاقة [29]:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (6. II)$$

• القُد الحبيبي (D):

يتعلق القُد الحبيبي بالخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة، فمن مخطط حيود الأشعة السينية ومن خلال عبارة ديبي-شيرر يمكن تقدير الطول الذي يحيط بالحبيبة [30]، يتم ذلك من خلال العلاقة [2]:

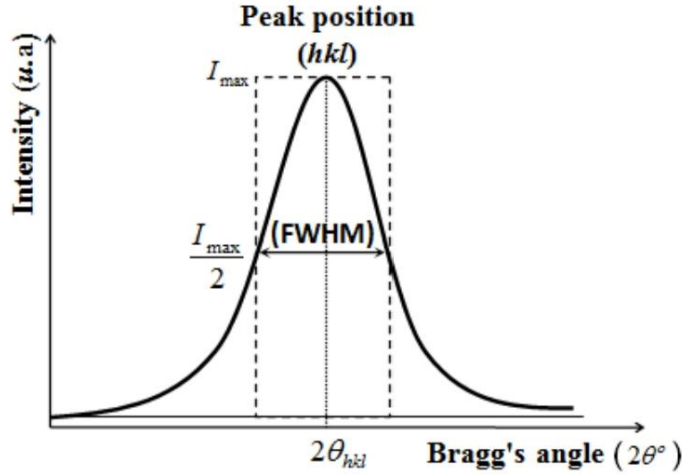
$$D = \frac{0.9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (7. II)$$

حيث:

λ : الطول الموجي للأشعة السينية.

θ : زاوية حيود الأشعة.

β : قيمة العرض عند منتصف القمة (FWHM)، تحدد وفق الطريقة المبينة في الشكل (12.II).



الشكل (12. II): طريقة تحديد عرض منتصف القمة [10].

• كثافة الانخلاعات (δ):

الانخلاع هو عبارة عن عيب خطي داخل البلورة، مرتبط بخلل ذري في جزء من البلورة مع جزء آخر [31]، ومنه فإن كثافة الانخلاعات هي عدد خطوط الانخلاعات التي تقطع وحدة المساحة في تلك البلورة، وهي النسبة بين الطول الكلي لجميع خطوط الانخلاعات ومربع القَدِّ الحبيبي، يتم حساب كثافة الانخلاعات من العلاقة التالية [32].

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (8. II)$$

• الانفعال المتوسط (ε):

هو التشوه الحاصل في الشبكة البلورية الناتجة عن الإجهادات الداخلية والتي تكون بين سطح الركيزة والغشاء المرسَّب عليها، ويتم حساب قيمته المتوسطة من الصيغة التالية [33].

$$\varepsilon = \frac{a - a_0}{a_0} \quad (9. II)$$

حيث:

ε: هو الانفعال المتوسط في الأغشية الرقيقة.

a_0 : ثابت الشبكة في الحالة النقية.

a : ثابت الشبكة في الحالة المطعمة.

II 2.1.7 الأشعة تحت الحمراء:

هي جزء من الطيف الكهرومغناطيسي تصل من أسفل نطاق الضوء المرئي إلى نطاق الموجات الدقيقة، وهي أشعة غير مرئية للعين البشرية، تم اكتشافها من قبل "سير ويليام هيرشيل" في عام 1800م [34]

الفصل الثاني: طرق الترسيب وتقنيات المعاينة

عندما قام بتجربة قياس اختلاف الحرارة بين ألوان الطيف المرئي المختلف فلاحظ ازدياد درجة الحرارة بعد اللون الأحمر من الطيف المرئي^[35]، تتراوح موجاتها من 8000 إلى 20000 أنجستروم وتمثل 46% من الطاقة الشمسية^[36].

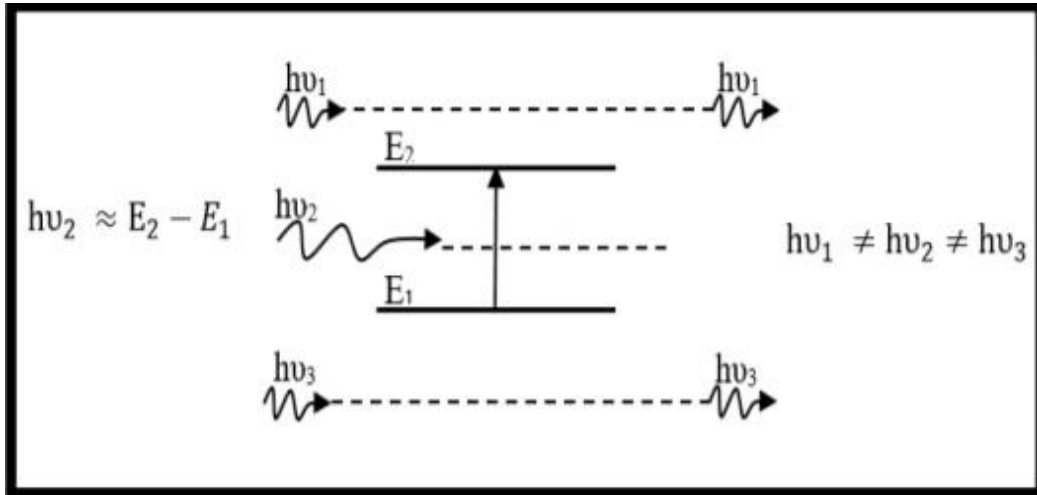
أ. مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

هو قياس تفاعل الأشعة تحت الحمراء مع المادة عن طريق الامتصاص أو الانبعاث أو الانعكاس. يتم استخدامها لدراسة وتحديد المواد الكيميائية أو المجموعات الوظيفية في المواد^[37]، عند التفاعل تهتز الجزيئات طبيعياً تبعاً لجميع أنماط اهتزازها ولكن بسعات ضعيفة جداً، فعندما تُسلط على المادة أشعة تحت حمراء فإن تواتر الفوتون الوارد يُحدث تجاوزاً لجزيئات المادة، إذا كان تواتر الفوتون يوافق تواتر اهتزاز الأنماط العادية للجزيء فإنه سوف يدخل عندئذ في رنين بسعات كبيرة، فيمتص هذا الأخير وعندها يصبح هذا الجزيء في حالة مثارة^[38]، ينقسم مجال الأشعة تحت الحمراء إلى ثلاث مناطق والممثلة في الجدول (1.II).

الجدول (1.II): مجال الأشعة تحت الحمراء^[35]:

المنطقة	العدد الموجي (cm^{-1})	الطول الموجي (μm)
الأشعة تحت الحمراء القريبة	(4000-13300)	2.5-0.75
الأشعة تحت الحمراء الوسطى	(400-4000)	25-2.5
الأشعة تحت الحمراء البعيدة	(20-400)	500-25

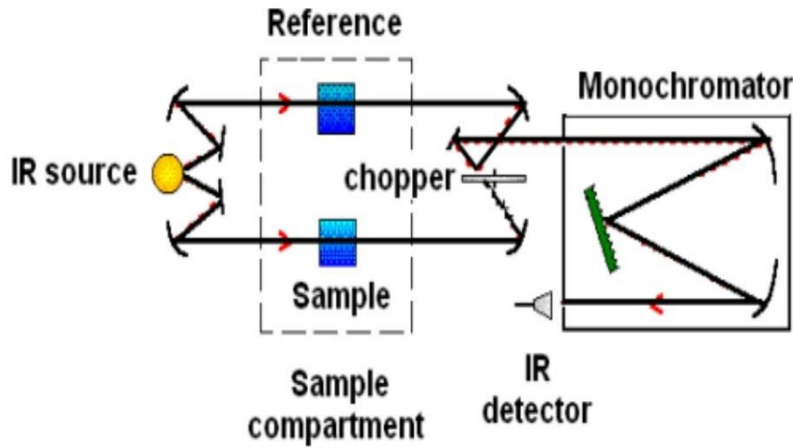
تُجرى معظم الدراسات في المنطقة تحت الحمراء الوسطى ويرجع ذلك إلى أن هذه المنطقة تحدث فيها أغلب الاهتزازات الجزيئية وهذا ما يوفر معلومات أكثر دقة لدراسة المركبات^[23]. لتوضيح عملية تفاعل الأشعة تحت الحمراء مع المادة تم الحاق الشكل (13.II).



الشكل (13.II): رسم تخطيطي لعملية امتصاص الأشعة تحت الحمراء^[40]

ب. مبدأ عمل جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

يستخدم هذا الجهاز للحصول على طيف العينة المدروسة وهو ممثل في الشكل (15.II)، حيث يحتوي على مصدر للضوء متعدد الألوان، يتم تقسيم الحزمة الضوئية إلى نصفين، ويوجه كل قسم من الحزمة باستخدام مرآيا عاكسة وقابلة للحركة تساعد في الحصول على النتائج، كما يحتوي الجهاز على كاشف يقوم بقياس شدة انتقال المرآة، ويتم الحصول عليها على شكل إشارة رقمية، ومن ثم يتم حساب تحويل فوري للحصول على طيف للأشعة تحت الحمراء [39]. يلخص مبدأ عمل جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء في الرسم التخطيطي الممثل في الشكل (14.II).



مسار الشعاع المزدوج في مطياف IR

الشكل (14.II): رسم تخطيطي لجهاز الأشعة تحت الحمراء [37].



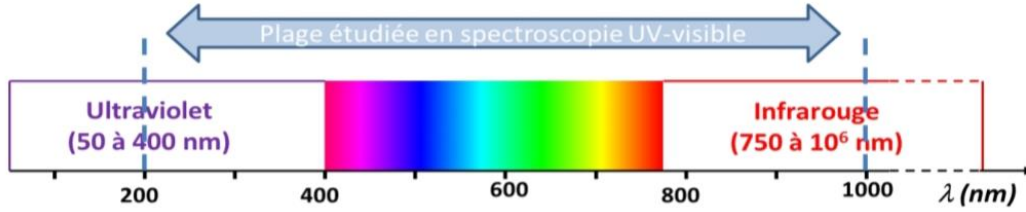
الشكل (15.II): جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء المستعمل.

II 2.7. الخصائص الضوئية:

تعد أساليب التحليل الطيفي من الأساليب التي تسمح بوصف عدد كبير من الثوابت المميزة للأغشية الرقيقة، ومن بين الأساليب التي تعمل على تحليل الخصائص الضوئية للأغشية الرقيقة قياس النفاذية والانعكاسية، ومن خلالهما يتم تحديد الفاصل الطاقى، بالإضافة إلى معامل الانكسار وسمك الغشاء [24].

II. 1.2.7. الأشعة فوق البنفسجية والمرئية:

الأشعة فوق البنفسجية والمرئية يعتبران من طيف الأشعة الكهرومغناطيسية ويوضح المجال الطيفي لهما في الشكل (16.II).



الشكل (16.II): المجال الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية [41].

1. الأشعة فوق البنفسجية:

هي جزء من الأشعة الكهرومغناطيسية تقع بين الأشعة السينية والمرئية [16]، تم اكتشافها من قبل العالم "جوهان دبليوريتو" عام 1801م، والأشعة فوق البنفسجية هي ترجمة للكلمة اليونانية "ultraviolet" ويرمز لها بالرمز "UV" [42]، يتراوح طول موجتها من 200 إلى 400 نانومتر وتمثل 9% من الطاقة الشمسية [36]، فهي غير مرئية وتمتد إلى ما وراء جزء الطيف المرئي المتمثل في اللون البنفسجي [43].

2. الأشعة المرئية:

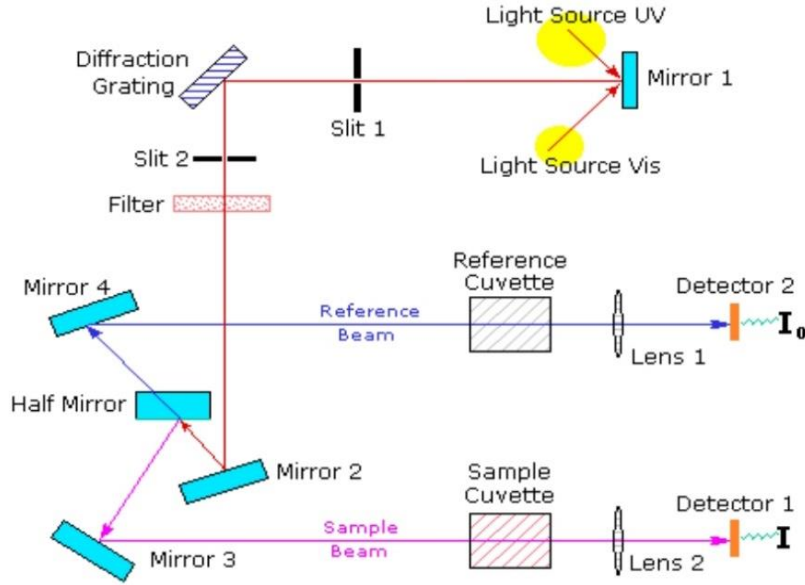
هي أشعة كهرومغناطيسية يتراوح طول موجاتها من 400 إلى 800 نانومتر وتمثل 45% من طاقة الشمس [36]، تنحصر بين اللونين الأحمر والبنفسجية [42]، وهو الطيف المرئي الظاهر للعين البشرية بحيث يمثل المصدر الرئيسي للضوء هو الشمس، ويعدّ الضوء الكائن الأكثر سرعة تساوي قيمة سرعته 299792458 متر لكل ثانية في الفراغ [17].

أ. التحليل الطيفي للأشعة المرئية وفوق البنفسجية:

تعدّ هذه المطيافية من أهم الوسائل الواسعة الاستخدام في مجال التحليل الكيميائية والبيولوجية [16]، يتمثل مبدأ عمل هذه التقنية في تفاعل الضوء مع العينة المراد تحليلها، فعندما يسقط الإشعاع جزء منه يمتص والآخر ينفذ عبر العينة. عندما تمتص العينة الضوء في نطاق كل من الأشعة المرئية وفوق البنفسجية يحدث اضطراب في البنية الإلكترونية للطبقة الرقيقة مما ينتج عنه انتقال الإلكترونات من مستوي طاقي أقل إلى مستوي طاقي أعلى [44].

ب. مبدأ عمل جهاز التحليل الطيفي للأشعة المرئية وفوق البنفسجية:

يعتمد مبدأ عمل جهاز التحليل الطيفي للأشعة المرئية وفوق البنفسجية على مرور حزمة من الضوء الصادرة عبر موحد للطول الموجي. بعد معالجة الموجة الصادرة تنتج في كل مرة حزمة من الفوتونات لها طول موجي معين، يتم توجيه هذه الحزمة نحو مرآة نصف عاكسة لتتقسم حزمة الفوتونات إلى حزمتين، واحدة تمر عبر عينة مرجعية، يكون عادة الزجاج والأخر عبر العينة، وبعدها توجه الحزمتان نحو الكاشف لمقارنة النتائج ورسمها [45]. وهذا ما يوضحه الشكل (17. II).



الشكل (17.II): رسم تخطيطي لجهاز التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية [46].

الشكل (18.II) يوضح جهاز التحليل الطيفي للأشعة المرئية والفوق البنفسجية.



الشكل (18.II): جهاز التحليل الطيفي (UV.VIS) المستعمل.

ت. المعلومات الضوئية:

• تحديد الفاصل الطاقى:

ويسمى أيضا بالحزمة الممنوعة، وتكون المستويات فيه خالية من حاملات الشحنة. يعد الفاصل الطاقى من الثوابت البصرية، إذ تزداد قيمته في بعض أشباه النواقل، ويمكن أن تقل في بعضها الآخر [47]، وهناك معادلة تربط بين معامل الامتصاص والفاصل الطاقى وتعطى بالعلاقة [48]:

$$(ahv)^2 = B(hv - E_g) \quad (10. II)$$

حيث:

B : ثابت.

Eg : الفاصل الطاقي.

$h\nu$: طاقة الفوتون.

يتم تحديد قيم الفاصل الطاقي من خلال رسم منحني تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة طاقة الفوتون، بعدها يتم تعيين المماس الذي يُمد ليقطع محور طاقة الفوتون عند النقطة $((\alpha h\nu)^2 = 0)$ ، عندها يتم الحصول على قيمة الفاصل الطاقي الذي يحقق المعادلة $(h\nu = Eg)$ [49].

• طاقة أورباخ:

هي مقدار فيزيائي ومؤشر على الاضطراب الحاصل في المواد [50]، أو هي مؤشر على وجود أنواع مختلفة من الحالات العشوائية والعيوب التي تنشأ حسب الطريقة المستخدمة في التحضير والتي تؤدي إلى تمدد القطع المكافئة لكثافة الحالات عند حافة الحزمة [51].

يمكن تحديد طاقة أورباخ من خلال العلاقة (11. II) التي تتعلق بمعامل الامتصاص من الشكل [2]:

$$\alpha = \alpha_0 e^{\left(\frac{h\nu}{Eu}\right)} \quad (11. II)$$

حيث:

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

Eu : طاقة أورباخ.

تحدد قيم طاقة أورباخ من خلال رسم منحني تغيرات الدالة الخطية للعلاقة $\ln(\alpha)$ بدلالة طاقة الفوتون، وتمثل طاقة أورباخ مقلوب الميل لهذا المنحنى.

• قياس السمك وقرينة الانكسار:

لحساب السمك وقرينة الانكسار للأغشية المحضرة يمكن استخدام برنامج مخصص على جهاز الكمبيوتر ويتم ذلك انطلاقاً من قيم النفاذية [24].

II. 3.7. الخصائص الكهربائية:

يتم تحديد الخصائص الكهربائية للطبقات الرقيقة من مقاومة وناقلية نوعية باستعمال تقنية المسابر الأربعة.

II. 1.3.7. تقنية المسابر الأربعة:

هي طريقة يمكن من خلالها قياس قيم المقاومة السطحية للأغشية الرقيقة، حيث تتوفر هذه التقنية على مسابرين للتيار الكهربائي بينهما مسباران للجهد [52].

أ. مبدأ عمل جهاز المسابر الأربعة:

الفصل الثاني: طرق الترسيب وتقنيات المعاينة

هو جهاز مكون من أربعة مسابر كما هو موضح في الشكل (19.II)، يتم وضع هذه المسابر على سطح الغشاء الرقيق، بحيث تتباعد المسابر عن بعضها بمسافات متساوية، ويوفر هذا الجهاز مصدر تيار يمر بين المسبارين الخارجيين بشدات مختلفة، بينما يستخدم الاثنان الداخليان لقياس فرق الجهد، ومن أهم خصائص هذه التقنية أن المسافة التي تفصل بين النقاط أكبر بكثير من سمك الشريحة، ومن خلاله يمكن تحديد المقاومة بالعلاقة [53]:

$$\frac{U}{I} = K \frac{\rho}{d} \quad (12. II)$$

حيث:

ρ : مقاومة الغشاء الرقيق.

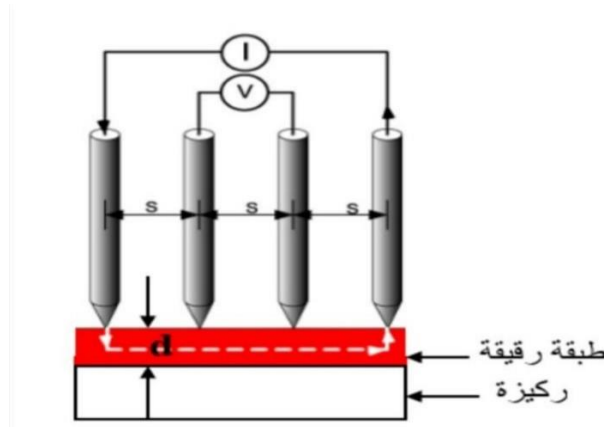
d : سمك الغشاء الرقيق.

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

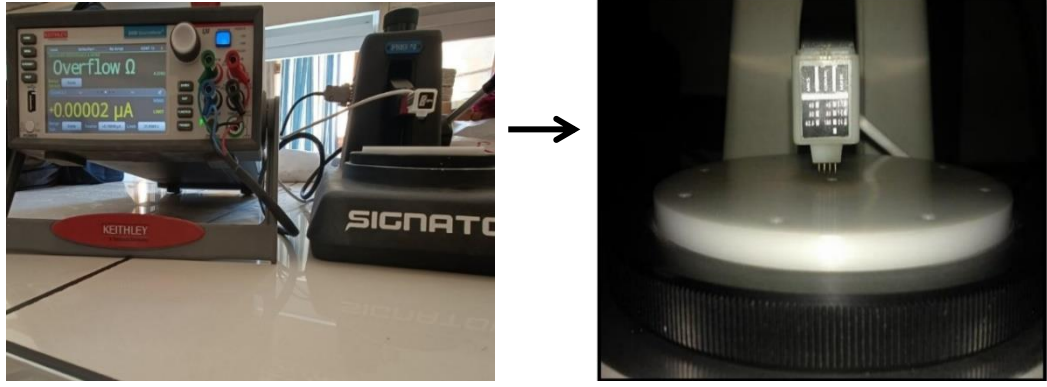
K : يمثل معامل التناسب من الشكل $(\ln 2/\pi)$.

عند تعويض قيمة K في العلاقة (12.II) نتحصل على العلاقة (13.II) التي من خلالها يمكن حساب المقاومة:

$$\rho = \left(\frac{\pi}{\ln 2} \left(\frac{U}{I} \right) \right) \cdot d \quad (13. II)$$



الشكل (19.II): رسم تخطيطي لجهاز المسابر الأربعة [54].



الشكل (II. 20): جهاز المسابر الأربعة [54].

II. 8. خلاصة:

لقد اشتمل هذا الفصل على دراسة الأغشية الرقيقة بشكل خاص من مفهومها وأبرز تقنيات ترسيبها ونموها إلى طريقة الرّش بالانحلال الكيميائي الحراري، كما تمّ التعرض إلى أهم التقنيات المستخدمة في تحديد خواص الأغشية بدءاً من تقنيتي انعراج الأشعة السينية والأشعة تحت الحمراء اللتين تقدمان مجموعة من الخصائص البنوية للأغشية، وبالإضافة إلى التحليل الطيفي للأشعة المرئية وفوق البنفسجية الذي يعدّ وسيلةً للوصول إلى العديد من المعلومات البصرية، ثمّ تقنية المسابر الأربعة التي تقدم مجموعة من الخواص الكهربائية لهذه الأغشية ولعل من أبرزها المقاومة .

مراجع الفصل الثاني:

مراجع باللغة العربية

- [1] ع. الرحيم، ت. م. البشير، ر. عبد الغني، "دراسة الخصائص البصرية للأغشية الرقيقة المستخدمة في تكنولوجيا النانو"، مذكرة ماجستير، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا (2016).
- [3] غ. س. أحمد، "تحضير أغشية رقيقة من صبغة ليزرية ومطعمة بالبوليمر وقياس سمكها"، مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية، جامعة بغداد، العدد 2، المجلد 25، العراق (2012).
- [4] ش. خولة، ع. رجاء، "دراسة الاغشية الرقيقة لكبريتيد الكادميوم Cds المطعمة بالنحاس والمحضرة بطريقة الحمام الكيميائي"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2022).
- [5] ف. ع. كوثر، غ. ع. سهام، "دراسة أكسيد الحديد المطعم بالألمنيوم"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2021).
- [7] ح. بن سالم، "دراسة الخصائص الفيزيائية والكهربائية والضوئية لشرائح أكسيد القصدير مطعم بالانتيموان Sb موضع بطريقة الأمواج فوق الصوتية"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2014).
- [8] خ. شيباني، ر. عمار، "دراسة الأغشية الرقيقة لكبريتيد الكادميوم Cds المطعمة بالنحاس والمحضرة بطريقة الحمام الكيميائي"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2022).
- [9] خ. قنجاوي، ا. سليمان، "دراسة الخصائص الضوئية لأفلام وحساب عرض المجال المحصور للانتقالات الالكترونية لها"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، المجلد 36، العدد 5، الصفحات: 409-427 (2014).
- [15] ب. بارسونز، وج. ديكسون، "50 فكرة يجب أن تعرفها عن العلم، ترجمة: نورا محيي الدين، المجموعة العربية للتدريب والنشر (2019).
- [16] م. عبد القادر محرم، "أساسيات وتطبيقات مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية"، دار النشر للجامعات (2010).
- [17] م. سعيد إبراهيم، "إدارة القياسات البصرية في الرعاية الصحية للعيون"، محمد سعيد إبراهيم (ط1) (2020).
- [19] ا. شيري، "مقدمة قصيرة جدا الجدول الدوري"، ترجمة: محمد عبد الرحمان إسماعيل، هنداي (ط1) (2016).
- [20] ي. مصطفى، "حيود الأشعة السنية في البلورات"، (نوفمبر 2015).
- [21] باربراه. ستيوارت، "التقنيات التحليلية في صيانة مواد الآثار"، ترجمة: عبد الناصر بن عبد الرحمن الزهراني، دار جامعة الملك سعود للنشر، السعودية (1435هـ).
- [22] ش. احمد عامر حسين الشمري، "علم النانو وتقنية النانو تحضيره وتطبيقاته"، احمد عامر الشمري، العراق (06-02-2023).
- [23] ب. سميحة، "دراسة التركيب الجزيئي لرمل كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية الامتصاص ما تحت الحمراء وحيود الأشعة السينية"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح، الجزائر (2012).
- [24] د. عبد الله، م. الطاهر، "تحديد بعض خصائص أغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعم بالحديد (Fe)"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2017).
- [25] م. نصيرة، "استعمال البرنامج Fullprof لتحديد البنية البلورية للمركب CaFeO2.5"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة حمه لخضر، الجزائر (2012).

- [26] ع. بابكر حسي الرسول العطاء، ت. ي. عبد الدائم عيسى، ع. ت. ناصر أحمد، "تحديد تراكيز العناصر المكونة للشعر باستخدام جهاز فلورة الأشعة XRF السينية"، درجة البكالوريوس، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، السودان (2016).
- [27] الزويب موسى المبروك، "أساسيات نباتات المواد شبه الموصلة"، مدونة الصوت.
- [28] ر. صديق عبد الستار الدليمي، "دراسة الخصائص التركيبية والبصرية ل أغشية Zn(1-x) Zn_xO المحضر بطريقة التحلل الكيميائي الحراري"، رسالة ماجستير، جامعة ديالى، العراق (2013).
- [32] ش. عبد الفتاح، "فيزياء الجوامد"، الدار العربية للنشر والتوزيع (ط1)، العراق (2003).
- [35] ر. م. محمد، "الطيف الكهرومغناطيسي"، قسم الالكترونيات والكهرباء (2019).
- [36] ع. محمد عبد الله، "الأوزون: ما هو؟، لمحة تاريخية، صراع الإنسان مع البيئة، الجديد في استخدامه، رؤية مستقبلية"، المنهل (2016).
- [37] ش. أحمد عامر، "علم النانو تكنولوجي // science nanotechnology: nanotechnology // nanoscience"، أحمد عامر (2022).
- [38] ب. ع. سارة، "دراسة الخواص الفيزيائية للطبقات الرقيقة لأكسيد الزنك (ZnO) المطعم بالحديد المتموضع بتقنية رذاذ الانحلال الحراري"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح، الجزائر (2016).
- [39] ك. م. صلاح الدين، "دراسة خصائص أكسيد الحديد الثلاثي (α-Fe₂O₃) المطعم بالكوبالت (Co)", مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2018).
- [42] سعد الله نجم النعيمي، "التربة السليمة وصحة الغذاء والانسان"، دار الكتب العلمية، العراق، (2022).
- [44] المؤسسة العامة للتدريب التقني والهندسي، "طرق التحليل الطيفي"، المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني، المملكة العربية السعودية (1429هـ).
- [45] ر. سليمة، و. جهاد، "تحضير ودراسة طبقات أحادية وثنائية لأكسيد الزنك وأكسيد النيكل بطريقة الرش الحراري"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح، الجزائر (2017).
- [47] م. ع. منصور، "دراسة الخواص التركيبية والبصرية لأغشية (ZnO: Cu) المحضرة بطريقة APCVD"، المجلة الأردنية للفيزياء، المجلد 5، العدد 2، الصفحات: 89-103 (2012).
- [49] م. بن خالد، "دراسة بعض الخواص البصرية والكهربائية لأغشية أكسيد الزنك المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري" مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 30، العدد 6، ص 135-145 (2012).
- [51] ع. ن. صالح، "تأثير المولارية ووقت التلدين على طاقة Urbach للأغشية الرقيقة Co xZn_(1-x) O المحضرة بطريقة الانحلال الحراري بالرش"، مجلة تكريت للعلوم الصرفة، المجلد 18، العدد 4، ص 197-204، العراق (2013).
- [53] ب. ص. جهينة، ص. لبيهيات، "دراسة خصائص التركيبية والبصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعمة بالنحاس (Cu)", مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الجزائر (2018).
- [54] م. م. زكي نعمه، "تحضير محس من البولي بيروكسيد بالتريز فوق الصوتي"، رسالة ماجستير، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، سوريا (2016/2015).

- [2] F. Yakeuphanoglu, S. Ilican, M. Caglar, Y. Caglar, " The determination of the optical band and optical constants of non- crystalline and crystalline ZnO thin films deposited by spray pyrolysis", journal of optoelectronics and advanced materials, Vol 9, No 7, P 2180-2185 (2007).
- [6] T. Abdelaziz, " Optimisation des conditions d'élaboration (température de substrat et distance bec-substrat) des films minces de ZnO par spray", mémoire de master, université mohamed kheider, Algérie (2013).
- [10] G. Mebrouk, " Elaboration and characterization of nanostructuring NiO thin films for gaz sensing application", doctoral thesis, university of Biskra, Algeria (2019).
- [11] R. Sanjinés, " Notice TPA physique des couches minces", école polytechnique fédérale de Lausanne, P 6, Switzer land (2011).
- [12] A. Rahal, " Elaboration des verres conducteurs par déposition de ZnO sur le verres ordinaires", mémoire de magister, université El-oued (2013).
- [13] B. Zohra, " Elaboration et caractérisation des couches minces GIS déposé par la technique électrodéposition", mémoire de master, université d'El-oued, Algérie (2016).
- [14] I. Filipovic, Member, IAENG, S.2A selberherr, Giorgio C. Mutinati, E. Brunet, S. Steinhauer, A. Kock, J. Teva, J. Kraft, J. Siegert, and F. Schrank, "Modeling spray pyrolysis deposition", proceedings of the world congress on engineering, vol II, London (2013) .
- [18] Ismaël Guesmi, " Dépôt De Couches Minces De Cuivre Sur Substrats Polymères De Forme Complexes Par Pulvérisation Cathodique Magnétron Avec Ionisation De La Vapeur ", thèse de Doctorat, Université paris sud –Xi (2012).
- [29] S. S. Chiad, A. A. Kamel, O. Z. Abed, " Effect of thickness on the structural parameters of (NiO) films prepared by the chemical spray pyrolysis", journal diyala for pure sciences, Vol 10, No 3, P 17-26 (2014).
- [30] B. D Cullity, " Elements of X-ray Diffraction", Edition, Addition Wesley publishing company inc (2) phillippines, London (1978).
- [31] A. F. Saleh, " Structural and morphological studies of NiO thin films prepared by Rapid thermal oxidation metho", International Journal of application or Innovation. in Engineering & Management (IjAIEM), Vol 2, No 1, P 16-21 (2013).
- [33] M. Mekhnache, A. Drici, L. S. Hamideche, H. Benzarouk, A. Amara, L. Cattin, J. C. Bernede and M. Guerioune, " properties of ZnO thin films deposited on (glass, ITO and ZnO: Al) substrates", Journal Superlattices and Microstructures, Vol 49, No 5, P 510-518 (2011).
- [34] Planet3 Wireless, Tom Carpenter, " Wireless certification official study guide (exam pw0-050)", mcgraw hill professional (2010).
- [40] D. Ouarda, " Elaboration et caractérisation des couches minces de sulfure de Zinc préparées par spray ultrasonique", diss, thèse de magister, université de Constantine, Constantine (2007).
- [41] C. Cylia, T. Youssra, " Etude de propriété des couches minces de ZnO dopées avec le cuivre et l'aluminium, diplôme de master, université de Bejaïa, Algérie (2020).
- [43] H. Michael, S. Circoran James, S. Cawood Games, J. k. Petersen ph.D, " Understanding surveillance technologies :spy devices, privacy, history & applications, second edition", CRC Press (2) (2007).

[46] B. Sufiane," Caractérisation des couches minces d'oxyde de nickel (NiO) élaboré par spray pyrolyse", doctoral thesis, biskra university, Aleria (2018).

[50] . H. Dias da Silva , R. R. Campomanes," Urbach energy parameter of flash evaporated amorphous gallium arsenide films", Journal of Non-Crystalline Solids (Elsevier), Vol 299-302, P 328-332 (2002).

[52] David S. Ginley," Herdbook of transparent conducators", springer science (2010).

الفصل الثالث

تحليل النتائج ومناقشتها

III.1. مقدمة:

إن اختلاف المواد التي تدخل في تحضير الأغشية الرقيقة والتقنيات المستعملة في ترسيبها يجعل لهذه الأغشية خصائص متنوعة وعديدة. في هذا العمل تمت دراسة أغشية رقيقة من أكسيد النيكل النقي والمطعم بالألمنيوم بنسب مختلفة (2، 4، 6، 8، 10)% والمحضرة بتقنية الرش بالانحلال الكيميائي الحراري مع تقديم وصف مفصل لهذه التقنية. كما يعرض نتائج المعاينة وتحليل الخصائص الضوئية والكهربائية والبنوية للأغشية المحضرة، وفي هذه الدراسة تم استعمال عدة أجهزة منها:

- مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis).
- جهاز انعراج الأشعة السينية (XDR).
- مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR).
- جهاز المسابر الأربعة.

III.2. ترسيب الأغشية بتقنية الرش بالانحلال الكيميائي الحراري:

يتم ترسيب أغشية رقيقة من أكسيد النيكل النقي (NiO) والمطعم بالألمنيوم (Al) على ركائز زجاجية باستعمال تقنية الرش بالانحلال الكيميائي الحراري، تستعمل نترات النيكل $(Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O)$ كمصدر للنيكل، ونترات الألمنيوم $(Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O)$ كمصدر للألمنيوم، تعتمد طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري على:

- نوع المادة الأولية.
- نوع ركيزة.
- بعد الركيزة عن جهاز الرش.
- درجة حرارة الركيزة.

تعتبر تقنية الرش بالانحلال الكيميائي الحراري من التقنيات الأكثر شيوعاً لتحضير الأغشية الرقيقة، تتركز هذه الطريقة على رش المحلول المراد ترسيبه على قواعد زجاجية ساخنة عند درجة حرارة معينة، في الحالة النقية يتم تشكيل الأغشية عن طريق تفاعل شوارد النيكل المتواجد في المحلول مع شوارد الأكسجين المتواجدة في الهواء مشكلة طبقة رقيقة من أكسيد النيكل على الركيزة، أما في الحالة المطعمة يتم ارتباط شوارد الألمنيوم مع شوارد الأكسجين في الهواء ليتغلغل داخل بنية أكسيد النيكل فتتكون طبقة من أكسيد النيكل المطعم بالألمنيوم، يعتمد الترسيب على سطح الركيزة على: درجة حرارة الركيزة، طبيعة المادة وسطحها.

III.2.1. التركيب التجريبي لتقنية الرش بالانحلال الكيميائي الحراري:

إن إعداد أغشية أكسيد النيكل (NiO) النقي والمطعم بالألمنيوم (Al) تم إنجازه على مستوى مخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقية الصحراوية (Levres) بجامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي، في هذا العمل تم استعمال أدوات ووسائل بسيطة وجهاز رش مصنوع محلياً، يوضح الشكل (I.IV) التركيب التجريبي لجهاز الرش بالانحلال الكيميائي الحراري:



الشكل (1.III): التركيب التجريبي لجهاز الرش الكيميائي الحراري.

يتكون جهاز الرش الكيميائي الحراري من عدة مكونات وهي:

1. **السخان الكهربائي:** يعمل على رفع درجة حرارة الركيزة إلى درجة حرارة معينة، وبه عداد رقمي يشير إلى درجة حرارة الركيزة بوحدة السلسيوس أو درجة الحرارة المئوية ($^{\circ}C$) كما هو موضح في الشكل (2.III)، يتم وضع الركيزة الزجاجية على سطح السخان الكهربائي قبل تشغيله لمنع انكسارها لاختلاف درجات الحرارة بين الركيزة وسطح المسخن بعد تشغيله.



الشكل (2.III): العداد الرقمي للسخان الكهربائي.

2. **ضاغط الهواء:** يستخدم لدفع الهواء إلى داخل جهاز الرش لتحويل المحلول إلى رذاذ من قطرات صغيرة جداً، يحتوي على صمام موصول بمقياس ضغط يتحكم في حجم القطرة التي ستنزل على الركيزة.
3. **جهاز الرش:** هو جهاز يحتوي على فتحتين وخزان للمحلول موضح في الشكل (3.III)، الفتحة الأولى موصولة مع ضاغط الهواء يمر من خلالها الهواء المضغوط لتحويل المحلول إلى رذاذ ليخرج عبر الفتحة الثانية، وخزان المحلول يكون بين الفتحتين الأولى والثانية يوضع به المحلول المراد رشه.



الشكل (III.3): صورة لجهاز الرش.

III.2.2. تحضير الأغشية الرقيقة:

III.2.2.1. الشروط التجريبية لتحضير الأغشية الرقيقة:

في هذا العمل التجريبي تم تحضير العينات في شروط معينة وهي:

- درجة حرارة الركيزة $450 \pm 10 \text{ C}^\circ$.
- ضغط الهواء (1 bar).
- مدة الرش ساعة (1h).
- المسافة العمودية بين جهاز الرش والقاعدة الزجاجية هي 6cm.
- حجم المحلول 12ml.

III.2.2.2. تهيئة القواعد الزجاجية:

تم استعمال قواعد زجاجية ميكروسكوبية (GROUND EDGES) ذات سمك (1-1.2 mm) وأبعادها (25.4×76.2 mm) والشكل (III.4) يوضح القواعد الزجاجية المستعملة، يتم تنظيف القواعد الزجاجية لضمان الحفاظ على جودتها حيث أن وجود الشوائب على سطحها يؤثر سلباً على تبلور مادة الغشاء وخواصه، تمر عملية التنظيف بعدة مراحل وهي:

1. يتم غمر الركائز في محلول يحتوي على الأسيتون أو الإيثانول.
2. ثم يتم التقاط الركائز باستعمال ملقط خاص ليتم غسلها بالماء المقطر.
3. يتم تجفيفها باستعمال مناديل ورقية أو مجفف هوائي.



الشكل (III.4): ركائز زجاجية.

III.3.2.2.3. تحضير المحلول المستخدم في تحضير أغشية (NiO):

تم تحضير أغشية رقيقة من أكسيد النيكل (NiO) والمبين في الشكل (III.5)، حيث تم أخذ كتلة (m=0.8724 g) من نترات النيكل (Ni(NO₃)₂·6H₂O) كتلته المولية (M=290.8 g/mol) وكثافته (d=2.05) ووضعها في حجم (15ml) للحصول على محلول ذو تركيز (C=0.2 mol/L)، وتحسب الكتلة من خلال العلاقة (III.1):

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

حيث:

C: التركيز المولي (mol/L).

M: الكتلة المولية (g/mol).

V: حجم المحلول (L).



الشكل (III.5): نترات النيكل بشكل مسحوق ومذابة في الماء المقطر.

III.4.2.2. تحضير محلول العينات المطعمة:

لتحضير محلول التطعيم تم استخدام محلول أكسيد النيكل المحضر سابقا ولغرض تطعيمه تم استعمال مسحوق نترات الألمنيوم كما هو موضح في الشكل (III. 6) كمصدر للألمنيوم ذو الصيغة $(Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O)$ والكتلة المولية $(M=237.93 \text{ g/mol})$ ، تم أخذ كتلة $(m=0.2251 \text{ g})$ من نترات الألمنيوم ووضعها في حجم (3ml) من الماء المقطر للحصول على محلول ذو تركيز $(C=0.2 \text{ mol/L})$ ، حيث تم تطبيق النسب الحجمية بين المحلول الأساسي (أكسيد النيكل) ومحلول التطعيم (محلول أكسيد الألمنيوم) لحساب حجم التطعيم والتي تعطى بالعلاقة:

$$\frac{V_2}{V_1+V_2} \cdot 100 = \text{النسبة الذرية المئوية (at. \%)} \quad (2. \text{III})$$

V_1 : حجم المحلول الأساسي.

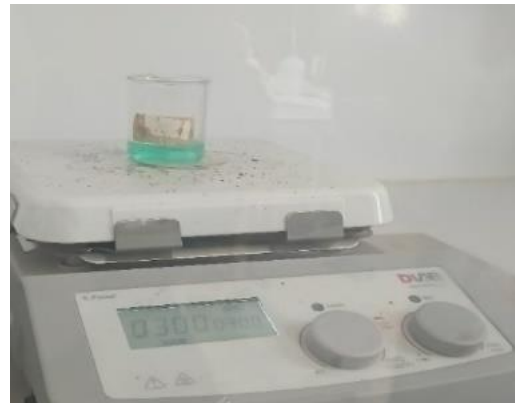
V_2 : حجم محلول التطعيم.

at: النسبة المئوية الذرية للتطعيم.



الشكل (III. 6): نترات الألمنيوم.

يجب التأكد من الذوبان الجيد لنترات النيكل والألمنيوم في الماء المقطر لتجنب بقاء رواسب، نستخدم في هذه المرحلة الخلاط المغناطيسي لمدة نصف ساعة عند درجة حرارة (60 C°) ب 300 دورة خلال ثانية.



الشكل (III. 7): مرحلتي الخلط والوزن.

الفصل الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها

تم تحضير محلول ذو حجم (15ml) وتركيز (0.2g/mol) من أكسيد النيكل المطعم بالألمنيوم بنسب مختلفة وفق التجارب التالية:

الجدول (III.1): مختلف التجارب المستعملة لتحضير العينات.

رقم تجربة	طبيعة المحلول	اسم العينة	نسبة التطعيم (%)	حجم التطعيم (ml)	الحجم المحضر في التجربة (ml)	التركيز (g/mol)	الحجم المستعمل (ml)
1	NiO	S ₁	0	0	15	0.2	12
2	NiO+Al	S ₂	2	0.3	15	0.2	12
3	NiO+Al	S ₃	4	0.6	15	0.2	12
4	NiO+Al	S ₄	6	0.9	15	0.2	12
5	NiO+Al	S ₅	8	1.2	15	0.2	12
6	NiO+Al	S ₆	10	1.5	15	0.2	12

III.5.2.2. ترسيب الأغشية الرقيقة:

تبدأ عملية ترسيب الأغشية بعد تحضير المحلول المراد رشه وتنظيف الركائز الزجاجية، حيث تمر هذه العملية بعدة مراحل وهي:

1. نملئ خزان المحلول بالمحلول المحضر سابقا ونعدل جهاز الضغط على (1bar).
2. نضع الركائز الزجاجية على سطح سخان كهربائي في موضع مناسب ليصلها رذاذ المحلول وبعدها نقوم بتشغيل السخان ونعدله على درجة الحرارة المطلوبة (450 C°).
3. بعد تسخين الركيزة نبدأ في عملية الرش حتى يفرغ المحلول نوقف جهاز الرش لمدة (1min) لإعادة ملئ الخزان ونكرر هذه العملية حتى تنفذ كل الكمية. يتشكل على سطح الركيزة طبقة من أكسيد النيكل وفق المعادلة التالية:
$$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O(s) + H_2O(aq) \xrightarrow{Heat(400-500^\circ C)} NiO(s) \downarrow + 2NO_2(g) \uparrow + \frac{1}{2}O_2(g) \uparrow + 7H_2O(g) \uparrow$$
4. بعد انتهاء عملية الرش نقوم بإغلاق السخان الكهربائي ونترك الركائز الزجاجية تبرد لوحدها حتى تصل الى درجة حرارة الغرفة وهذا لمنع كسرها لاختلاف درجة الحرارة بين الركيزة الزجاجية والوسط بالإضافة للسماح لها بإكمال عملية الأكسدة والنمو البلوري للحصول على غشاء يحتوي على عيوب بلورية أقل.

III.3. تحديد خصائص الأغشية المحضرة:

ليتم تحديد خواص الأغشية المحضرة والمتمثلة في الخصائص البنيوية والبصرية والكهربائية لآبد من دراسة النتائج المتحصل عليها ورسمها بيانيا ومن بين برامج الرسم التي استعملت في هذه الدراسة برنامج (Origin por 2018) ومن ثم معاينتها.

III.1.3. الخصائص البنيوية:

تعد دراسة الخواص البنيوية من أهم الدراسات التي تعطي لمحة عن بنية المادة والتركيب البلورية لها، ويتم تعيين هذه الخواص بعد تحليل النتائج المتحصل عليها من انعراج الأشعة السينية (DRX) ومطيافية الأشعة تحت الحمراء

الفصل الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها

(FTIR) واستخلاص أهم الثوابت التي تعطي انطباع عن هذه الأغشية، وقد استعمل في هذه الدراسة جهاز انعراج من النوع (PROTOMANUFACTURING)، بإشعاع ($\lambda = 1.540593 \text{ \AA}$) ومصدر طاقة ثابت ($V=30\text{kV}$) ($I=20\text{mA}$)، كما تم مسح الرقائق بمعدل (0.1°) لكل (4 s) على مدى ($30^\circ-80^\circ$).

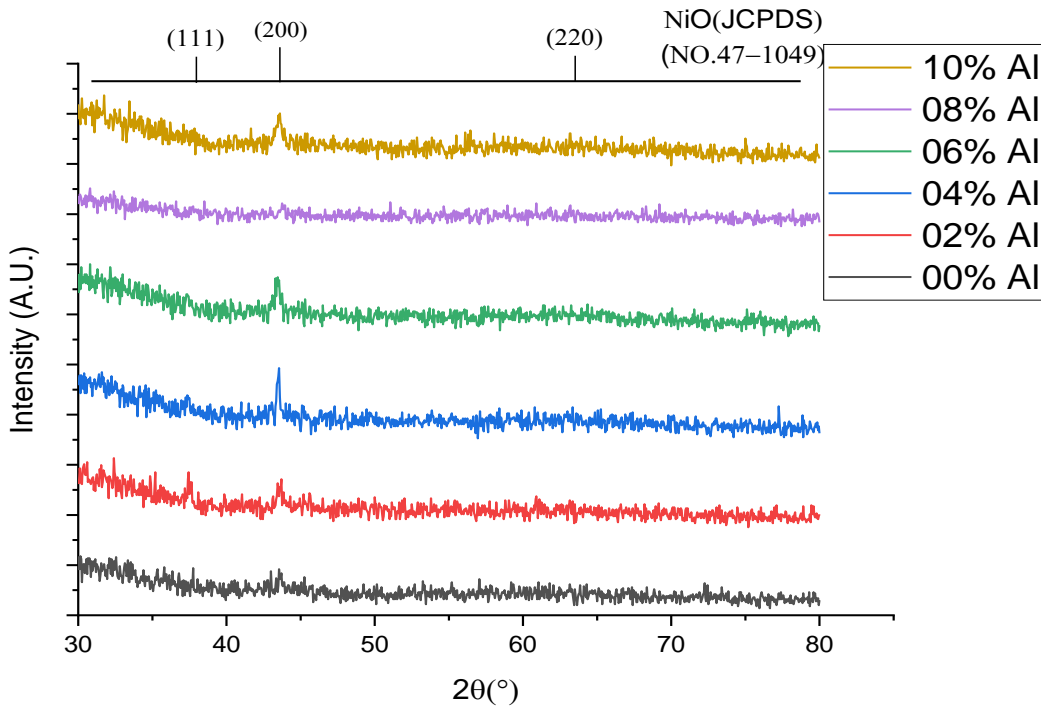
1.1.3.III. انعراج الأشعة السينية:

يبين الشكل (III. 8) نتائج حيود الأشعة السينية لأغشية أكسيد النيكل النقي والمطعم بالألمنيوم بنسب تطعيم متفاوتة والمحضرة عند درجة حرارة (450°C).

من خلال المنحنيات المتحصل عليها تم تحديد مواضع القمم التي تظهر بشكل حاد عند تسليط حزم من الأشعة السينية بزوايا مختلفة على الأغشية المحضرة. عليه وجد بأن الأغشية المحضرة جميعها تُظهر قممًا في المجال الزاوي ($37.4128^\circ = \theta_2$) المقابلة للاتجاه (111). عند مقارنة النتائج مع البطاقات الدولية للقياسات وجد أنها تتوافق مع البطاقة (JCPDS 47-1049) الموضحة في الشكل (III. 11)، والتي تؤكد بأن للأغشية المحضرة تركيب مكعبي (CFC) ينتمي إلى المجموعة الفضائية ($Fm 3m$).

لم تظهر أي قمة في طيف الأشعة السينية تدل على وجود أطوار لها علاقة بأكسيد الألمنيوم وهذا ما يثبت أن عملية التطعيم لم تؤثر على تركيب الشبكة البلورية للشرائح المحضرة، وهو دليل على أن ذرات الألمنيوم نجحت في الولوج إلى الشبكة البلورية دون التأثير على البنية أي أدمجت في الشبكة المضيفة، إذًا فهو تأكيد لما توصلت إليه الدراسة (S. Riaz, et al) [1].

لوحظ أن هناك تغير في توجه البلور بزيادة نسبة التطعيم أي تغير شدة القمم، إذ يعود سبب ذلك إلى ان ذرات الألمنيوم عملت على إحداث تغير في تبلور الجسيمات النانوية للأغشية المطعمة.



الشكل (III. 8): مخطط انعراج الأشعة السينية لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم.

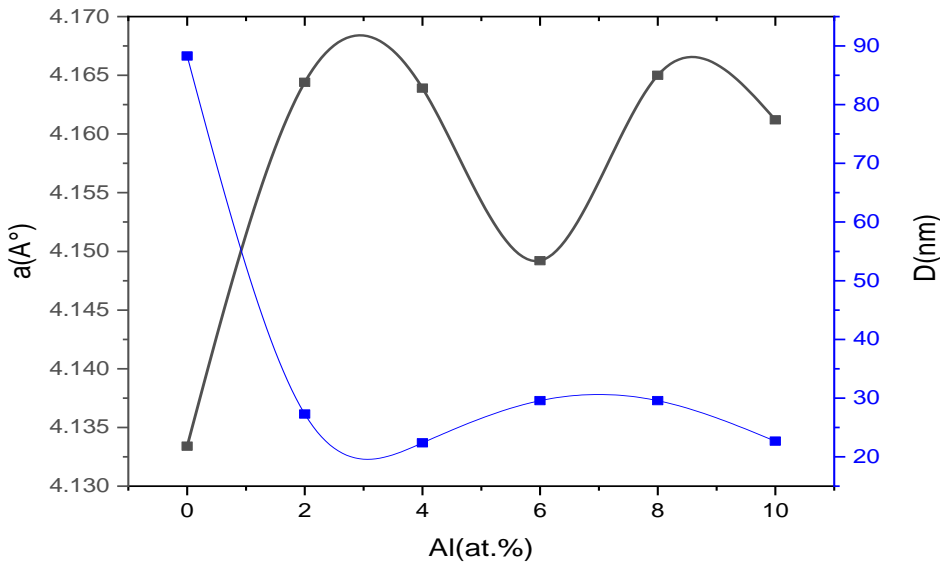
2.1.3.III. تحديد ثوابت الشبكة البلورية:

لتحديد الثوابت البلورية للأغشية المحضرة تم تعيين الثوابت البلورية المتمثلة في المستويات البلورية وزوايا الانعراج وعرض منتصف القمم وهذا من خلال مخطط انعراج الأشعة السينية وباستخدام برنامج (high score):

تم التوصل إلى أن قيم المسافة بين المستويات محصورة في المجال (2.06667-2.4039 nm) بالنسبة للاتجاه (200)، أما الاتجاه (111) فبلغت القيمة (2.0826 nm). حُددت قيم ثابت الشبكة من خلال العلاقة (6.II)، ويتم حساب القيمة المتوسطة بالنسبة للأغشية التي لها أكثر من قيمة، يمكن تلخيص قيم الثوابت المتحصل عليها في الجدول (2.III)، يتم مقارنة النتائج مع القيمة النظرية (المقدرة بـ $a_{th}=4.177 \text{ \AA}$)، يمكن مشاهدة وبوضوح أن قيمة ثابت الشبكة للأغشية النقية التجريبية لـ (NiO) أقل من النظرية وتبلغ ($a_p= 4.1334 \text{ \AA}$) وفي المقابل وجد أن التطعيم عمل على زيادة في ثابت الشبكة إلى أن وصل إلى (4.165 Å) عند العينة S₅ مما يعني أن الألمنيوم عمل على تغيير تبلور الجسيمات النانوية للأغشية المطعمة، فقد يحتمل أن الألمنيوم قد عمل على احتلال المواضع البينية، بحيث أحدث توسع في الشبكة البلورية بزيادة ثابت الشبكة واقتربه للقيمة النظرية ويُدعم هذا باختلاف الأقطار الأيونية لكل من النيكل والألمنيوم والتي تقدر قيمها بـ $r_{Al^{3+}}=0.55 \text{ \AA}$ و $r_{Ni^{2+}}=0.69 \text{ \AA}$ [3,2].

3.1.3.III. القد الحبيبي:

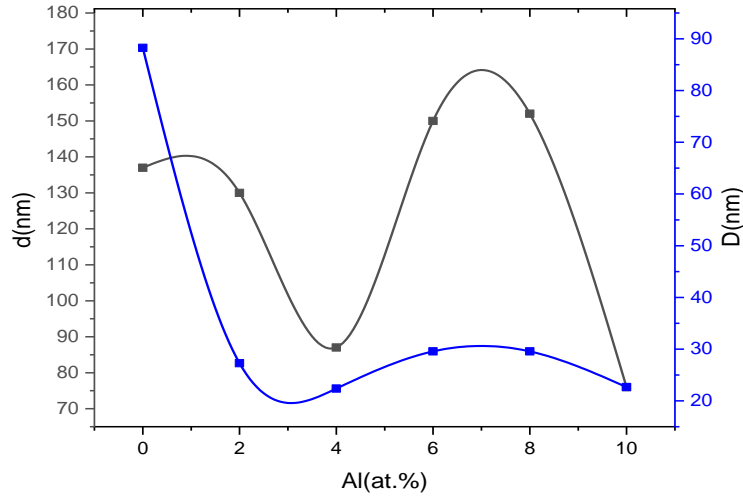
إن للقد الحبيبي دور مهم في تحديد خصائص المادة المتبلورة، باستخدام العلاقة (7.II) تم حساب القد الحبيبي لجميع أغشية أكسيد النيكل المحضرة، وهذا بعد حساب العرض عند منتصف أعلى قمة FWHM، استنادا إلى الجدول (2.III) وجد أن قيم هذا الأخير تتراوح بين (0.0900-0.4369°)، ومن خلال الطول الموجي المستعمل في جهاز انعراج الأشعة السينية وجد أن قيم القد الحبيبي تتراوح بين (22.3661-88.2714nm). يوضح الشكل (9.III) رسم تخطيطي لتغيرات القد الحبيبي وثابت الشبكة بدلالة نسب التطعيم. تم ملاحظة أن هناك تناسب عكسي لكل من القد الحبيبي وثابت الشبكة عند زيادة نسب التطعيم، حيث أخذ القد الحبيبي قيم صغيرة ومتقاربة نوعا ما بالنسبة لجميع الأغشية المطعمة مقارنة بغشاء أكسيد النيكل النقي، يتوافق نقصان القد الحبيبي بزيادة نسبة التطعيم مع دراسات (B. Ramasubba Reddy, G. S. Harish) [4].



الشكل (9.III): منحنى تغيرات كل من القد الحبيبي وثابت الشبكة بدلالة نسب التطعيم.

الفصل الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها

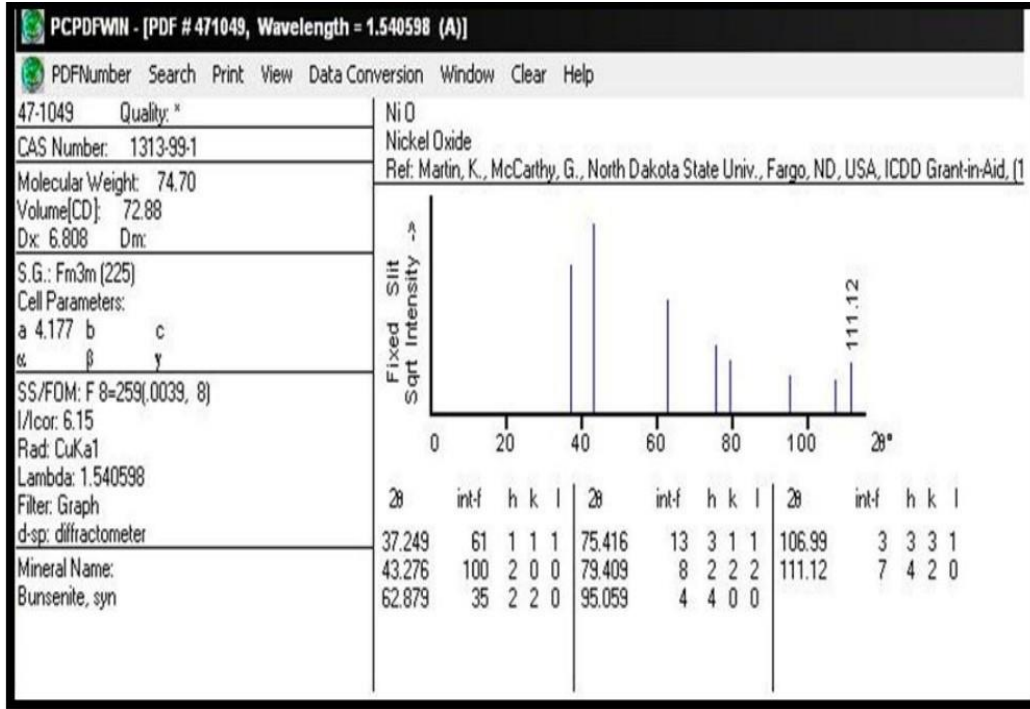
يمثل الشكل (10.III) تغيرات كل من القد الحبيبي وسمك العينة بدلالة التطعيم حيث تم ملاحظة أن هناك تناسب وتوافق واضح بين تغيرات القد الحبيبي وسمك العينات، يدل هذا على أن للسمك أيضا أثر على جودة التبلور للعينات.



الشكل (10.III): منحنى يمثل تغيرات سمك العينة والقُد الحبيبي بدلالة التطعيم.

الجدول (2.III): ملخص النتائج المتحصل عليها من أطيف انعراج الأشعة السينية.

D(nm)	FWHM ($^{\circ}$) β	a(\AA)	Hkl	d_{hkl} (\AA)	2θ ($^{\circ}$)		
-----	-----	4.177	111	-----	37.249	NiO (JCPDS 47-1049)	
-----	-----		200	-----	43.276		
-----	-----		222	-----	79.409		
88.2714	0.0900	4.1334	200	2.06667	43.7675	00%	NiO :Al
27.2795	0.2184	4.1644	111	2.4039	37.4128	02%	
	0.4369		200	2.0826	43.4536		
22.3661	0.3552	4.1639	200	2.08195	43.4300	04%	
29.5552	0.2688	4.1492	200	2.0746	43.6113	06%	
29.5552	0.2688	4.165	200	2.0825	43.4184	08%	
22.6725	0.3504	4.1612	200	2.0806	43.4600	10%	



الشكل (11.III): البطاقة الدولية للقياسات (JCPDS 47-1049) [5].

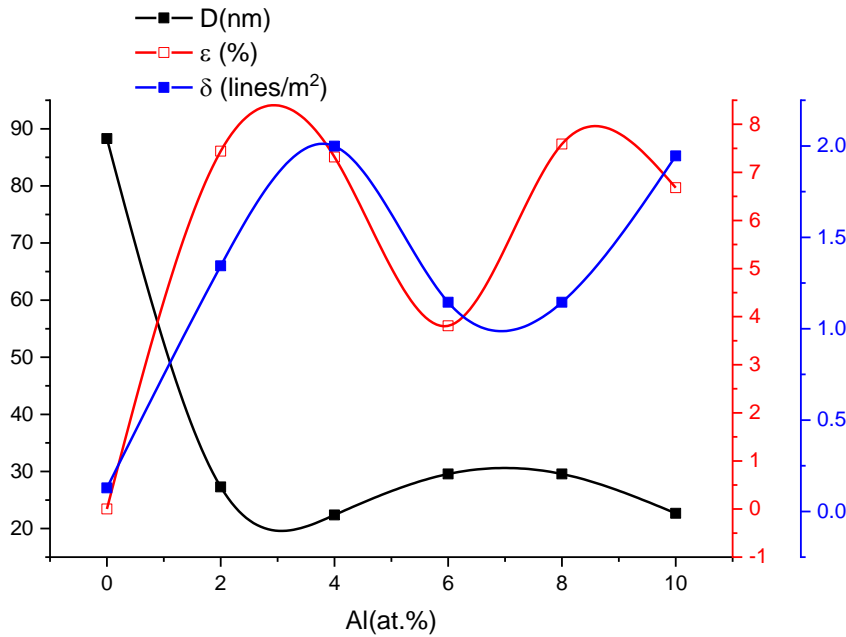
4.1.3.III. كثافة الانخلاع والانفعال المتوسط:

كثافة الانخلاع والانفعال المتوسط هما مقداران فيزيائيان يعبران عن نسبة العيوب داخل الشبكة البلورية ومن خلالهما يتم الحصول على تصور حول تبلور الشبكة البلورية، حيث تم حسابهما من خلال العلاقتين (8.II) و(9.II) على الترتيب ومن ثم الحصول على النتائج المدونة في الجدول (3.III).

يمثل الشكل (12.III) تغيرات كثافة الانخلاع والانفعال المتوسط بالإضافة إلى القد الحبيبي بدلالة نسب التطعيم، من خلال المنحنى تم ملاحظة أن هناك توافق بين تغيرات كثافة الانخلاع والانفعال المتوسط الذين يتناسبان عكسيا مع تغيرات القد الحبيبي مما يعني أن جودة التبلور تتأثر سلبا عند زيادة نسبة العيوب.

الجدول (3.III): ملخص نتائج كثافة الانخلاع.

δ (lines/m ²).10 ¹⁵	ϵ (%) .10 ⁻³	D (nm)	a (Å)	Al (at.%)
0.1283	-	88.2714	4.1334	00
1.3438	7.44	27.2795	4.1644	02
1.9990	7.32	22.3661	4.1639	04
1.1448	3.81	29.5552	4.1492	06
1.1448	7.59	29.5552	4.165	08
1.9454	6.68	22.6725	4.1612	10



الشكل (III.12): منحنى تغيرات القد الحبيبي ومتوسط الانفعال وكثافة الانحلال بدلالة نسب التطعيم.

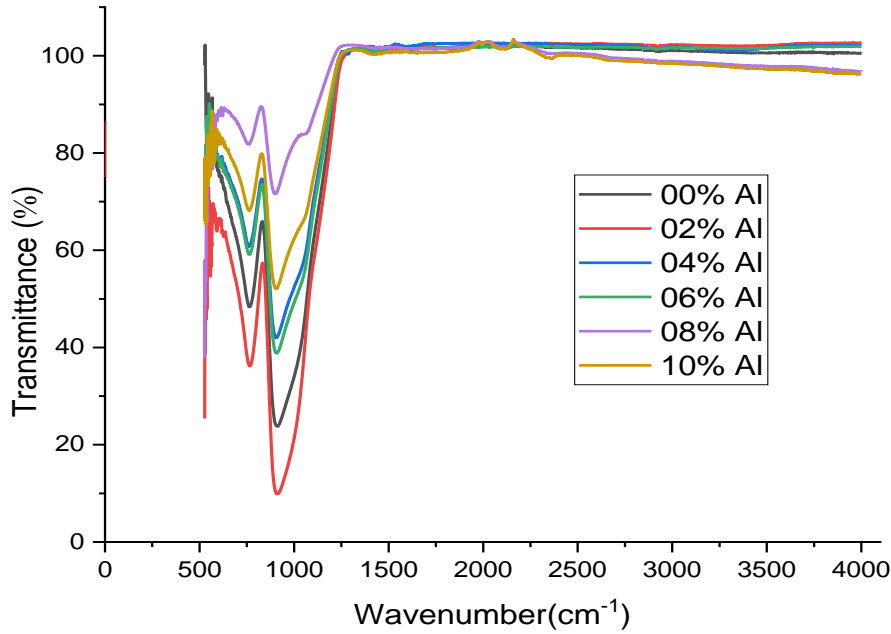
5.1.3.III. مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR):

لمعرفة نوع روابط أغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم تمت دراسة طيف الأشعة تحت الحمراء في مجال الأعداد الموجية ($500-4000 \text{ cm}^{-1}$) بجهاز (Thermo Scientific) في مختبر (Levres) بجامعة الوادي، حيث يتم تحديد أنواع الروابط الكيميائية من خلال موقع اهتزازها في طيف الأشعة تحت الحمراء عند عدد موجي معين.

يمثل الشكل (III.13) طيف الأشعة تحت الحمراء بدلالة العدد الموجي لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة، تمت ملاحظة قمتين تتوافقان مع المجالين ($756-766 \text{ cm}^{-1}$) و ($900-912 \text{ cm}^{-1}$) على الترتيب، القمة الأولى قد تكون إما لرابطة لأكسيد النيكل أو أكسيد الألمنيوم والمرجح أنها لأكسيد النيكل حسب نتائج انعراج الأشعة السينية (DRX)، في حين أن القمة الثانية تعزى أن تكون إما لرابطة (O-H) أو (N-H)، وما يؤكد هذا الدراسات السابقة والموضحة في الجدول (III.4).

الجدول (III.4): جدول يوضح نوع الرابطة والتردد الموافق لها.

نوع الرابطة	العدد الموجي (cm^{-1})
اهتزاز انحناء الرابطة $\text{Ni-O}^{[6]}$	760-755
رابطة $\text{O-Al-O}^{[7]}$	500-900
رابطة $\text{O-H}^{[8]}$	910-950
رابطة $\text{N-H}^{[9]}$	665-910



الشكل (13. III): طيف الأشعة تحت الحمراء لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألومنيوم.

2.3.III. الخصائص الضوئية للأغشية المحضرة:

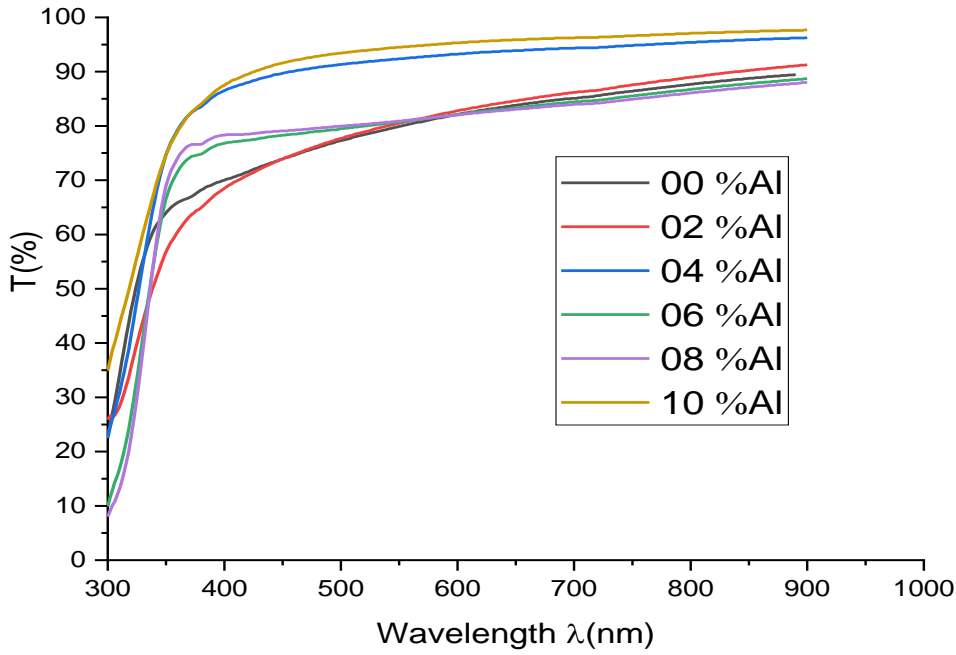
تعد الخصائص البصرية من أهم الخصائص التي تقدم صورة داخلية لما هو عياني.

1.2.3.III. النفاذية:

تمت دراسة الخصائص البصرية للأغشية المحضرة من خلال تسجيل نفاذيتها في طيف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية، باستخدام المطياف الضوئي (UV-VIS SPECTROPHOTOMETER)، الذي أستخدم عند الأطوال الموجية (300-900 nm).

يوضح الشكل (14.III) منحنى بياني للنفاذية كدالة للطول الموجي، من خلال النتائج تم ملاحظة أن النفاذية تزداد بزيادة الطول الموجي بالنسبة لجميع الأغشية، حيث تزداد قيم النفاذية بشكل سريع جدا بجوار حافة الامتصاص الأساسية في مجال الأطوال الموجية (300-400 nm). أما في المجال المرئي (400-700 nm) فنجد أن قيم النفاذية تزداد تدريجياً تبعاً لزيادة الطول الموجي.

من النتائج تم التوصل إلى أن أكسيد النيكل النقي له نفاذية عالية في المجال المرئي تقارب (85%)، وأظهرت أيضاً أن الزيادة في نسبة التطعيم تؤدي إلى زيادة النفاذية عموماً بالنسبة لجميع الأغشية عدا العينتين S₄ و S₅ في المجال (600-900 nm) وقد بلغت أقصاها (95%) بالنسبة للعيينة S₆.



الشكل (III.14): أطياف النفاذية لأغشية أكسيد النيكل النقي والمطعم بالألومنيوم.

قد تعزى زيادة النفاذية بزيادة نسبة التطعيم بالألومنيوم إلى نقصان قيم الامتصاص وهذا لأن أيونات الألومنيوم ثلاثية التكافؤ ولدت فجوات موجبة إضافية أدت إلى تقليل حاملات الشحنة الحرة السالبة بإعادة الالتحام معها. ويُعزز ما ذكر سالفًا بقيم السمك للعينات المدروسة فبالنسبة للعينتين S_1 و S_2 كانت قيم السمك متقاربة جدا وهذا ما أفضى إلى قيم متقاربة في النفاذية، بينما بالنسبة للعينتين S_3 و S_6 كانت نفاذيتهما كبيرة وذلك لسمكهما الصغير مقارنة بالعيونة S_1 ، أما العينتين S_4 و S_5 فقد كانت نفاذيتهما أقل من S_1 ذلك لسمكهما الكبير.

III.2.2.3. تحديد سمك العينات: يوضح الجدول ادناه (III.5) قيم سمك العينات المحضرة.

الجدول (III.5): سمك العينات لمختلف العينات المحضرة.

اسم العينة	S1	S2	S3	S4	S5	S6
السمك d(nm)	137	130	87	150	152	76

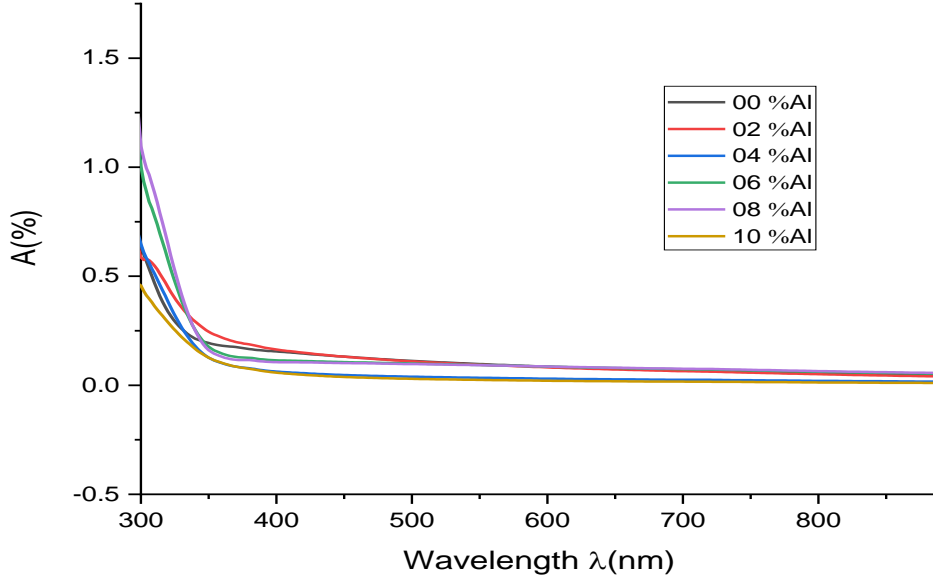
III.3.2.3. الامتصاصية:

تم حساب الامتصاصية في مجال الأطوال الموجية (300-900nm) لجميع العينات المحضرة، يمثل الشكل (III.15) طيف الامتصاصية بدلالة الطول الموجي.

تبين من خلال الشكل (III.15) أن الامتصاصية تتناقص بالزيادة في الطول الموجي لكل العينات. يقابل الأطوال الموجية القصيرة طاقة كبيرة تسمح للإلكترونات بالانتقال من حزمة التكافؤ BV إلى حزمة التوصيل BC ولهذا تكون قيمة الامتصاصية عالية، ومع الزيادة في الأطوال الموجية تتناقص قيم الامتصاصية وهذا لنقصان قيم الطاقة وبالتالي عدم قدرة الإلكترونات على الانتقال من BV إلى BC، كما توضح النتائج أنه عند الطول الموجي (300 nm) ما يقابل طاقة

الفصل الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها

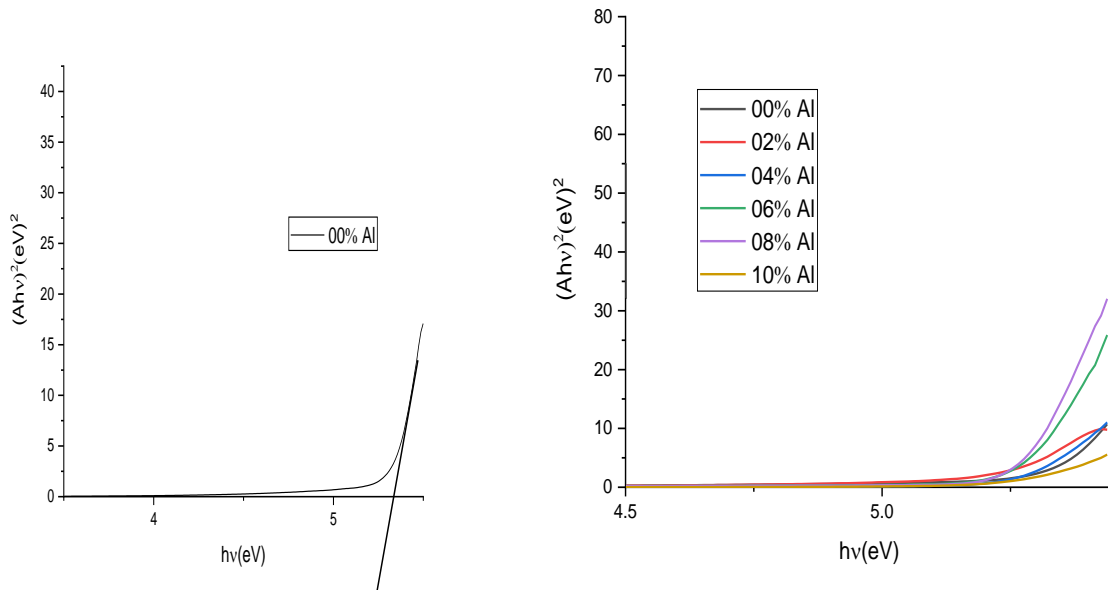
كبيرة كانت للامتصاصية أعلى قيمة عند العينتين S_4 و S_5 ثم أخذت قيمة أقل عند العينتين S_2 و S_3 وأقل قيمة كانت للعينة S_6 ، من المعلوم أن قيم النفاذية تأخذ وتيرة عكسية بالنسبة لقيم الامتصاص أي أن الزيادة في قيم النفاذية يرافقها تناقص في قيم الامتصاصية في نفس المجال وبالتالي نأخذ نفس التفسيرات لكليهما وهذا ما أكدته الدراسات السابقة [10].



الشكل (III.15): أطيف الامتصاصية لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم.

4.2.3.III. الفاصل الطاقى:

تم تحديد قيم الفاصل الطاقى باستعمال العلاقة (10.II) التي تعتمد على التمثيل البياني لتغير $(Ahv)^2$ بدلالة (hv) . يوضح الشكل (III.16) منحنى تغيرات $(Ahv)^2$ بدلالة (hv) لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة.



الشكل (III.16): منحنى تغيرات $(Ahv)^2$ بدلالة (hv) لأغشية النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم.

الفصل الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها

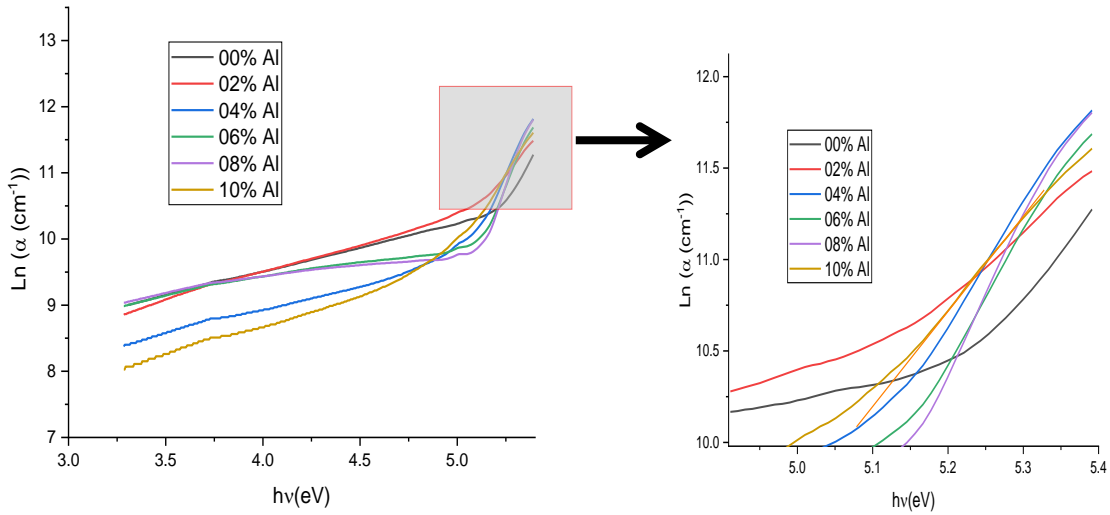
يوضح الجدول (6.III) قيم الفاصل الطاقى للأغشية المحضرة، حيث نجد أن قيم الفاصل الطاقى تتأثر بزيادة نسب التطعيم، حيث أن لأكسيد النيكل النقي أعلى قيمة فاصل طاقى، في حين أن التطعيم أدى إلى إنقاص قيمه بنسب مختلفة مقارنةً بأكسيد النيكل النقي، نجد أنه عند العينة S2 تناقصت قيمة الفاصل الطاقى لأقل قيمة (5.24 eV) ثم أخذت تتزايد عند نسبة التطعيم 6% ثم تناقصت عند العينة S5، يعود التغير في قيم الفاصل الطاقى إلى نسبة التطعيم حيث أن زيادتها تؤدي إلى زيادة عرض سويات الطاقة أعلى حزمة التكافؤ مما يعمل على إنقاص Eg، كما يفسر أيضا التغير في قيم الفاصل الطاقى إلى التغير الكبير في قيم السمك.

الجدول (6.III): قيم الفاصل الطاقى لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم.

Al (%)	00	02	04	06	08	10
Eg (eV)	5.33	5.24	5.26	5.28	5.25	5.31

5.2.3.III. طاقة أورباخ:

يمثل الشكل (17.III) منحنى تغيرات $\ln(\alpha)$ بدلالة طاقة الفوتون لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم. فمن خلال هذا المنحنى تم تحديد قيم طاقة أورباخ وذلك بتعيين مقلوب ميل الجزء الخطي للمنحنى عند حافة الامتصاص الأساسية.



الشكل (17.III): منحنى تغيرات $\ln(\alpha)$ بدلالة (hv) لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم.

يظهر الشكل (18.III) قيم الفاصل الطاقى وطاقة أورباخ للعينات المحضرة، حيث وجد أن طاقة أورباخ تراجعت قيمها بنسب مختلفة بزيادة التطعيم، حيث وجد أنه قبل نسبة التطعيم 6% أخذت كل من طاقة أورباخ والفاصل الطاقى سلوكًا عكسياً أي تزايد قيم الفاصل الطاقى يقابله تناقص في طاقة أورباخ ويفسر هذا بأن زيادة التطعيم أدى إلى زيادة عرض الذبول في الحزمة الممنوعة وبالتالي تناقص الفاصل الطاقى [11]، في حين أنه بعد هذه النسبة أخذت كلاً من طاقة أورباخ والفاصل الطاقى سلوكًا تناقصاً أو تزايداً متشابهاً وهذا راجع إلى أن للعينة S5 سمك كبير ما أدى إلى نقصان العيوب البلورية وبالتالي نقصان عرض ذبول طاقة أورباخ،

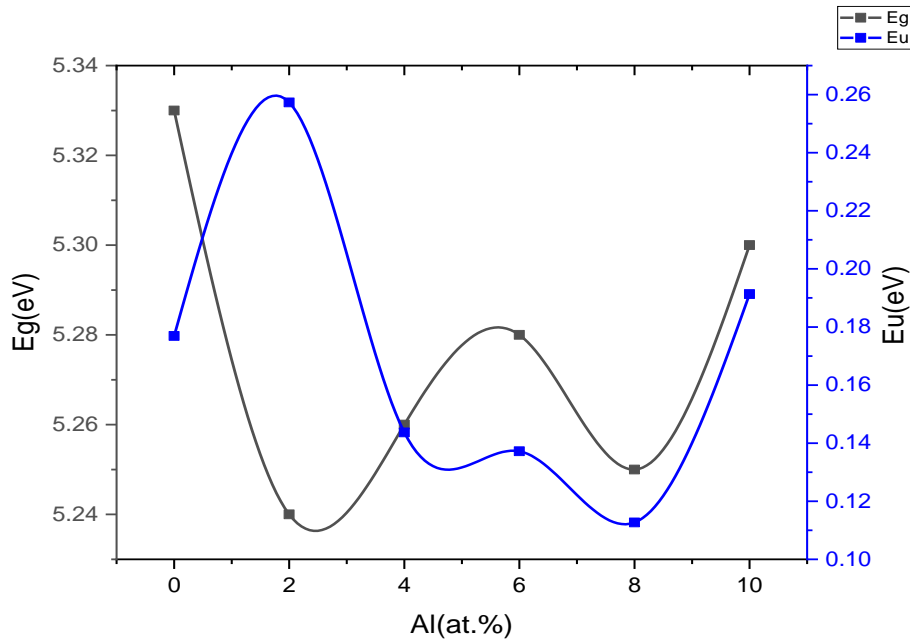
الفصل الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها

في حين أنه عند العينة S6 وجد أن قيمتي الفاصل الطاقوي وطاقة أورباخ تزايدتا معاً ويفسر هذا بحدوث ظاهرة الحصر الكمي والتي يحدث فيها تباعد لمستويات طاقة الإلكترون في الحزمة ممنوعة وهذا لسماك العينات الصغير بالإضافة إلى نسبة التطعيم الكبيرة للعينة S₆ وهذا ما يزيد عرض ذيول طاقة أورباخ.

يوضح الجدول (7.III) قيم طاقة أورباخ

الجدول (7.III): قيم طاقة أورباخ لعينات أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم.

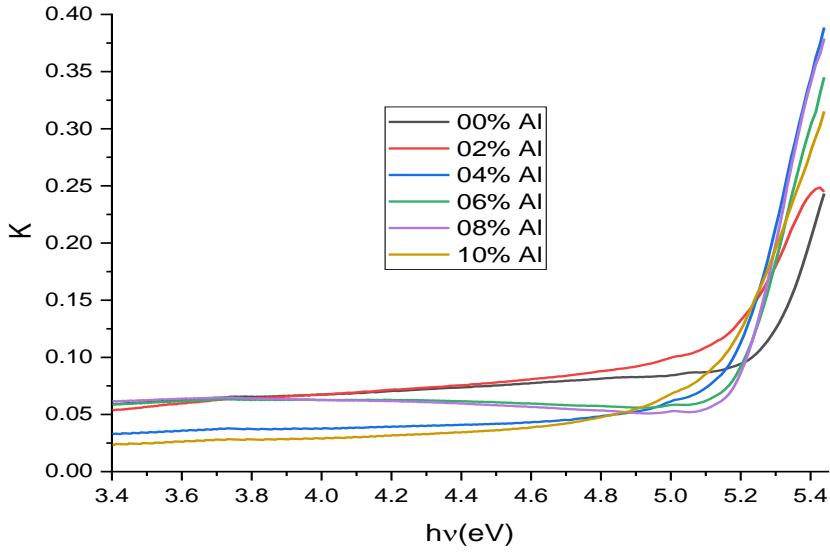
Al (%)	00	02	04	06	08	10
Eu(eV)	0.1769	0.2573	0.1437	0.1372	0.1127	0.1913



الشكل (III.18): منحنى تغيرات كل من الفاصل الطاقوي وطاقة أورباخ بدلالة نسب التطعيم.

6.2.3.III. معامل الخمود:

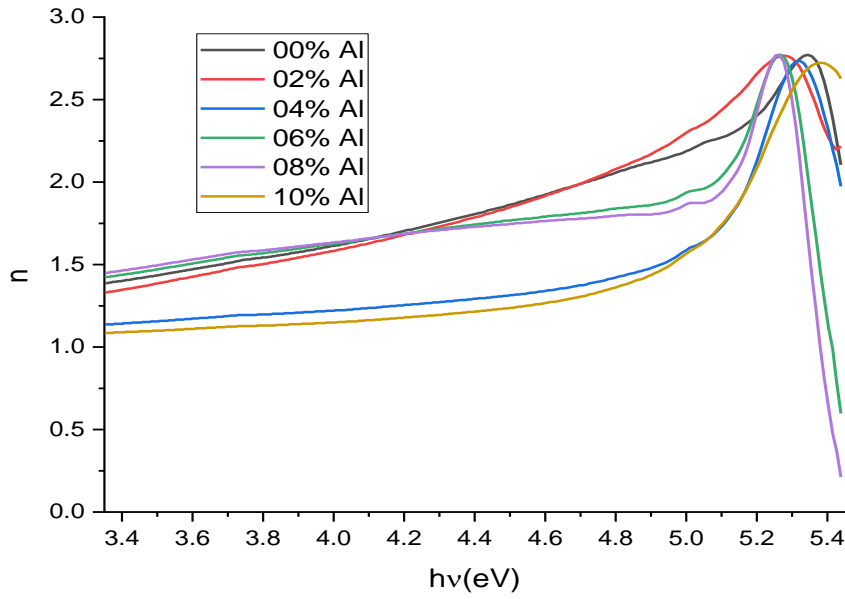
يبين الشكل (III.19) تغيرات معامل الخمود بدلالة طاقة الفوتون لجميع الأغشية المحضرة، حيث وجد من خلال هذا الشكل أنه في المجال (3.7-4 eV) كان للأغشية S₁ و S₂ قيم معامل خمود تقريبا متساوية، وبالنسبة للأغشية S₃ و S₆ لنفس المجال السابق كانت قيم معامل الخمود تقريبا متساوية وتتغير بوتيرة ثابتة لجميع العينات، كان معامل الخمود للعينة الغير مطعمة أكبر من عينات التطعيم في مجال الطاقات (3-4.5 eV) وعند القرب من حافة الامتصاص الأساسية أخذت العينات المطعمة قيم أكبر لمعامل الخمود مقارنة بالعينة النقية. تتزايد قيم معامل الخمود بزيادة طاقة الفوتون لكافة العينات عند حافة الامتصاص الأساسية وهذا يؤكد حدوث انتقالات إلكترونية مباشرة مما يعني أن الإلكترونات قد انتقلت من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة التوصيل أي عند نفس النقطة في الفضاء (K)، زيادة قيم معامل الخمود تأخذ نفس الزيادة لقيم الامتصاص عموما وبالتالي يأخذان نفس التفسيرات، وهذا ما تؤكدته الدراسات السابقة [12].



الشكل (19.III): معامل الخمود لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم.

7.2.3.III. معامل الانكسار:

تم حساب قيم معامل الانكسار من خلال العلاقة (13.I)، يوضح الشكل (20.III) تغيرات معامل الانكسار بدلالة طاقة الفوتون لأغشية أكسيد النيكل النقي والمطعم بالألمنيوم، تتزايد قيم معامل الانكسار بالنسبة لجميع العينات المحضرة بزيادة طاقة الفوتون لتصل إلى أعلى قيمة لها عند حافة الامتصاص الأساسية، يلاحظ أن منحنى معامل الانكسار والخمود لهما نفس الشكل.



الشكل (20.III): معامل الانكسار لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم.

III.8.2.3. ثابت العزل الكهربائي الحقيقي والخيالي:

يمثل ثابت العزل الكهربائي قدرة المادة على الاستقطاب، وهو التفاعل الحادث بين الضوء وشحنات الوسط عند سقوط أشعة كهرومغناطيسية عليها ما ينتج عنه تجاوب للمادة عند توافق التواترات بينهم وهذه الظاهرة تعرف بالاستقطاب، ويعبر عن الاستقطاب بثابت العزل المعقد والذي يعطى بالعلاقة [12، 13]:

$$\varepsilon' = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2 \quad (3. III)$$

حيث:

ε' : ثابت العزل المعقد.

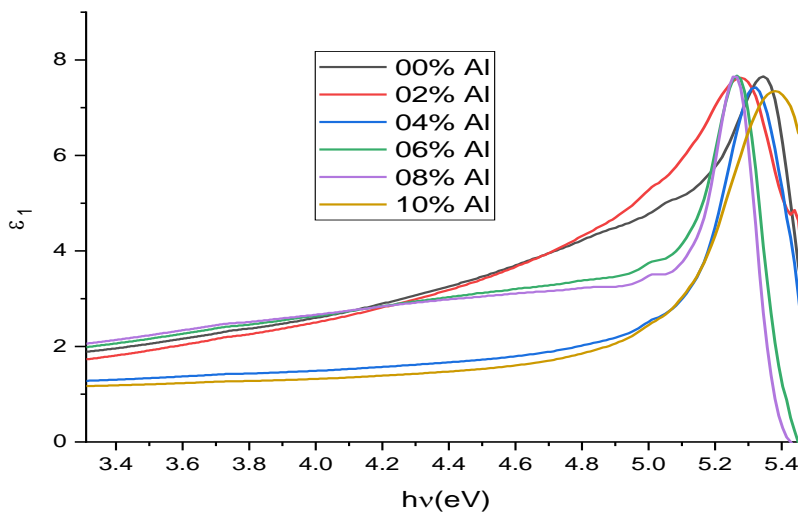
ε_1 : ثابت العزل الحقيقي.

ε_2 : ثابت العزل الخيالي.

يعبر ثابت العزل الحقيقي على استقطاب الوسط وتعطى عبارته بدلالة معامل الخمود ومعامل الانكسار بالعلاقة [14]:

$$\varepsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (4. III)$$

يبين الشكل (III. 21) منحنى تغيرات ثابت العزل الكهربائي الحقيقي بدلالة طاقة الفوتون، من خلال هذا الشكل توضح أن قيم ثابت العزل الكهربائي الحقيقي لجميع الأغشية المحضرة كانت منخفضة عند الطاقات الواطئة ومن ثم أخذت تنزايد تدريجياً عند زيادة الطاقة حتى تصل إلى أقصى قيمة لها عند الطاقات العالية بجوار حافة الامتصاص الأساسية، وبعدها تتناقص تناقصاً سريعاً، يمكن القول بأن القيم العالية لثابت العزل الكهربائي الحقيقي عند الطاقات العالية تعود إلى عملية الاستقطاب الأيوني لما لها من تجاوب عند هذه الطاقات، ويفسر عدم تجاوبها للطاقات الضعيفة في كون أن هذه الطاقة كانت غير كافية لإحداث اهتزاز أيوني، في حين أنه في الطاقات العالية جداً تناقص التجاوب تناقصاً كبيراً وهذا لعدم قدرة ثنائيات أقطاب عطاليا على مواكبة التغير في المجال الكهربائي للإشعاع الكهرومغناطيسي.

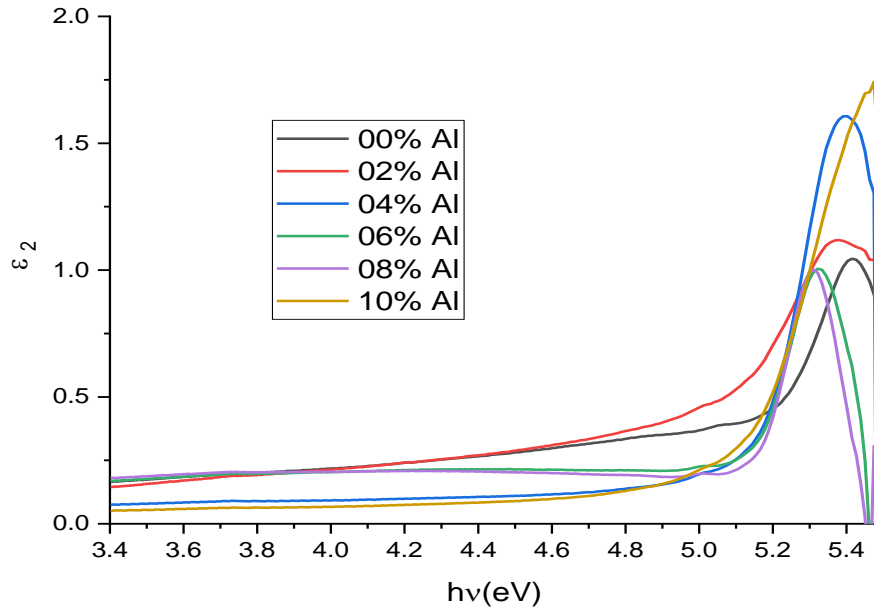


الشكل (III. 21): منحنى تغيرات ثابت العزل الكهربائي الحقيقي ε_1 للأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة.

يعبر الجزء التخيلي لثابت العزل على مدى امتصاص ذرات المادة لطاقة الاشعاع، وتعطى علاقته [14]:

$$\varepsilon_2 = 2nk \quad (5.III)$$

يمثل الشكل (22.III) منحني تغيرات ثابت العزل الكهربائي الخيالي بدلالة طاقة الفوتون، وجد من خلال هذا المنحنى أنه عند الطاقات الواطئة يأخذ ثابت العزل الكهربائي الخيالي أقل قيم له وكانت شبه ثابتة عند المجال (3.4 – 4.4) eV ثم أخذ في التزايد ليصل إلى أعلى قيمة له بجوار قيم الفاصل الطاقى الموافق للانتقالات المباشرة. من هنا تم ملاحظة أن التشابه بين منحنيات ثابت العزل الحقيقي والخيالي ومنحنى معامل الانكسار وهذا التناسب بين المنحنيات تؤكد العلاقات السابقة ε_1 و ε_2 .



الشكل (22.III): منحني تغيرات قيم ثابت العزل الكهربائي التخيلي ε_2 لأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة.

3.3.III الخصائص الكهربائية للأغشية المحضرة:

1.3.3.III المقاومة السطحية والناقلية:

تم دراسة الخصائص الكهربائية للأغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة باستعمال تقنية المسابر الأربعة التي تمكننا من الحصول على قيم المقاومة السطحية والناقلية الكهربائية انطلاقاً من قياس فرق الجهد والتيار الكهربائي من خلال العلاقة (6.III)، يمكن ان يعبر عن الناقلية انطلاقاً من قيم كل من المقاومة السطحية والسمك وفق العلاقة [15]:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R_s d} \quad (6.III)$$

ρ : المقاومة الكهربائية (cm.Ω).

d : سمك الغشاء (cm).

الفصل الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها

باستعمال جهاز المسابر الأربعة وجد أنه للعينة الغير مطعمة مقاومة تساوي ($200 M\Omega$) أما العينات المطعمة فقد كانت لها مقاومة كبيرة جدا لم يستطع الجهاز قياسها ($200 M\Omega <$) وبالتالي فإن ناقلية هذه العينات تناقصت بزيادة التطعيم، وهذا تأكيد لقيم الفاصل الطاقى لجميع العينات والذي يتراوح بين ($5.24-5.33eV$)، بالإضافة إلى أن تناقص الناقلية بالتطعيم يؤكد زيادة النفاذية بنقصان عدد حاملات الشحنة الحرة، وبالتالي يمكن القول أن العينات تميل إلى أن تكون عازلة مما يدل على أن التطعيم بالألمنيوم لم يحسن من الخصائص الكهربائية لهذه الأغشية.

4.III. خلاصة:

تم التطرق في هذا الفصل إلى التركيب التجريبي المستعمل لتحضير أغشية أكسيد النيكل النقية والمطعمة بالألمنيوم والمحضرة بطريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري والمعرفة بالشروط المناسبة؛ إذ لوحظ أن التطعيم بالألمنيوم يؤثر على الخصائص البنوية والبصرية والكهربائية، تم التعرف على الخصائص البنوية من خلال تحليل ومناقشة نتائج حيود الأشعة السينية ومطياف الأشعة تحت الحمراء إذ وُجد أن للعينات بنية مكعبة (CFC) ذات الزمرة ($Fm 3m$) وثابت شبكة تنحصر قيمته من ($S1$) 4.1334 إلى ($S2$) 4.165 بالإضافة إلى قد حبيبي تتراوح قيمه من 27.2795 ($S2$) إلى 88.2714 ($S1$)، ومن ثم حُددت الخصائص البصرية باستعمال (UV-VIS)، بعد معاينة الشرائح والحصول على النتائج وُجد أن لهذه الاغشية نفاذية عالية تزداد بزيادة التطعيم، كما وجد أن للسلك دور مهم في التأثير على النفاذية، أما بالنسبة للخصائص الكهربائية و التي تم الحصول عليها بجهاز المسابر الأربعة والذي أعطى قيم مقاومة كبيرة وتقدر ب ($200 M\Omega$) بالنسبة للعينة الغير مطعمة أما الأغشية المطعمة فكان لهم مقاومة أكبر بكثير.

مراجع الفصل الثالث

مراجع باللغة العربية

- [5] ع. مريم، " دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعمة بالكوبالت (Co)", مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمة لخضر، الجزائر (الوادي)، (2019).
- [9] عبد العليم سليمان أبو المجد، " التحليل الطيفي باستخدام الأشعة تحت الحمراء"، (2011).
- [10] ح. ا. عبد الله عثمان، " دراسة بعض الخصائص الضوئية للأغشية الرقيقة لأكسيد الخارصين المشوب بنسب مختلفة من الألمنيوم"، مجلة العربية للعلوم ونشر الأبحاث، المجلد 1، العدد 2، الصفحات 1-10، (2017).
- [11] ص. ن. عايد، " تأثير تركيز المولارية على الثوابت البصرية لأغشية ZnO المحسوبة بطريقة الغلاف الرقيق"، مجلة تكريت للعلوم الصرفة، المجلد 18، العدد 4، ص 200، (2013).
- [12] ص. عليوي ضبع، ا. هاتو هاشم، ف. شكور زين العابدين، " تأثير التلدين على الثوابت البصرية لأغشية CuO المشوبة بالأنديموم"، مجلة كلية التربية، رقم 1، ص 249، (2008).
- [13] ع. حيدر حسين، " دراسة الخواص التركيبية والبصرية لأغشية CdSe:Al الرقيقة كدالة لنسب التشويب ودرجة حرارة التلدين"، بكالوريوس علوم فيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة- ابن الهيثم، العراق (بغداد)، (1998).
- [14] س. قنفود، ع. سعيدان، " دراسة الخواص البصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO) المشوب بالمغنيزيوم (Mg)", مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة محمد خيضر، الجزائر (بسكرة)، (2020).

مراجع باللغة الأجنبية

- [1] S. Riaz, et al, " Influence of Aluminum Incorporation on Iron Oxide Nanoparticles for High Frequency Applications" , The 2016 World Congress on Advance in Civil, Environmental and Materials Reserch (ACEM16), (2016).
- [2] B .Rajesh Babu, M. S. R. Prasad, K. V. Ramesh, Y. Purushotham, " Structural and Magnetic properties of Ni_{0.5}Zn_{0.5}Al_xFe_{2-x}O₄ nano ferrite system", Materials Chemistry and Physics, Vol 148, P 585-591, (2014).
- [3] C. Venkataraju, G. Sathishkumar, K. Sivakumar, " Effect of nickel on the electrical propeties of nanostructured MnZn ferrite", Journal of Alloys and Compounds, Vol 498, P 203-206, (2010).
- [4] B .Ramasubba Reddy, G. S. Harish, Ch. Seshendra Reddy, P. Sreedhara Reddy, "Synthesis and characterizatuion of Cu doped NiO nanoparticles ", Journal of Modern Engineering Research (IJMER), Vol 4, (2014)
- [6] R. Barir, B. Benhaoua, S. Benhamida , A. Rahal , T. Sahraoui, R. Gheriani, " Effet of precursor concentration on structurql optical and electrical properties of NiO thin films prepared by spray pyrolysis" , Journal of Nanomaterials(Hindawi), Vol 2017, P 4, (2017).
- [7] Vijaya P .Dhawale, Datta J. Late, Satish D. Kulkarni, " Synthesis, characterisation of () nanoparticles and its application in decoloriwation of methyl orange azo in dye in the presence of uv light" , Journal of nanoscience and technology, issue 1, Vol 5, P 581, (2019).
- [8] H. M. Alkahatani, " Infrared (IR) Spectropy", King Saudi University, Saoudien.
- [15] C. Zaouche, A. Gahtar, S. Benramache, Y. Derouiche, M. Kharroubi, A. Belbe, C. Maghni, L. Dahbi, " the determination of urbach energy and optical gap energy by many methods for Zn doped NiO thin films fabricant semiconductor by spray pyrolysis" , Journal of nanomaterials and biostructures, Vol. 17, No. 4, P 1459, (2022).

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

يهتم علم النانو بدراسة وتوصيف المواد وتعيين خواصها الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية مع دراسة الظواهر الناشئة عن تصغير أحجامها لذلك يهدف إلى إنتاج فئة جديدة من المواد لتتناسب خواصها المتميزة مع متطلبات التكنولوجيا المتقدمة، من بين التقنيات التي أسهمت في تطوير تكنولوجيا النانو تقنية الأغشية الرقيقة التي حظيت باهتمام الباحثين لما لها من خصائص بصرية وكهربائية جيدة، لهذا عرفت تطبيقات الأغشية الرقيقة للأكاسيد الناقلة الشفافة تقدما في مجال الصناعة وخاصة الإلكترونيات، تعددت طرق تحضير هذه الأغشية ولعل أبرز الطرق لتحضيرها طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري المستخدمة في هذا العمل.

لقد قمنا في هذا العمل بتحضير مجموعة من الأغشية الرقيقة لأكسيد النيكل النقي (NiO) والمطعم بالألمنيوم بنسب مختلفة (Al) على ركائز زجاجية مطبقة عند درجة حرارة (450 C°) باعتماد طريقة الرش بالانحلال الكيميائي الحراري، حيث استعمل محلول نترات النيكل (Ni (NO₃)₂. 6H₂O) مصدرا للنيكل (Ni) بتركيز مولي (0.2mol/L) ومحلول نترات الألمنيوم (Al (NO₃)₃. 9H₂O) مصدرا للألمنيوم (Al) بنفس التركيز المعتمد للنيكل.

تمت معاينة الأغشية المحضرة ودراسة تأثير تزايد نسبة التطعيم على خصائصها، من خلال الدراسة البنوية بواسطة انعراج الأشعة السينية (DRX) وجد أن للأغشية المحضرة بنية مكعبة (CFC) ولها اتجاه تفضيلي (200) لجميع الأغشية المحضرة، وقد تم تحديد قيم القيد الحبيبي الناتج عند مختلف نسب التطعيم بالألمنيوم، بينما تم تعيين الروابط الكيميائية باستعمال (FTIR) التي أظهرت وجود رابطتين كيميائيتين الأولى قد تنسب إما إلى (N-H) أو (O-H) ظهرت في نطاق الترددات (912.04-900.57 cm⁻¹) والثانية قد تعود إما إلى (Al-O) أو (Ni-O) وجدت في نطاق الترددات (766.114-756.086 cm⁻¹) ورجحت أن تكون لأكسيد النيكل حسب نتائج (DRX).

تمت دراسة الخصائص الضوئية للأغشية بواسطة (UV-VIS) في مجال الأطوال الموجية (300-900nm) حيث وجد أن النفاذية تزداد بزيادة نسبة التطعيم عند كل العينات في حين أن الفاصل الطاقى يتناقص بزيادة التطعيم مقارنة بالعينة النقية وهذا التناقض في الفاصل الطاقى يقابله زيادة عرض ذبول أورباخ قبل نسبة التطعيم (6%) وبعد هذه النسبة يدخل تأثير السمك ونسبة التطعيم.

قد تم دراسة الخواص الكهربائية للأغشية المحضرة باستعمال تقنية المسابر الأربعة (Four Point Probe) التي مكنت من الحصول على مقاومة الغشاء النقي وهي في حدود (200MΩ). ولم يتمكن الجهاز من رصد مقاومة جميع الأغشية المطعمة بالألمنيوم مما يعني أنها أقرب منها للعازل من النصف ناقل.

من المقارنة العامة بالدراسات السابقة يمكن القول بأن للتطعيم آثارًا كبيرة تعمل على تغيير خواص المواد رغم أن نسبها ضعيفة مقارنة بالمادة الأساسية إذ يمكن تغيير خواص المواد بإضافة التطعيم بنسب مدروسة، أي لكل مادة تطعيم تأثير معين بالنسبة للمواد يمكن اختيارها حسب الحاجة، من هذه الدراسة وجد أن التطعيم بالألمنيوم قد عمل على زيادة شفافية الأغشية، في حين وجد أن تأثير التطعيم المتزايد للألمنيوم يقلل من ناقلية الأغشية.

إن الأمر لا يتوقف عند هذا الحد بل يتعداه، إذ يمكن العمل على تقديم نتائج أكثر وأفضل في مجال تأثير المطعومات المختلفة على خواص أكسيد النيكل (NiO) سواء أحضر بالتقنية وفي الظروف نفسها أم بتقنية وفي ظروف أخرى.

المخلص:

تضمن هذا العمل دراسة الخصائص البنيوية، الضوئية والكهربائية لأغشية رقيقة من أكسيد النيكل النقي (NiO) والمطعم بالألومنيوم (Al) بنسب (00-02-04-06-08-10 %) وذلك انطلاقاً من مادتي نترات النيكل (Ni (NO₃)₂ .6H₂O) ونترات الألومنيوم (Al (NO₃)₃ .9H₂O) حيث تم ترسيب محلول المادتين على ركائز زجاجية تحت درجة حرارة (450°C) بتقنية الرش بالانحلال الكيميائي الحراري، أظهرت نتائج انعراج الأشعة السينية أن الأغشية المحضرة ذات تركيب بلوري مكعبي في الاتجاه المفضل (200) لجميع الأغشية. بينت نتائج فحوصات (FTIR) وجود رابطتين كيميائيتين في نطاق الترددات (912.04 - 900.57 cm⁻¹) و(756.086-766.114 cm⁻¹)، القمة الأولى قد تكون إما إلى (N-H) أو (O-H) والثانية تعزى أن تكون إما إلى (Al-O) أو (Ni-O) ورجحت أن تكون لأكسيد النيكل حسب نتائج (DRX)، أما فيما يتعلق بالنتائج (UV-VIS) فقد أظهرت تحسناً في شفافية العينات المطعمة بالألومنيوم عند نسب التطعيم (2-4-10%) التي قاربت 95% وهي تخص أعلى نسبة تطعيم (10%)، وبالنسبة للمقاومية السطحية فقد شهدت ارتفاعاً كبيراً بعد التطعيم.

الكلمات المفتاحية: أغشية رقيقة، أكسيد النيكل، تقنية الرش بالانحلال الحراري، انعراج الأشعة السينية (DRX)، (FTIR)، (UV-VIS)، التطعيم بالألومنيوم (Al).

Abstract

This work included a study of the structural, optical and electrical properties of thin films of pure nickel oxide (NiO) and doped with aluminum (Al) with percentages (00-02-04-06-08-10 %). It was based on the two materials, nickel nitrate (Ni (NO₃)₂ .6 H₂O) and aluminum nitrate (Al (NO₃)₃ .9 H₂O), where a solution of the two materials was deposited on glass substrates under a temperature (450°C) by chemical spray pyrolysis technique. The X-ray diffraction results showed that the prepared films have a cubic crystalline structure in the preferred direction (200) for all films. The results of the FTIR tests showed the presence of two chemical bonds in frequency range 766.114-756.086 cm⁻¹ and 912.04-900.57 cm⁻¹, the first peak may be either (N-H) or (O-H) and the second is attributed to being (Ni-O) or (Al-O) and it was likely to be the Nickel oxide according to (DRX) results. The results of (UV-VIS) showed an improvement in the transparency of the doped samples with aluminum at the doping percentages (2-4-10%), which approached 95%, and it belongs to the highest doping percentage (10%), and as for the surface resistance, it witnessed a significant increase after doping.

Keywords: thin films, nickel oxide, chemical spray pyrolysis technique, X-ray diffraction (DRX), (FTIR), (UV-VIS), aluminum (Al) doping.