

دراسة الخصائص البنيوية والضوئية والكهربائية لأفلام أكسيد الايريديوم المستعملة في النوافذ الذكية

منير الحامض، مالك علي، غياث معراتي*

ملخص

تم العمل في هذه الدراسة على تحضير أفلام رقيقة من أكسيد الايريديوم (IrO₂) بتقانة المحلول الجيلاتيني SOL-GEL، وذلك بعد تحديد درجة الحرارة المثلى لتشكل الفلم، والتي بلغت 600°C.

وقد أظهرت الأفلام المحضرة نفوذية (Transmission) جيدة عموماً تراوحت بين (50% و 70%) في مجال الأشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة أما في مجال الأشعة فوق البنفسجية فقد كانت النفوذية منخفضة مترافقة مع امتصاصية (Absorbency) مرتفعة من مرتبة (30%) وانعكاسية (Reflectivity) مرتفعة أيضاً من مرتبة (20%) تتناقصان مع زيادة الطول الموجي.

كما تم حساب قيمة الفجوة الطاقية (energy gap) لفلم أكسيد الايريديوم IrO₂ المحضر (2.75 eV) للانتقال المباشر المسموح، (1.85 eV) للانتقال غير المباشر المسموح وهذا يتوافق مع القيم المثبتة في المراجع العلمية.

وبلغت قيمة المقاومة النوعية (1.8E-02 Ω.cm) عند ترسيب فلم رباعي الطبقة من أكسيد الايريديوم وبالتالي تمتلك الأفلام الرقيقة من أكسيد الايريديوم (IrO₂) صفات جيدة في التطبيقات الالكتروكرومية (Electrochromic)، والنوافذ الذكية (Smart Windows).

الكلمات الدالة: أكسيد الايريديوم (IrO₂)، تقانة المحلول الجيلاتيني SOL-GEL، الفجوة الطاقية (Eg)، الالكتروكرومية (Electrochromic)، النوافذ الذكية (SmartWindows).

المقدمة

تشكل أكاسيد المعادن الانتقالية صنفاً هاماً من المواد بسبب الصفات المختلفة التي تتمتع بها الأفلام الرقيقة لهذه المواد وقد اهتمت الأبحاث بدراسة تأثير الصفات الالكتروكرومية التي تبديها الأفلام الرقيقة لهذه المواد حيث يمكن تطبيق هذه الظاهرة على مساحات كبيرة من شاشات العرض وفي صناعة النوافذ الذكية.

وقد ظهرت في الآونة الأخيرة تقانات عدة في ترسيب الأفلام الرقيقة مثل الترسيب بشعاع الحزمة الأيونية، الترسيب بالليزر، الترسيب بطريقة الحمام الكيميائي ونجد أن العديد من هذه الطرائق تتطلب شروطاً خاصة من تخلية وضغط وشروط تشكيل مسيطراً عليها بدقة إضافة إلى التكلفة المرتفعة.

واستعملت تقانة المحلول الجيلاتيني SOL-GEL مؤخراً لترسيب أفلام الأكاسيد المعدنية على نحو واسع لأنها رخيصة الثمن وبسيطة التطبيق وبالتالي فإن الإصرار على اختيار تقانة المحلول الجيلاتيني SOL-GEL في التطبيقات كان لامتلاكها عدداً من الفوائد مقارنة مع طرائق الترسيب الأخرى مثل الكلفة المنخفضة، وإمكانية تحقيق أغشية على سطوح كبيرة، ولطبقات متعددة وسماكات متغيرة.

وقد قدمت أبحاث عديدة في دراسة أكسيد الإيريديوم وتطبيقاته نورد منها على سبيل المثال لا الحصر الدراسات التالية:

1- دراسة الناقلية المتوقعة لبعض الأكاسيد المعدنية المحضرة بطرائق كيميائية ومنها أكسيد الإيريديوم (Samir and Guy, 2006).

* قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حلب؛ وجامعة البعث، سوريا.

تاريخ استلام البحث 2011/9/27 وتاريخ قبوله 2012/2/13.

* طبع هذا البحث على عمود واحد لاعتبارات فنية.

- 2- دراسة تأثير كثافة الترسيب على الخصائص الكهربائية لمزيج أكسيدي (RuO₂+IrO₂) (Lourdes et al., 2008).
- 3- دراسة تأثير درجة حرارة الركيزة على الخصائص البنيوية والكهربائية والضوئية لأفلام أكسيد الايريديوم المحضرة بطريقة الرذاذ. (Kawar et al., 2002).
- 4- دراسة تأثير بعض المعاملات على الخصائص الفيزيائية لأفلام أكسيد الايريديوم المحضرة بطريقة الرذاذ (Mahmoud et al., 2004).
- 5- تحضير وتوصيف أفلام (Ti/SnO₂- RuO₂- IrO₂) كمادة كاشفة لأكسدة الفينول (Makgae et al., 2005).
- 6- خصائص أفلام مزيج أكسيدي الموليبدن والاييريديوم المحضرة بتقانة الرش الحراري (Patil et al., 2005).
- 7- تأثير درجة الحرارة على فعالية أقطاب كهربائية من Ti/IrO₂ الميثانول المائي (Yan-Yuan et al., 2006).

2-التفاصيل التجريبية

2-1-1- كيمياء المحلول الجيلاتيني (SOL-GEL) (دبل، 2007):

تتضمن تقانة الـ (SOL-GEL) بشكل عام استخدام أملاح لا عضوية أو الكوكسيدات المعدن كمولدات (precursors) وتحدث تفاعلات الحلمة والتكاثف المتعددة عندما يتم خلط المولدات مع الماء أو الوسط المحل والحفازات حيث تستخدم عموماً الكوكسيدات المعادن المختلفة في تحضير الأفلام الرقيقة متعددة المهام ويمكن أن يعبر عن التفاعلات العامة كما يلي:

2-1-1-1- تفاعل الحل بواسطة الماء (الحلمة):

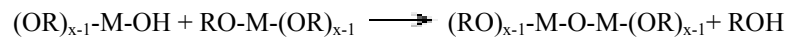


(M): W, Ir, Ti, Zr, Si, In, Nb, etc.

(R): CH₃, C₂H₅, C₃H₇, etc.

2-1-1-2- تفاعل التكاثف (CRC, 2003):

ويقسم عادة تفاعل التكاثف الى مرحلتين :



2-2- إجراء تنظيف الشرائح (وائل: 2006):

من الجدير بالذكر ضرورة الانتباه عند تحضير الأفلام الرقيقة على الركائز الزجاجية (Substrates) إلى أهمية تنظيف الركائز والعمل ضمن جو معقم إن أمكن لتجنب تلوث المحلول، وفي دراستنا هذه قمنا باعتماد إجراء خاص لتنظيف الركائز الزجاجية من نوع الـ soda lime المستخدمة في البحث على النحو التالي:

- 1- وضع الشرائح الزجاجية في جهاز الأمواج فوق الصوتية في محلول 3% من منظف عادي.
- 2- وضع الشرائح الزجاجية في محلول HCl واحد نظامي (Mol/Litre) لمدة 15 دقيقة.
- 3- نقل الشرائح الزجاجية إلى حوض فيه ماء نقي في جهاز الأمواج فوق الصوتية للغسل وإزالة آثار الحمض المتعلقة به لمدة 20 دقيقة.
- 4- تجفيف الشرائح الزجاجية بواسطة ورق تنشيف خاص بغية عدم ترك أي آثار غبارية على الشريحة.

2-3- الطرائق المتبعة في تحضير الأفلام بتقانة المحلول الجيلاتيني (SOL-GEL) (وائل، 2006) (دبل، 2007):

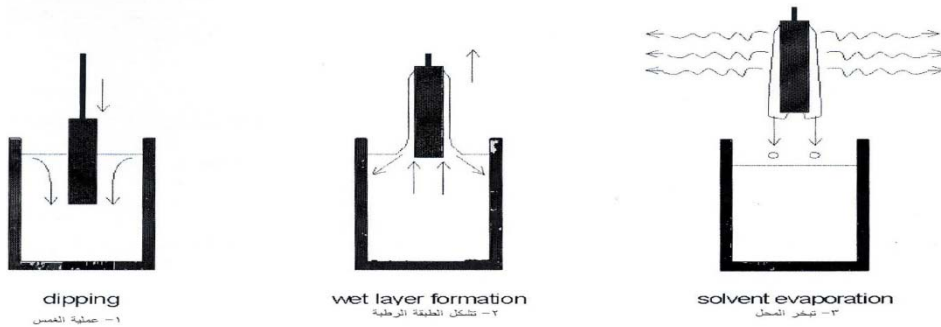
للحصول على أفلام رقيقة مرسبة على الزجاج يجب تنفيذ العمل ضمن شروط نظيفة كفلتر المحلول الكيميائي وتنظيف الشرائح الزجاجية بشكل جيد أما الطرائق المختلفة المستخدمة في تحضير الأفلام فيمكن تلخيصها كالتالي:

2-3-1- طريقة التغطية بالغمس Dip coating technique:

وفي هذه الطريقة تغمس الشريحة المراد تغطيتها في السائل مع التحريك الثابت ضمن درجة حرارة وضغط محددين ثم يتم سحبها وفق سرعة ثابتة وتتميز الأفلام المحضرة بهذه الطريقة بترسيب أفلام على وجهي الشريحة الزجاجية ، وتتعلق سماكة الفلم المتشكل بصورة أساسية بسرعة السحب وبالمحتوى الصلب للسائل ويلزوجة السائل وتحسب سماكة الفلم المتشكل من معادلة لانداو ليفيش (Landau - Levich):

$$d = \frac{0.94(\eta \cdot v)^{\frac{1}{3}}}{\frac{1}{\rho} \frac{1}{g}} \quad (1)$$

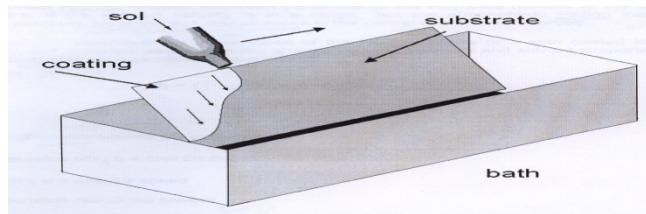
حيث: d سماكة الفلم (المحلول)، η : معامل اللزوجة، v: سرعة السحب، ρ : الكثافة، g: الجاذبية الأرضية، γ_{LV} : التوتر السطحي للسائل والبخار



الشكل (1) طريقة التغطية بالغمس Dip coating technique

2-3-2- تقانة التغطية بالتدفق Flow Coating process:

في هذه العملية يتم صب سائل التغطية على الركيزة كما هو موضح بالشكل (2).

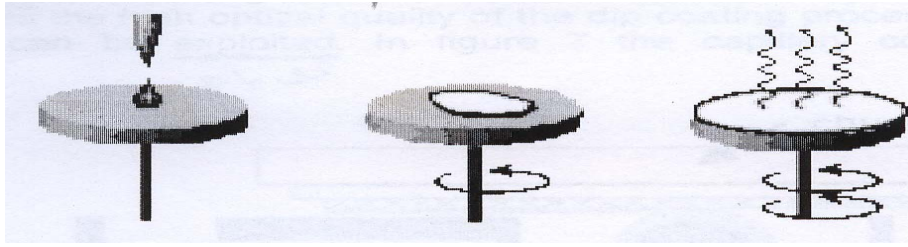


الشكل (2) عملية التغطية بالتدفق

إن سماكة الفلم هنا تعتمد على زاوية ميل الركيزة ولزوجة المحلول ومعدل تبخر المُحل (Solution) تستخدم هذه الطريقة من أجل تغطية تجهيزات زجاجية للحماية، لكن يمكن استخدامها على الزجاج المسطح حيث تعمل هذه الطريقة مع أي نوع من الركائز وتتميز الأفلام المحضرة بهذه الطريقة بأنها الأكثر سماكة بالمقارنة مع باقي الطرائق.

2-3-3- تقانة التغطية باللف Spin Coating Process:

في هذه العملية يتم وضع الركيزة على محور متعامد مع مساحة التغطية ويتم تدوير المحرك بسرعات عالية ثم نقوم بعملية تنقيط للمحلول على الركيزة فينتشك الفلم الرقيق وتتميز الأفلام المحضرة بهذه الطريقة بأنها الأقل سماكة بالمقارنة مع باقي الطرق وتستخدم هذه الطريقة في العدسات البصرية وعدسات النظارات ويوضح الشكل (3) مخططاً تفصيلياً لذلك.



الشكل (3) عملية التغطية باللف

إن جودة الأفلام المحضرة تعتمد على سرعة الدوران، وتتحدد سماكة الفلم المتشكل وفق علاقة Meyerhofer نصف التجريبية:

$$d = (1 - \frac{\rho_A}{\rho_{A0}}) \cdot (\frac{3\eta \cdot m}{2\rho_{A0} \cdot w^2})^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

حيث: ρ_A الكتلة الحجمية للمحل المتطاير، ρ_{A0} القيمة الابتدائية لـ ρ .
 d : السماكة النهائية، η : معامل اللزوجة w : السرعة الزاوية، m : معدل تبخر المحل. حيث m يتم تحديدها تجريبياً وبأبسط صيغة لها يمكن استخدامها

$$d = A \cdot W^{-B} \quad (3)$$

حيث A, B ثابتة تحدد تجريبياً.

3- الجزء العملي (Patil et al., 2005) (RKK, 2004):

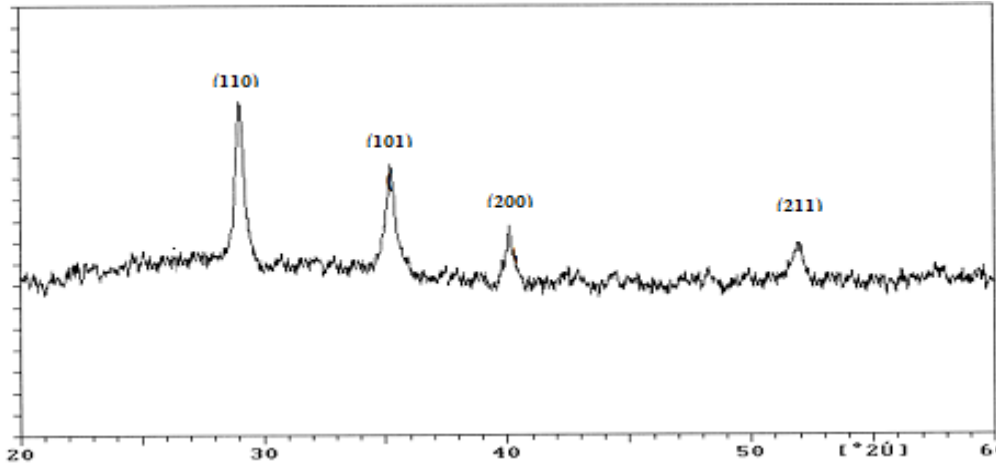
3-1- تحضير IrO_2 بتقانة المحلول الجيلاتيني (Sol-Gel):

- تم العمل على تحديد أفضل طريقة لتحضير المحلول الجيلاتيني اللازم لعملية التغطية وذلك بطريقة تغيير العوامل:
- تم حل كلوريد الايريديوم $IrCl_3$ في المحاليل الكحولية (الميتانول- الإيثانول- البروبانول) على الترتيب بتركيز (0.01 mol/100 ml) حيث لوحظ إمكانية انحلال كلوريد الايريديوم في المحلات الثلاثة، وقد اعتمدنا الإيثانول نظراً لتوفره ورخص ثمنه والإنحلالية العالية.
- يؤخذ 0.01 mol /100 ml من كلوريد الايريديوم $IrCl_3$ في الإيثانول والماء ثنائي التقطير بنسبة 1:3، ثم يحرك على محرك مغناطيسي لمدة خمس ساعات على الأقل حيث نحصل على محلول أخضر اللون ترك في جو المخبر لمدة 24 ساعة ومن ثم يفلتر المحلول ليصبح بعدها جاهزاً للاستخدام، وتتم عملية التغطية بإحدى الطرائق المتبعة بالغمس أو باللف، ثم توضع الشرائح المغطاة في الفرن ولتحدد درجة الحرارة المناسبة لتشكيل الفلم قمنا في هذه المرحلة بمعالجة الأفلام المتشكلة بدرجات حرارة مختلفة (200, 400, 600, 650°C) لمدة ساعة ثم تنقل إلى مجفف درجة حرارته 150°C لمدة ربع ساعة ثم توضع في جو المخبر لإجراء الدراسات البنيوية باستخدام مطيافية انعراج الأشعة السينية XRD وكذلك باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح SEM، ودراستها ضوئياً باستخدام المطيافية الضوئية UV-VIS في المجال (300-1000 nm) ودراستها كهربائياً بقياس المقاومة المربعة السطحية (Surface resistance of a square).

3-2- الدراسة البنيوية:

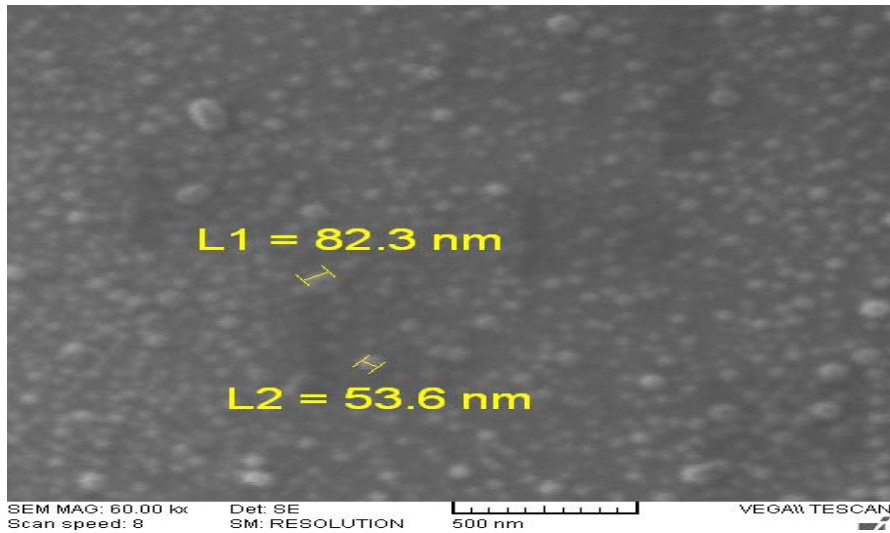
تمت الدراسة البنيوية باستخدام مطيافية انعراج الأشعة السينية XRD، حيث دلت النتائج أن الفلم الرقيق من أكسيد الايريديوم تشكل

عند الدرجة 600 °C بينما لم يتشكل أي فلم عند الدرجات الأقل من 600°C كما يظهر في الشكل (4)، حيث تدل القمم عند الزوايا (29, 36, 40.5, 52) على تشكل أكسيد الايريديوم IrO_2 :



الشكل (4) طيف انعراج الأشعة السينية للفلم الرقيق من أكسيد الايريديوم IrO_2 المتشكل عند درجة الحرارة (600 °C)

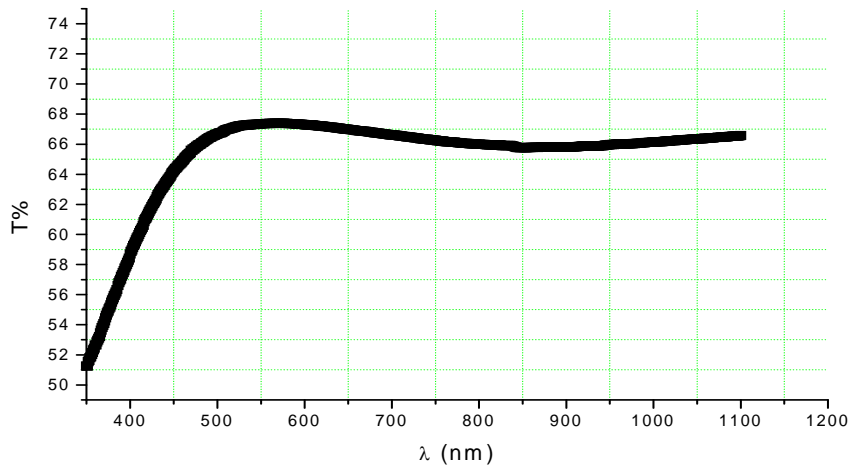
وتدل نتائج المجهر الالكتروني الماسح SEM أن بنية أفلام أكسيد الايريديوم IrO_2 المتشكلة متجانسة ومستمرة ذات أبعاد حبيبية من مرتبة النانومتر لأجل نسبة تكبير 60000 مرة كما يوضح ذلك الشكل (5).



الشكل (5): صورة SEM لفلم رقيق من أكسيد الايريديوم IrO_2 بنسبة تكبير 60000 مرة

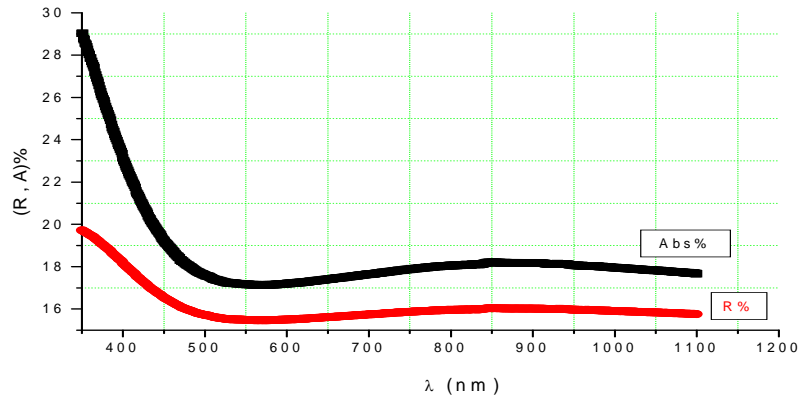
3-3-الدراسة الضوئية:

درست أفلام أكسيد الايريديوم IrO_2 ضوئيا باستخدام المطيافية الضوئية UV-VIS ضمن المجال (300-1100 nm) وقد أعطت الأفلام المتشكلة قيم للنفاذية تراوحت ما بين (50-70%) كما يظهر من الشكل (6).



الشكل (6): طيف النفوذية لأكسيد الايريديوم المتشكل عند الدرجة (600 °C) والمحضر بتقانة المحلول الجلاتيني (SOL-GEL) بطريقة التغطية بالغمس

أما بالنسبة للانعكاسية فقد أعطت الأفلام المتشكلة انعكاسية عالية (20%) في مجال الأشعة فوق البنفسجية من الطيف وتنخفض مع زيادة طول الموجة، ووسطي انعكاسية (15.5%) في مجال الأشعة المرئية من الطيف لتستقر بعد ذلك وسطى الانعكاسية عند القيمة (16.1%) في مجال الأشعة تحت الحمراء القريبة الشكل (7).
وبالنسبة للامتصاصية فقد أعطت الأفلام المتشكلة أيضاً امتصاصية عالية (29%) في مجال الأشعة فوق البنفسجية من الطيف وتنخفض مع زيادة طول الموجة، ووسطى امتصاصية (17.9%) في مجال الأشعة المرئية من الطيف، لتستقر أيضاً قيم وسطى الامتصاصية عند القيمة (18.3%) في مجال الأشعة تحت الحمراء القريبة كما يظهر في الشكل (7):



الشكل (7): طيف الانعكاسية والامتصاصية لفلم أكسيد الايريديوم المتشكل عند الدرجة (600 °C)

وبالتالي نخلص استناداً إلى أطراف النفوذية والانعكاسية والامتصاصية في الشكلين (6) و(7) إلى أن النفوذية المسجلة لأكسيد الايريديوم تزداد مع زيادة الطول الموجي لتبلغ ذروتها في منطقة الأشعة المرئية لتستقر بعدها قيم النفوذية في منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة، على عكس الانعكاسية والامتصاصية اللتين تنخفضان مع زيادة الطول الموجي لتبلغا أدنى قيمة لهما في منطقة الأشعة المرئية لتعود وتستقر بعدها قيم الانعكاسية والامتصاصية في منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة، كما يوضح ذلك الجدول (1).

الجدول (1)

القيم الوسطى للنفاذية والانعكاسية والامتصاصية لفلم رقيق من أكسيد الايريديوم IrO_2 والمحضر بتقانة المحلول الجلاتيني (SOL-GEL) بطريقة التغطية بالغمس

المجال	الأشعة فوق البنفسجية	الأشعة المرئية	الأشعة تحت الحمراء القريبة
طول الموجة λ (nm)	300-400	400-800	800-1100
وسطى النفاذية T%	54%	66%	66%
وسطى الانعكاسية R%	91%	5.5%1	16.1%
وسطى الامتصاصية A%	62%	7.9%1	3%61

3-4- الفجوة الطاقية لأكسيد الايريديوم (دبل، 2007) (Qasrawi, 2005):

يمكن حساب الفجوة الطاقية للأفلام الرقيقة في منطقة الامتصاص العالية، حيث تكون العلاقة بين النفاذية ومعامل الامتصاص α وفق العلاقة (4) (دبل، 2007):

$$\alpha = \frac{-Ln(T)}{d} \quad (4)$$

d سماكة الفلم المدروس.

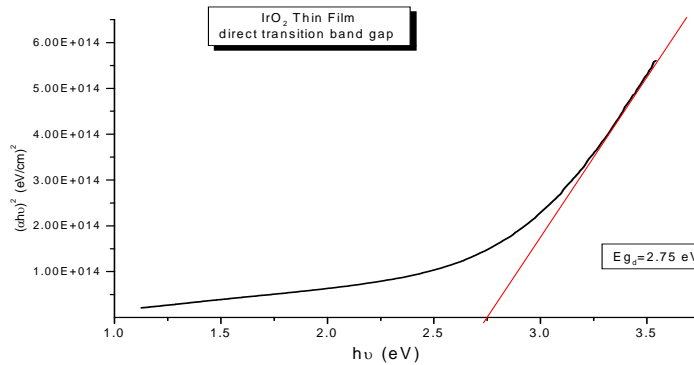
والعلاقة بين معامل الامتصاص وطاقة الفوتون الوارد (hv) يعبر عنها بالعلاقة (5) للانتقالات المباشرة المسموحة وبالعلاقة (6) للانتقالات غير المباشرة المسموحة.

$$\alpha.hv = A_1 (hv - E_g)^2 \quad (5)$$

$$\alpha.hv = A_2 (hv - E_g)^2 \quad (6)$$

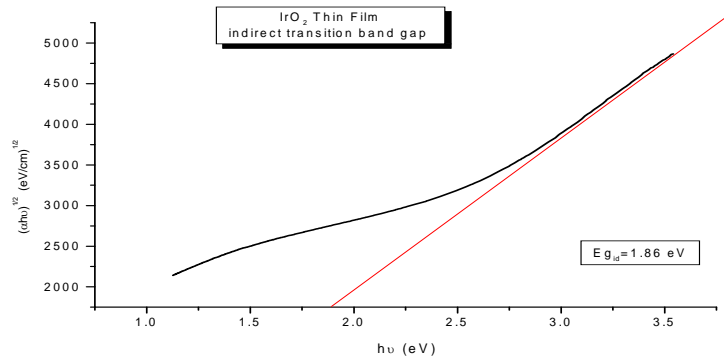
حيث أن A_1 و A_2 : مقادير ثابتة تتعلق بخصائص حزمتي التكافؤ والناقلية (Valency, Conductivity Band) لنصف الناقل (Semiconductor)، E_g : طاقة الفجوة، hv: طاقة الفوتون الوارد، α : معامل الامتصاص.

وبالتالي بلغت قيمة الفجوة الطاقية للانتقال المباشر المسموح للأفلام الرقيقة من أكسيد الايريديوم IrO_2 (2.75 eV) كما يوضح ذلك الشكل (8) وهذا يتوافق مع القيم المثبتة في المراجع العلمية، في حين أن قيمة الفجوة الطاقية للانتقال غير المباشر المسموح للأفلام الرقيقة من أكسيد الايريديوم IrO_2 بلغت (1.85 eV) كما يوضح ذلك الشكل (9).



الشكل (8): الفجوة الطاقية للانتقال المباشر المسموح

لأفلام الرقيقة من أكسيد الايريديوم IrO_2



الشكل (9): الفجوة الطاقية للانتقال غير المباشر المسموح
للأفلام الرقيقة من أكسيد الايريديوم IrO_2

3-5- حساب قرينة الانكسار

تمثل قرينة الانكسار النسبة بين سرعة الضوء في الخلاء إلى سرعته في الوسط وترتبط قرينة الانكسار مع انعكاسية الفلم الرقيق وفق المعادلة التالية [4]:

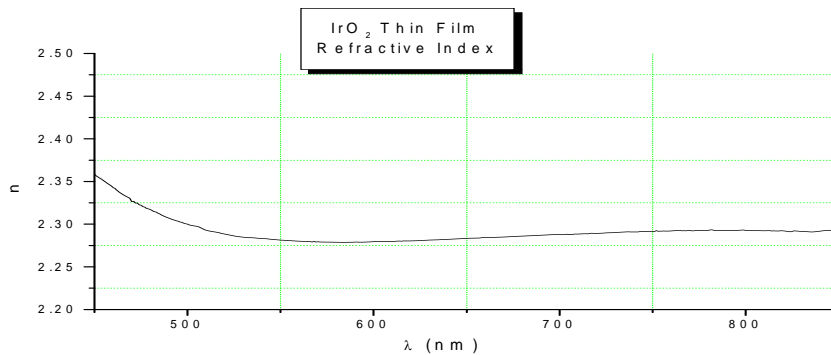
$$R = \frac{(n_0 - 1)^2 + k_0}{(n_0 + 1)^2 + k_0}$$

وبالتالي يمكن كتابة المعادلة على الشكل التالي:

$$n_0 = \sqrt{\left(\frac{1+R}{1-R}\right)^2 - (k_0^2 + 1)} + \frac{1+R}{1-R} \quad (7)$$

$$k_0 = \frac{\alpha \cdot \lambda}{4\pi} \quad \text{حيث } k_0: \text{معامل التخامد ويعطى بالعلاقة}$$

ومن هذه المعادلة يمكن حساب قرينة الانكسار للمادة المدروسة اعتماداً على قيم الانعكاسية. قمنا بحساب قرينة الانكسار للفلم الرقيق من أكسيد الايريديوم، ورسمنا العلاقة البيانية لقرينة الانكسار بدلالة طاقة الفوتون الضوئي الوارد وطول الموجة. كما نلاحظ في الشكل (10) أن وسطي قرينة الانكسار في المجال المرئي من الطيف بلغ (2.3):

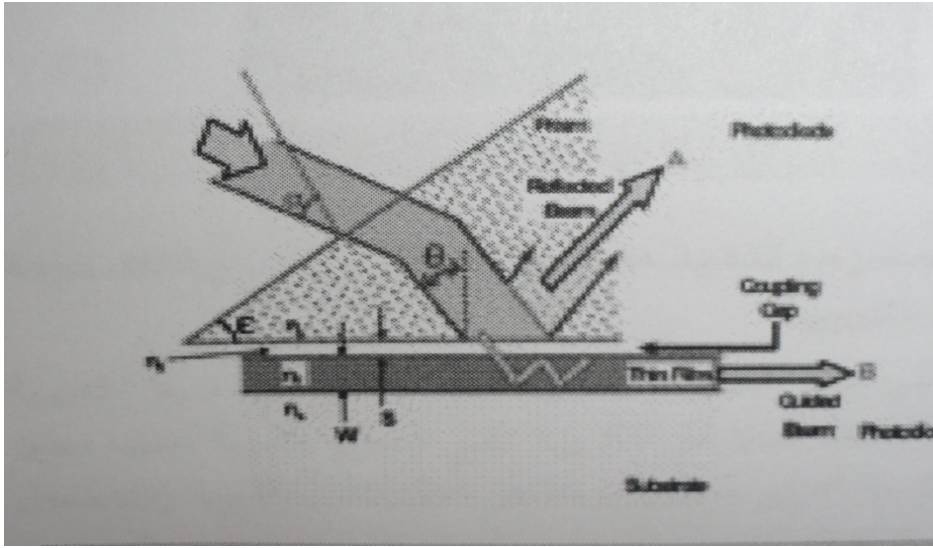


الشكل (10): قرينة الانكسار للأفلام الرقيقة من أكسيد الايريديوم
بدلالة طاقة الفوتون وطول الموجة

تحديد السماكة والدراسة الكهربائية:

5-1- إجراء معايرة السماكة لأفلام أكسيد الايريديوم:

تم تحضير عدة أفلام من أكسيد الايريديوم وفق سرعات دوران مختلفة (1000,2000,3000,4000,5000) دورة في الدقيقة وقياس قيم السماكة للأفلام باستخدام تقانة الاقتران الموشوري Technology Pairing Prismativ: وذلك بواسطة منظومة مصممة لهذه الغاية الشكل (11) حيث يقوم القارن الموشوري بقياس دقيق لزوايا الاقتران التي يحصل عندها حقن للضوء الليزري في فلم رقيق متوضع على ركيزة ذات قرينة انكسار صغيرة ويتم تسجيل التغير في شدة الضوء المنعكس عن قاعدة الموشور بدلالة تغير زاوية ورود الضوء إلى المنظومة. ويمكن تحقيق ذلك باستخدام موشور ذي قرينة انكسار عالية يوضع فوق الفلم الرقيق وفق توجه هندسي محسوب وقد جرى تجهيز برنامج حاسوبي خاص للتعامل مع النتائج التجريبية حيث تستخدم قيم زوايا اقتران الموافقة لأنماط الاقتران المسجلة تجريبيا لحساب كل من قرينة الانكسار والسماكة.



الشكل (11) تقنية الاقتران الموشوري

ووجدنا أن السماكة لفلم طبقة واحدة كانت بحدود (100 nm)، طبقتان كانت بحدود (220 nm)، ثلاث طبقات كانت بحدود (360nm)، أربع طبقات كانت بحدود (490 nm).

5-2- الدراسة الكهربائية (RKK, 2004):

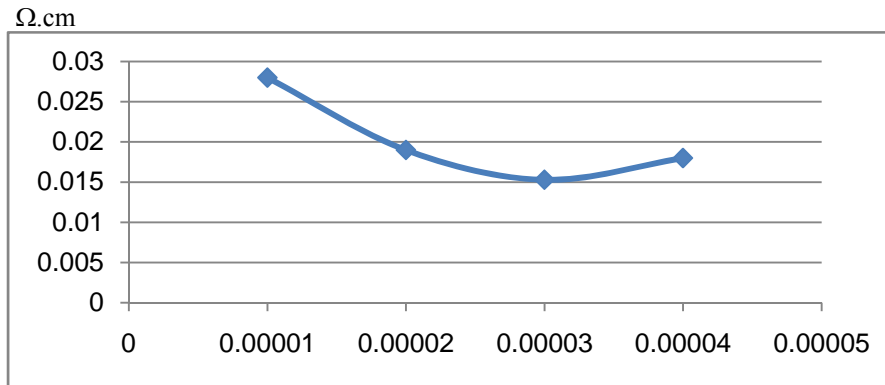
تم في هذه الدراسة قياس المقاومة المربعة لأفلام أكسيد الايريديوم حيث نلاحظ تغير قيمة المقاومة النوعية بشكل واضح تبعاً لزيادة سماكة الفلم كما نبين النتائج في الجدول (2):

الجدول (2)

قيم المقاومة المربعة والمقاومة النوعية لأفلام أكسيد الايريديوم لأجل سماكة أفلام مختلفة

عدد الطبقات	سماكة الفلم nm	المقاومة المربعة $k\Omega / \square$	المقاومة النوعية $\Omega.cm$
طبقة واحدة	100	2.8	2.80E-02
طبقتان	220	0.95	1.90E-02
ثلاث طبقات	360	0.51	1.53E-02
أربع طبقات	490	0.45	1.80E-02

وبالتالي نجد من الجدول (2) أن قيم المقاومة المربعة والمقاومة النوعية لأفلام أكسيد الايريديوم تتناقص بشكل أسي مع زيادة سماكة الفلم لتصل إلى قيمة دنيا، تستقر بعدها تقريبا قيم المقاومة كما يوضح ذلك الشكل (12).



الشكل (12): تغير قيمة المقاومة النوعية لأفلام أكسيد الايريديوم بدلالة تغير سماكة الفلم المحضر

6- الاستنتاجات والتوصيات

تم تحضير أفلام رقيقة من أكسيد الايريديوم (IrO_2) بدءاً من كلوريد الايريديوم كمادة بادئة والايثانول كمحل واعتمدت تقانة المحلول الجيلاتيني SOL-GEL بطريقتي التعشبية بالغمس واللف وذلك بعد تحديد درجة الحرارة المثلى لتشكيل الفلم والتي بلغت (600 °C) للحصول على الأكسيد، وحسبت قيمة الفجوة الطاقية للفلم الرقيق من أكسيد الايريديوم المحضر فكانت (2.75 eV) للانتقال المباشر المسموح و(1.86 eV) للانتقال غير المباشر المسموح. وقد أبدى الفلم الرقيق من أكسيد الايريديوم المرسب على الركيزة الزجاجية قيماً نفوذية مقبولة في مجالي الأشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة من الطيف الكهرطيسي رغم أنه يمتص أو يعكس معظم الإشعاع الوارد في مجال الأشعة فوق البنفسجية، وبلغت قيمة المقاومة النوعية ($1.8E-02 \Omega$) عند ترسيب فلم ربايعي الطبقة من أكسيد الايريديوم. ومن التطبيقات الهامة التي يمكن أن يستثمر مثل هذا النوع من الأغشية الرقيقة هي التطبيقات الالكتروكرومية والنوافذ الذكية.

المصادر والمراجع

- thickness and optical constants of weakly absorbing thin films. *Manuel Meas. Sci. Technol.* 9: 485-487.
- Kawar, R.K., Chigare, P.S. Patil, P.S. 2002. Substrate temperature dependent structural, optical and electrical properties of spray deposited iridium oxide thin films. Department of Physics, Shivaji University, Kolhapur.
- Lourdes Vazquez-Gomez a, Sandro Cattarin a, Paolo Guerriero b, Marco Musiani a, 2008- Influence of deposition current density electrode posited Ni + RU02 and Ni + Ir02 composites on the composition and properties. Plldova. Italy.
- Mahmoud, S.A. A. B., A.A. AI, B., AI-Shomar, S.M. 2004. Effect of some preparative parameters on optical properties of spray deposited iridium oxide thin films. PhYSf.eS o.eapartmerH Faculty of Science. Half Unrversity. Hail Kingdome of Saudi Arabia .
- Makgae, M. E. C.C. Thero, B., Przybyłowicz, W.J. B. I., دبل، أحمد وائل، 2007، تحضير أغشية رقيقة متعددة الطبقات مانعة للانعكاس بتقانة ال SOL-GEL ودراسة خواصها الضوئية والبنيوية، أطروحة ماجستير في الفيزياء، جامعة حلب، كلية العلوم.
- العبد الله، وائل، 2006، دراسة الخصائص الكهربائية والضوئية لأفلام رقيقة موضوعة بطريقتي ال SOL-GEL، أطروحة دكتوراه في الفيزياء - جامعة حلب، كلية العلوم.
- CRC Handbook of Chemistry and Physics. 2003. David R. Lide, Standard Reference Data, National Institute of Standards and Technology.
- Department of Physics, Shivaji University, Kolhapur 4/6 004, India b Annasaheb Awate College, Manchar, Pune.
- Department of Physics, Shivaji University, Kolhapur 416004, India.
- GAUTHIER, B. 1998 Simultaneous determination of the

- R K K b S B S d r. 2004. Effect of substrate temperature on electrochromic properties of spray-deposited Ir-oxide thin films.
- Ruben Baetens, Bjorn Petter Jelle, Arild Gustavsen. 2010. Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94: 87-105.
- Samir F. M. atar, Guy Cam pel. 2006- Predicting metallic conductivity in oxides from simple chemical criteria, University Bordeaux I. Pessac, France.
- Yan-Yuan Hou, Ji-Ming Hu, I., Liang Liu, Jian-Qing Zhang, Chu-an, 2006- Effect of calcination temperature on electrocatalytic activities of Ti/IrO₂ electrodes in methanol aqueous solutions, Zhejiang University, Hengzhou.
- A.M. Crouch, A. 2005. Preparation and surface characterization of Ti/SnO₂-RuO₂-IrO₂ thin films as electrode material for the oxidation of phenol, Department of Chemistry, Stellenbosch University, South Africa.
- P.S. Patil^a, Kawar, R.K. 2005. Promotion of electrochromism in spray-deposited molybdenum oxide-doped iridium oxide thin films.
- Patil, P.S., Kawar, R.K., Sadale, S.B., Inamdar, A.I., Mahajan, S.S. 2005. Promotion of electrochromism in spray-deposited molybdenum oxide-doped iridium oxide thin films, Department of Physics, Shivaji University, Kolhapur 4/6 004, India.
- QASRAWI, A. F. 2005- Refractive Index, Band Gap and Oscillator Parameters of Amorphous Gaze Thin Films. *Cryst. Res. Technol.* 40, No. 6, 610 – 614 (2005)/ DOI 10.1002/crat.200410391

Studying Structural, Optical and Electrical Properties of Iridium Oxide Thin Films Used as Smart Windows

*Mounir Al Hamed, Malek Ali and Giath Marate**

ABSTRACT

Iridium oxide (IrO₂) thin films have been successfully prepared by SOL-GEL technique and thermally treated under annealing temperatures of 600°C. The films generally show transmittance from 50% to 70% in the visible/near infrared regions of electromagnetic spectrum.

The absorbance and reflectance are of order of 30% and 20% respectively near the UV region and dwindle with higher wavelength. The band gap of the oxide film is in the range of 2.75 eV. and 1.85 eV for direct and indirect transition allowed respectively and the resistance (resistivity) of the four layer films was 1.8E-02 Ω.cm

The oxide film is therefore a good material for electrochromic applications and smart windows.

Keywords: Iridium oxide (IrO₂), Technology Solution Djilatyna (SOL-GEL), The Energy gap (E_g) , Electrochromic, Smart-Windows.

* Department of Physics, Faculty of Science, University of Aleppo; and University of Albaath, Syria. Received on 27/9/2011 and Accepted for Publication on 13/2/2012.