



الخواص الضوئية والكهربية لأفلام Ag المحضرة بالانتزاع على نسيج شبكي من PET

Optical and electrical properties of sputtered Ag films on PET webs

C. Charton_, M. Fahland

الخلاصة

تم دراسة الخواص الضوئية والكهربية لأفلام Ag المرسبة على PET بطريقة الانتزاع بالاعتماد على عوامل عملية الترسيب. رسبت طبقات Ag على أرضيات من PET (Melinex[®] 400) بواسطة طريقة الانتزاع بالمجنيطون المستمر. تم تحليل الخواص الضوئية بواسطة تقنية الاليسومتري ellipsometry والطيف المرئي والطيف تحت الأحمر. تم دراسة الخواص الكهربائية لأفلام Ag الرقيقة بواسطة قياسات المجسات الأربعة. الثوابت الضوئية لكتلة Ag وجدت انها تصف الأفلام الرقيقة بدقة فقط عندما تكون أعلى من السماكة الحرجة d_c . يعتمد السمك الحرج على عوامل عملية الترسيب وقد وجد انها بين 12 و 18nm. تشير النتائج إلى ان السمك الحرج يميز الانتقال في نمط النمو لأفلام Ag الرقيقة من مناطق منفصلة على الفيلم إلى فيلم متصل.



1. المقدمة Introduction

أفلام Ag المحضرة بالانتزاع sputter تطبق لأنواع عديدة من للطبقات الضوئية. يستخدم Ag بشكل كبير بالأخص في طبقات العاكسات الحرارية الشفافة للتحكم الشمسي أو نوع e المنخفض. تستخدم تلك الطبقات في الوحدات الزجاجية المصقولة للمباني والسيارات كذلك لأغراض هندسة الطاقة الشمسية لزيادة التحصيل الحراري [1-4]. التصميم القياسي للطبقة الشفافة والعاكسة الحرارية تتضمن طبقة معدنية لعكس الأشعة تحت الحمراء. يجب ان تكون الطبقة المعدنية رقيقة جدا لتمتلك نفاذية كافية في مدى الطول الموجي. هذه الطبقة المعدنية مدمجة بين طبقتين عازلتين، والتي تعمل كطلاء ضد الانعكاس في مدى الطيف المرئي لزيادة النفاذية.

خلال العقد الأخير هذه الطبقات النافذة والعاكسة أصبحت مهمة أكثر وأكثر، لأنها تشارك في تقليل انبعاث CO₂. في ألمانيا، على سبيل المثال، ادخل قانون جديد يهتم بالمحافظة على الطاقة في العام 1995 [5] الذي يقضي باستخدام ألواح زجاجية مغطى للمباني الجديدة للتقليل من فقدان الانبعاث الحراري من خلال النوافذ.

لان الامتصاص مرتبط بالانبعاث الحراري، فان الامتصاص لهذه الطبقات يجب ان يكون قليل جدا. ولهذا فان المادة للطبقة المعدنية في العادة تكون من Ag لان الـ Ag يتميز بالمقارنة مع المعادن النبيلة الأخرى بامتصاص منخفض جدا في مدى الطيف المرئي. إذا كان من الواجب استخدام سطح ثلاثي الأبعاد بطبقة شفافة عاكسة للحرارة فانه يحدث عدد من المشاكل إذا تم طلاء الأرضية مباشرة. هذا يتعلق بالتعامل مع الأرضيات وتجانس الطبقات. يمكن ان تحل المشاكل إذا كانت شبكة PET مؤلفة من صفائح ذات أسطح منحنية. هذا له أهمية خاصة في السيارات. كما انه من الممكن تعديل الصقل الزجاجي الموجود بطبقات شفافة عاكسة حرارية على شبكات من PET. التثبيت الكامل لوحدة العزل المغطاة بالألواح زجاجية يمكن ان تدعم بطلاء شبكي، لزيادة فعالية العزل. في هذه الحالة الطلاء الشبكي يثبت بين لوحين زجاجيين في وحدة العزل المصقولة [6].

في هذه الدراسة عرضت نتائج أفلام Ag على أرضيات PET. النتائج لكامل طبقات التحكم الشمسي أو النوع e المنخفض لم تعرض هنا. وهذا له سببين، السبب الأول هو ان من قياسات الانعكاس والنفاذ فان خواص الطبقات الثلاثة لفيلم Ag المغمور لا يمكن ان تحدد بدون غموض. السبب الثاني هو ان الطبقات المجاورة لفيلم Ag تتغير الخواص الكهربائية والضوئية للـ Ag. هذه الظاهرة معروفة تماما وتم التحقق منها بالمزيد من التجارب. لطبقات Ag أحادية على سطح PET تحرر غازات من PET أثناء الترسيب وهذا من الممكن ان



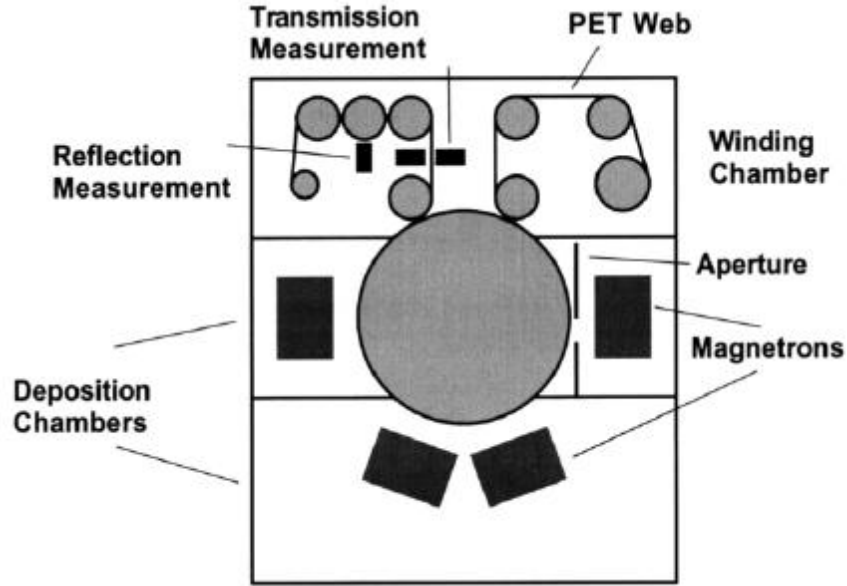
تؤثر على نمو الفيلم. لمنع تحرر الغازات يتم ترسيب عدة أفلام Ag على PET المغطى بالـ TiO_2 . في هذه الحالة، يقوم TiO_2 كطبقة حاجزة. أظهرت النتائج عدم تأثر بتحرر الغازات على خواص الفيلم يمكن ان يتم رصدها، أو الكشف عنها، ولكن خشونة السطح للطبقة السفلية لها تأثير واضح على خواص فيلم Ag.

موضوع هذه الدراسة هو تحديد الخواص الكهربائية والضوئية لأفلام Ag على نسيج شبكي من PET والعلاقة بين خواص الطبقة الضوئية وعوامل الترسيب.

2. الخطوات العملية Experimental procedure

الانتزاع بالمجنترون المستمر لأفلام Ag تم في مرسبة شبكية بترسيب اتساعه 200 mm. الشكل 1 يوضح مخطط للمرسبة الشبكية LBA 200. حيث تحتوي على غرفة اللف وثلاثة غرف ترسيب، يتم تفرغها بشكل منفصل بواسطة مضخة تيربو جزيئي (turbomolecular pumps). الضغط الأساسي للغرفة المفرغة بعد مرور ساعة من التفريغ هي 1×10^{-3} Pa. مجسات ضوئية لقياس النفاذية والانعكاسية تم تثبيتها في غرفة اللف وذلك لمراقبة حية للطبقات أثناء الترسيب تم اخذ القياسات بواسطة مطياف 250 IS Chromex spectrometer من شركة Princeton Instruments. عنصر التشتيت هو محزوزة حيود وكاميرا CCD للرصد.

باستخدام اللقافات في غرفة اللف تم ضبط الشد في النسيج الشبكي لضمان انتقال حراري جيد لاسطوانة التبريد. هذا يمنع النسيج الشبكي من الذوبان خلال عملية الترسيب. يمكن تعديل سرعة النسيج الشبكي بين سرعة 0.05 و 30 m/min. وكأرضية لأفلام Ag استخدمت أرضية PET جاهزة من DuPont (Melinex® 400). استخدم سمك $75 \mu m$. مصدر الانتزاع هو ماجنيترون من شركة Sierra Applied Sciences ومساحة الهدف هي 12.7×35.6 cm. المسافة بين الهدف والأرضية هو 5.5 cm.



الشكل 1. مخطط مختبر الطلي بالف LBA 200

نقاوة مادة الهدف تصل إلى 99.95% ونقاوة غاز Ar 99.996%. لغرض ترسيب أفلام Ag أدخلت فتحة بين الماجنترون والأرضية (انظر الشكل 1)، مما قلل طول الطلاء الفعال إلى 22 mm. هذا ضروري لأن Ag يمتلك معدل ترسيب عالي وبدون الفتحة فان سرعة النسيج الشبكي بطيئة جدا للحصول على ترسيب طبقات رقيقة من Ag. يمكن التحكم في سمك أفلام Ag من خلال سرعة النسيج الشبكي والطاقة الكهربائية للماجنترن المستخدمة في البلازما. مصدر الطاقة الكهربائية هو DCG 200 من شركة ENI والتي وصلت مع سطح الهدف لقوم بدور الكاثود وفي الغرفة التي تقوم بدور الانود.

أجريت دراسة باستخدام الالبسومتري Vase[®] ellipsometer من شركة Woollam في مدى الطول الموجي من 290 إلى 1050 nm. قياسات نفاذية وانعكاسية إضافية تمت بواسطة مطياف الشعاع المزدوج Lambda 900 من شركة Perkin-Elmer من الطول الموجي 380 إلى 1800 nm. لقياسات المقاومة الكهربائية السطحية لأفلام Ag استخدم مجس النقاط الأربعة Veeco FFP 500. وباستخدام مجس النقاط الأربعة يمكن قياس الموصلية بدقة تصل إلى $\pm 2\%$.

لان كلا السطحين لنسيج PET الشبكي يمتلك تبايناً جغرافياً مختلفة، فان كل أفلام Ag رسبت على السطح الداخلي لنسيج PET الشبكي. والسطح الخارجي تم معالجته بتفريغ كورونا كهربائي، ولهذا فان السطح



الخارجي أصبح يمتلك خشونة كبيرة. ونتيجة لذلك فإن المقاومة الكهربائية السطحية لأفلام Ag التي رسبت على السطح الخارجي لنسيج PET الشبكي أعلى بالمقارنة مع فيلم Ag الذي رسب على السطح الداخلي.

لكل القياسات والتحليلات لأفلام Ag بعد الترسيب تم تجنب كل العوامل الخارجية التي من الممكن ان تتفاعل مع سطح فيلم Ag، المؤدية إلى تغيرات في الخواص الضوئية [7,8]، التي يجب ان تكون مرئية في طيف الانعكاس والنفوذ.

تم ترسيب فيلم Ag بسمك 20 nm على PET لتحليل إذا ما كانت الأكسدة لها تأثير كبير على القياسات بعد الترسيب. بيانات النفوذ والانعكاس تمت داخليا (in-situ). بعد ذلك ادخل الهواء لغرفة التفريغ مع استمرار القياسات الضوئية باستخدام مقياس الطيف (spectrometer) داخليا (in-situ) لمدة ساعتين ونصف. خلال هذه الفترة الزمنية لم يحدث تغيرات في بيانات النفوذ والانعكاس. ونتيجة لذلك فان كل القياسات الضوئية والكهربية التي جرت خارجيا (ex-situ) تمت بدون هذه الفترة الزمنية بعد تعرف أفلام Ag للهواء لتجنب أي تشويه أو تزييف في القياسات.

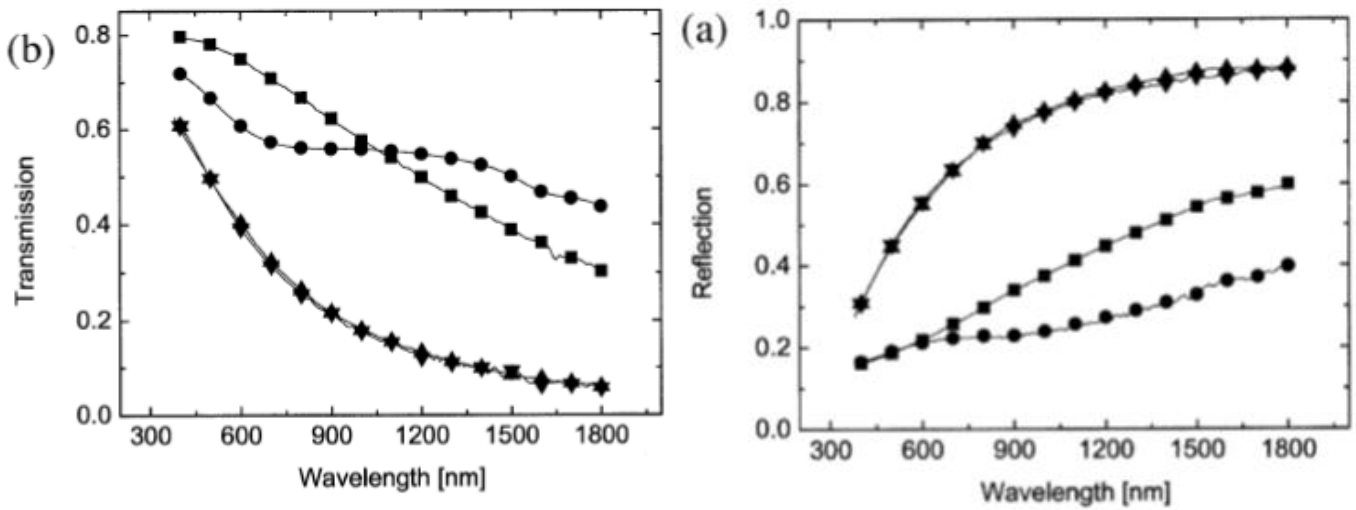
3. النتائج Results

تم تحليل الأفلام بواسطة قياسات الالبسومتري في مدى طول موجي من 290 إلى 1050 nm عند ثلاثة زوايا سقوط مختلفة لتحديد الثوابت الضوئية وسمك Ag. أفلام Ag المرسبة على PET يمكن ان توصف بالثوابت الضوئية من Palek et. al [9] إذا زاد السمك عن قيمة حرجة معينة. فيما بعد، هذه القيمة الحرجة عرفت بالسمك الحرج d_c . هذا السمك الحرج رصد أيضا بواسطة Yamamoto et al [10]. لقد فسر على انه الانتقال من عدم التماثل الضوئي (anisotropic) إلى حالة التماثل الضوئي (isotropic)، الذي ربط بالانتقال من نمط النمو للفيلم الرقيق من مناطق منفصلة إلى فيلم متصل.

تم قياس بيانات النفوذ والانعكاس لأفلام Ag لكي نتحقق من السمك الحرج بدقة.

الشكل 2، a، b يبيننا طيف النفوذ والانعكاس في مدى الطول الموجي من 380 إلى 1800 nm لفلمين Ag بسمك اكبر من (d = 16 nm) و اقل من (d = 6 nm) السمك الحرج. تم ترسيب الطبقات عند طاقة انتزاع 500 W وعند ضغط Ar يساوي 0.71 Pa. بالإضافة إلى قياس الطيف، تم حساب الطيف المقابل للثوابت الضوئية من [9]. للفيلم ذو السمك 16 nm، فان قياس الطيف يتوافق جيدا مع حسابات الطيف. أما للفيلم ذو

السك 6 nm فان هناك اختلاف بين قياسات الطيف والحسابات. للأطوال الموجية أعلى من 600 nm فان الاختلاف بين قياس الانعكاس وحسابه يزداد. في مدى الطيف تحت الأحمر كانت قياسات الانعكاس تقريبا 20% اقل مما هو متوقع في قيم الحسابات. النفاذ عند طول موجي اصغر من 1060 nm كان اقل وعند طول موجي اكبر من 1060 nm كان أعلى من القيم المحسوبة. هذا يشير إلى ان افتراضات النموذج المتجانس، والمستوى المتوازي والتماثل في فيلم Ag، المستخدم للحسابات يفشل عند سمك اقل من السمك الحرج d_c . لشرح الخواص الضوئية لأفلام المعدنية الكلية عند سمك اقل من السمك الحرج فان دراسات إضافية مطلوبة، وهذا يمكن ان يوجد في أبحاث Abeles et al. [11].

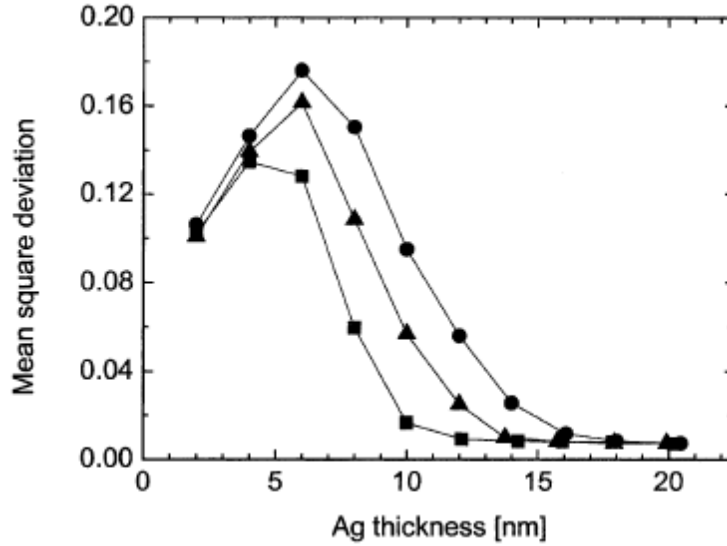


الشكل 2. مقارنة بين بيانات حسابات وقياسات الانعكاس (a) والنفاذ (b) لأنظمة Ag/PET. اختيار سمك طبقة Ag أعلى من (16 nm) واقل من (6 nm) السمك الحرج d_c . (a) ■: الانعكاس المحسوب (d = 6 nm)، ●: الانعكاس المقاس (d = 6 nm)، ▲: الانعكاس المحسوب (d = 16 nm)، ▼: الانعكاس المقاس (d = 16 nm). (b) ■: النفاذ المحسوب (d = 6 nm)، ●: النفاذ المقاس (d = 6 nm)، ▲: النفاذ المحسوب (d = 16 nm)، ▼: النفاذ المقاس (d = 16 nm).

لتحديد السمك الحرج تم قياس طيف النفاذ والانعكاس لأفلام Ag ومتوسط الانحراف بين القياسات والحسابات الطيفية. النتيجة موضحة في الشكل 3. متوسط الانحراف عند سمك اكبر من 7 nm فانه يمكن تقريبه بواسطة دالة بولتزمان من النوع التالي:

$$y = \frac{(A_1 - A_2)}{1 + e^{(x-x_0)/d_x}} + A_2. \quad (1)$$

ولأن متوسط الانحراف يتناقص بشكل مستمر، فإن السمك الحرج dc عرف على انه السمك الذي يكون فيه متوسط الانحراف بين الطيف المقاس والطيف المحسوب يصل إلى قيمة 20% فوق أدنى قيمة (المعامل A2 من المعادلة (1)) والذي يصل بشكل مقارب إلى سمك أفلام Ag. لتحليل السمك الحرج واعتماده



الشكل 3. متوسط الانحراف بين الطيف المقاس والمحسوب لنظام Ag/PET بالاعتماد على سمك طبقة Ag وعوامل الترسيب. قدر متوسط الانحراف في مدى الطول الموجي من 380 إلى 1800 nm. ■ : P = 500 و ● : p = 2.5 Pa ، P = 500 W و ▲ : p = 2.5 Pa ، P = 200 W

على عوامل الترسيب، أفلام Ag بسمك بين 2 و 20nm تم ترسيبها على PET ودرست خواصها من خلال الطيف المرئي وتحت الأحمر. طيف الانعكاس والنفاذ يسمح بتحديد السمك بدقة تصل إلى ±3%. ثلاثة مجموعات من عوامل الترسيب استخدمت ومدرجة في الجدول 1.

النزعة الإجمالية لمجموعة العوامل الثلاثة متشابهة، لأفلام Ag بسمك صغير فإن متوسط الانحراف كبير، حيث تمر عبر قيمة عظمى عند سمك بين 5 و 6 nm، وتتناقص بسرعة مع زيادة سمك الفيلم وتصل إلى أدنى قيمة 0.008. هذه القيمة الدنيا هي نفسها لكل مجموعات العوامل الثلاثة.



تحليلات للامتصاص في أفلام Ag (انظر الشكل 4) تبين ميل للارتباط مع السمك الحرج d_c . أفلام Ag بسمك اقل من d_c اظهر امتصاص اكبر من القيم المحسوبة لبيانات التشتت من [9]. الامتصاص (A) لأفلام Ag يمكن ان تحسب من بيانات النفاذ (T) والانعكاس (R) ($A = 1 - T - R$) بدقة تصل إلى ± 0.005 .

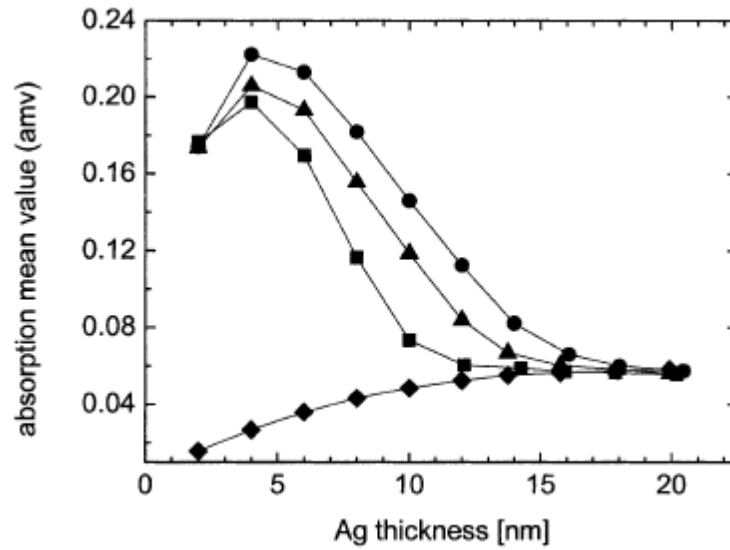
يمكن شرح هذه النتائج بأنماط نمو مختلفة لأفلام Ag. انه من المعروف ان أنماط النمو الثلاثة المختلفة توجد لأفلام Ag [12]. في البداية تتشكل جزء من Ag على الأرضية، وفي الطور الثاني تتصل هذه الجزر مع بعضها البعض بقطع أخرى من الجزر وفي الطور الثالث هو الانتقال إلى الفيلم المغلق. لقد لوحظ ان الخواص الضوئية للأفلام المعدنية المتكاملة تختلف بشكل كامل عن الأفلام المغلقة، على سبيل المثال فانها تظهر نشاط أعلى في طيف رامان للأسطح المعززة (surface-enhanced Raman spectroscopy) (SERS) [13] وامتصاص أعلى من الأفلام المغلقة [14]. ولهذا فانه يمكن افتراض ان السمك الحرج dc يميز الانتقال بين الأفلام المتكاملة والأفلام المغلقة.

كشفت التجارب نزعتين عامتين للسمك الحرج واعتماده على عوامل الترسيب. إذا كانت مجموعة العوامل (I) و (II) تبين زيادة في السمك الحرج من 14.1 إلى 18.2 nm مع نقصان طاقة الانتزاع من 2000 إلى 500 W عند ثبوت ضغط الانتزاع.

يمكن استنتاج ان طاقة ذرات Ag التي تصطدم بسطح الأرضية له تأثير كبير على تشكل الفيلم وبالتالي على السمك الحرج. يمكن تحديد طاقة ذرات Ag بواسطة الطاقة المفقودة من خلال التصادمات وهي في طريقها إلى سطح الأرضية.

الموصلية الكهربائية لأفلام Ag تعكس الاختلاف في أنماط النمو (انظر الشكل 5). بداية الموصلية الكهربائية مرتبطة مع أعظم امتصاص في أفلام Ag. اقل من السمك الحرج تزداد الموصلية مع زيادة سمك الفيلم بشكل كبير، وهذا يمكن ان يفسر باندماج الجزء الأحادية. أعلى من السمك الحرج تقل الزيادة في الموصلية. لسمك 20 nm فان الموصلية تكون تقريبا ثلث موصلية المادة الأصلية. الزيادة الضعيفة في الموصلية عند سمك أعلى من السمك الحرج يرتبط مع نمو حبيبات Ag في الفيلم، مما يقلل تشتت الإلكترونات بواسطة حدود الحبيبات وهذا يحسن موصلية الأفلام.

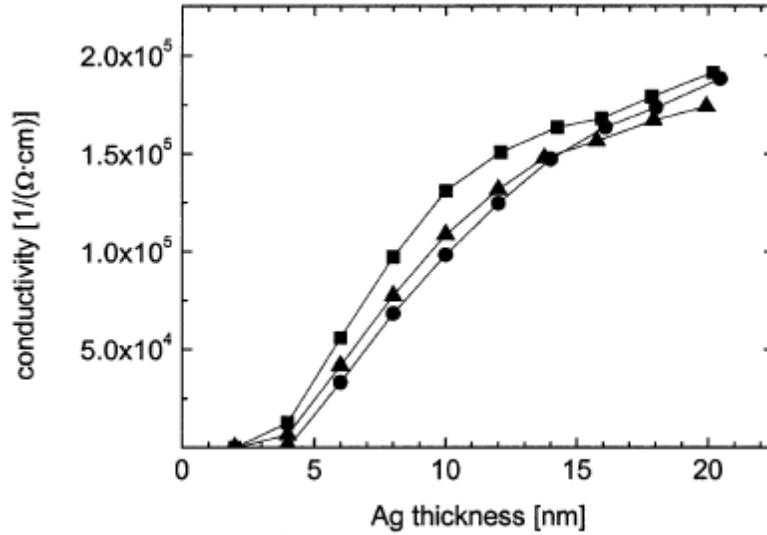
	Pressure [Pa]	Sputtering power [W]	Discharge voltage [V]	Discharge current [A]	Dynamic deposition rate [nm ³ m/min]	Critical thickness d_c [nm]
I	2.5	500	384	1.30	5.6	18.2
II	0.7	500	465	1.07	6.8	11.6
III	2.5	2000	473	4.22	24.3	14.1



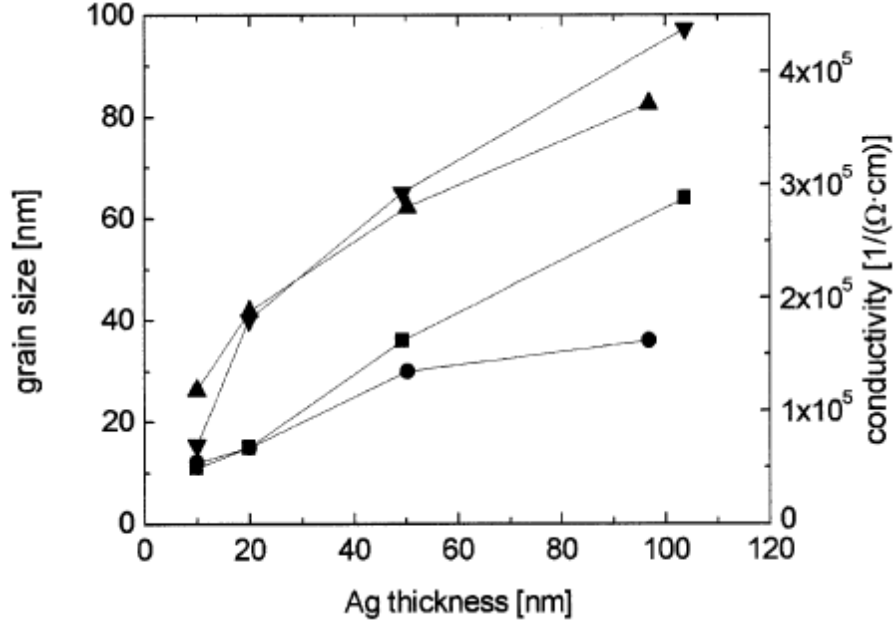
الشكل 4. اعتماد القيمة المتوسطة للامتصاص (amv) على السمك وعوامل الترسيب في نظام Ag/PET بالمقارنة مع القيم المحسوبة. تم حساب الامتصاص في مدى الطول الموجي المرئي (380-780 nm). ■ : amv (P = 2000 W, p = 2.5 Pa) ؛ ● : amv (P = 500 W, p = 0.71 Pa) ؛ ▲ : amv (P = 500 W, p = 2.5 Pa) ؛ ▼ : amv (المحسوبة).

تم رصد نمو الحبيبات بواسطة حيود أشعة اكس. تم مقارنة اتساع قمة Ag (111) عند المنتصف مع عينة Ag كمرجع. الشكل 6. يبين حجم الحبيبة والموصلية كدالة في سمك Ag. حتى السمك 20 nm فان حجم الحبيبة يقل مع نقصان الضغط المستخدم في عملية الانتزاع. هذه العلاقة عكست لأفلام ذات سمك كبير يصل إلى 100 nm حيث كان حجم الحبيبة عند استخدام ضغط عالي في عملية الانتزاع اكبر بمرتين من حجم

الحبيبية في الأفلام المرسبة عند استخدام ضغط منخفض. ارتبطت الموصلية مع اعتماد حجم الحبيبية على سمك فيلم Ag. كثافة العيوب في أفلام Ag أعلى كلما كان الضغط المستخدم خلال عملية الانتزاع اقل ونتيجة لذلك فان طاقة اصطدام ذرات Ag أعلى. هذا يعني ان أفلام Ag أغلقت مسبقا عند طاقة اصطدام ذرات Ag عالية، ولكن في نفس اللحظة فان الموصلية لسمك أعلى من 20 nm يقل بالمقارنة مع أفلام Ag التي رسبت عند استخدام ضغط أعلى في عملية الانتزاع.



الشكل 5. اعتماد موصلية Ag المرسبة على PET على سمك Ag وعوامل عملية الترسيب. ■ : P = 500 W ، ● : P = 500 W ، p = 2.5 Pa ، ▲ : P = 200 W ، p = 2.5 Pa ، W



الشكل 6. العلاقة بين حجم الحبيبة وموصلية Ag المرسبة على PET واعتمادها على سمك Ag وعوامل عملية الترسيب. . ■ : حجم الحبيبة (P = 500 W, p = 0.73 Pa)، ● : حجم الحبيبة (P = 500 W, p = 0.70 Pa) و ▲ : الموصلية (P = 500 W, p = 0.73 Pa)

ونتيجة لذلك فان أفضل عوامل ترسيب لأفلام Ag هي أفلام بامتصاص اقل ما يمكن وموصلية جيدة تعتمد على سمك فيلم Ag المطلوب.

4. المناقشة Discussion

بعد النموذج المبسط لعملية الانتزاع المقدمة بواسطة Mahan et al. [15] فانه يمكن حساب متوسط طاقة ذرات Ag عند سطح الهدف من المعادلة (2):

$$E_{ave} = U_{sb} \cdot \ln\left(\frac{\gamma E}{U_{sb}}\right) \quad \text{with} \quad \gamma = \frac{4 \cdot m_{Ag} \cdot m_{Ar}}{(m_{Ag} + m_{Ar})^2} \quad (2)$$



حيث E_{ave} هي متوسط الطاقة عند سطح الهدف، U_{sb} هي طاقة الربط السطحية لذرات Ag، و E هي طاقة ايونات Ar المصطدمة بسطح الهدف و γ هي طاقة عامل الكتلة المتحولة.

بسبب طبيعة الاعتماد اللوغارتمية للطاقة E لايونات Ar فان متوسط الطاقة لذرات Ag عند سطح الهدف تتغير قليلا جدا.

الحد الأقصى لطاقة اصطدام ايونات Ar محددة من خلال الجهد الكهربائي المستخدم في التفريغ الكهربائي. بيانات الجهد الكهربائي مدرجة في الجدول 1، فان طاقة ذرات Ag المنتزعة عند سطح الهدف تكون بين 14.1 و 14.8 eV، هذا التغير فقط في حدود $\pm 2.4\%$. التغير الطفيف في الطاقة E_{ave} مع جهد التفريغ الكهربائي لا يمكن ان يفسر الإزاحة في السمك الحرج. التأثير الرئيسي على طاقة ذرات Ag المصطدمة على سطح أرضية الترسيب تحدد من خلال عدد تصادمات ذرات Ag بغاز الانتزاع. عدد التصادمات يتناسب مع

الجدول 2

Pressure [Pa]	Number of collisions [cm^{-1}]
0.71	1.01
2.5	3.57

كثافة الغاز، والتي هي دالة في الضغط ودرجة الحرارة عند ثبوت الحجم.

$$\frac{N}{V} = n = \frac{P}{kT}. \quad (3)$$

عند ضغط ثابت فان عدد التصادمات بين Ag و Ar عند درجة حرارة 300 K موضحة في الجدول 2.

المسافة بين الهدف وأرضية الترسيب هي 5.5 cm ولهذا فان كثافة الغاز لها مقدار حيث يكون فقد طاقة ذرات Ag محدد بعدد التصادمات.

عند تغيرات كبيرة في تيار التفريغ الكهربائي، ودرجة حرارة غاز الانتزاع تصبح كثافة الغاز معتمدة على معدل الانتزاع، كما وجد ذلك الباحث [16] Rosnagel et al. السبب يعود إلى ان الغاز يسخن عندما



تصبح الذرات المنتزعة متوازنة حرارية. هذا التأثير مؤثر جدا للانتزاع بواسطة Ar، لان Ag يمتلك حصيلة انتزاع كبيرة جدا.

في تقدير بسيط للنقصان في كثافة الغاز، فانه سوف يفترض ان السمك الحرج يعتمد فقط على طاقة اصطدام ذرات Ag وبالتالي على كثافة الغاز. للحصول على اعتماد خطي للسمك الحرج على كثافة الغاز ودرجة حرارة 300 K لطاقة انتزاع مقدارها 500 W، فان درجة حرارة طاقة الانتزاع عند 2000 W يمكن تقديرها عند درجة حرارة 570 K. وهذا متفق مع النتائج في البحث [16]، حيث ان تغير مستوي في كثافة الطاقة ينتج عندما تتضاعف درجة حرارة الغاز.

التغير في السمك الحرج مع عوامل عملية الانتزاع مثل الضغط والطاقة المستخدمة يمكن ان يفسر من خلال طاقة ذرات Ag المصطدمة على سطح أرضية الترسيب واعتماد هذه الطاقة على كثافة الغاز.

بجانب اعتماد السمك الحرج على كثافة الغاز التي نوقشت أعلاه فان بلازما Ar يجب ان تؤثر على تشكل الفيلم. وهذا يتطلب تحليل طاقة ايونات Ar وذرات Ar المصطدمة بفيلم Ag خلال عملية النمو. هذه النتائج تهتم بتأثير البلازما على تشكل فيلم Ag سوف تنشر في المستقبل.

5. الاستنتاج Conclusion

تم ترسيب أفلام Ag بواسطة تقنية الانتزاع بالمجنترون المستمر وتم دراسة الخواص الضوئية والكهربية. تبين قياسات البسومتري ان أفلام Ag يمكن ان توصف بواسطة الثوابت الضوئية من [9] Palik et al.، إذا ازداد السمك الحرج. يعتمد السمك الحرج على كثافة غاز الانتزاع، والذي هو دالة تعتمد على الضغط وقدرة عملية الانتزاع. يتناقص السمك الحرج مع زيادة قدرة الانتزاع وتناقص ضغط Ar. حيث ان، السمك الحرج نفسه يعتمد على عوامل الترسيب، الخواص الضوئية للأفلام فوق dc لا تعتمد على عوامل الترسيب. لقد افترض ان السمك الحرج يميز الانتقال من نمو في صورة مناطق إلى فيلم متصل. هذا يتوافق مع نتائج القياسات الكهربائية. أدنى من السمك الحرج فان الموصلية تزداد بسرعة مع زيادة سمك فيلم Ag وأعلى من السمك الحرج وزيادة اقل في الموصلية، وذلك بسبب نمو حبيبات Ag في الفيلم.

تمت الترجمة بواسطة المركز العلمي للترجمة

www.trgma.com

14-8-2011