

## دراسة تأثير درجة حرارة الركيزة على خصائص الناقلية الكهربائية للأفلام الرقيقة المحضرة من السيلكون المهدرج غير المتبلور بطريقة التذرية

الدكتور حسن عبد الكريم سليمان\*

تاريخ الإيداع 25 / 5 / 2008. قُبل للنشر في 4/12/2008

### □ الملخص □

قمنا في هذا البحث بدراسة تأثير درجة حرارة الركيزة على كل من الناقلية الكهربائية المظلمة والناقلية الكهروضوئية للأفلام الرقيقة المحضرة من السيلكون المهدرج غير المتبلور ( $a-Si:H$ ) بطريقة التذرية، وعرضنا نتائج حساب نسبة الناقلية الضوئية إلى الناقلية الكهربائية المظلمة. ومن ثم عينا درجة الحرارة الحدية للركيزة الموافقة للقيمة العظمى لنسبة الناقلية الضوئية إلى الناقلية المظلمة والتغير الحاد في متحولات الناقلية المظلمة للسيلكون المهدرج غير المتبلور. علاوة على ذلك عرضنا نتائج دراسة مقاومة تماس الجملة المكونة من الفلم الرقيق  $a-Si:H$ /النكل عند تغير درجة حرارة الركيزة.

الكلمات المفتاحية: الأفلام الرقيقة - السيلكون المهدرج غير المتبلور - الناقلية الكهربائية المظلمة - الناقلية الضوئية - درجة حرارة الركيزة.

\* أستاذ مساعد - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## A Study of Influence of Substrate Temperature on Electrical Conductivity Properties of the Amorphous Hydrogenated Silicon Prepared by Sputtering

Dr. Hasan Abdulkarim Souleman \*

(Received 25 / 5 / 2008. Accepted 4/12/2008)

### □ ABSTRACT □

In this search, we studied the influence of the substrate temperature on the electrical and photo-conductivities of thin films prepared from amorphous hydrogenated silicon (a-Si:H) by sputtering, Details of the results of the calculation of the photoconductivity to the dark conductivity ratio are shown. Then, the critical substrate temperature, which consists of maximum value of photoconductivity to dark conductivity ratio and critical change of dark conductivity parameters of amorphous hydrogenated silicon, is also determined. In additional, the results of studying the contact resistance of thin film/nickel system at the substrate temperature change are shown.

**Keywords:** Thin films, Amorphous hydrogenated silicon, Dark electrical conductivity, Photoconductivity, Substrate temperature.

---

\*Associate Professor, Physics Department, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## مقدمة:

تتعلق الخصائص الكهربائية والكهروضوئية للأفلام الرقيقة *Thin Films* المصنوعة من السيلكون المهدرج غير المتبلور *Amorphous Hydrogenated Silicon (a-Si:H)* بشروط تحضيرها (كالضغط الجزئي للهيدروجين  $(P_h)$ ، وPartial Hydrogen Pressure، وDischarge Power ( $W$ )، وTemperature Substrate ( $T_s$ )، ودرجة حرارة الركيزة) بشكل كبير ووثيق [1,2,3,4]. وهذا ما يستوجب دراسة الخصائص الأساسية المختلفة لمادة الأفلام الرقيقة *a-Si:H* عند تغير متحولات تقانة تحضيرها.

تُعدُّ نسبة الناقلية الضوئية إلى الناقلية المظلمة ( $\mu = \sigma_{ph} / \sigma_d$ ) من أهم متحولات الأفلام الرقيقة *a-Si:H* ومعياراً أساسياً لتحديد نوعية مادتها وجودتها [5]. لهذا السبب، ويهدف تحسين أنظمة تقانة تحضير السيلكون المهدرج غير المتبلور *a-Si:H* بطريقة التذرية (أو الرش) في حالة التواترات العالية *High Frequency Sputtering* درسنا قيم هذه النسبة عند تغير درجة حرارة الركيزة  $T_s$  التي تتوضع عليها الأفلام الرقيقة المشار إليها أعلاه. يستخدم العامل الأسّي للناقلية الكهربائية ( $\sigma_0$ ) *Pre-exponential Factor* وActivation Energy ( $E_a$ ) وCritical Values على نطاق واسع كمتحولين ممثلين للناقلية الكهربائية المظلمة للأفلام الرقيقة *a-Si:H* [1,6] حيث تبين وجود قيم حدية *Critical Values* لمتحولات تحضير الأفلام الرقيقة *a-Si:H* المرسبة بطرائق مختلفة. كما لاحظ [1] *Spear* تلك القيم الحدية عند دراسته للأفلام الرقيقة *a-Si:H* المحضرة بطريقة التفريغ التوهجي *Glow Discharge* وربط تغير قيم  $\sigma_0$  و  $E_a$  عند القيمة الحدية لدرجة حرارة الركيزة  $T_s^c = 250^\circ\text{C}$  بالانتقال من نظام الناقلية الإلكترونية *Electron Transport* إلى قعر عصابة الناقلية الموافق لدرجة حرارة الركيزة ( $T_s > T_s^c$ ) إلى نظام الناقلية الثقبية *Hole Transport* بين الحالات المتوضعة في الفجوة الطاقية الموافق لدرجة حرارة الركيزة ( $T_s < T_s^c$ )، في حين فسّر كل من *Paul* و *Anderson* [6] هذه التغيرات، عند دراستها للأفلام الرقيقة *a-Si:H* المحضرة بطريقة التذرية، استناداً إلى نموذج ثنائي الطور *Two-phase Model* حيث يتصف كل طور بخصائص كهربائية مختلفة تماماً. وهذا ما يدل على وجود تباين في تفسير التغير الحاد للمتحولين  $\sigma_0$  و  $E_a$  عند دراسة تأثير متحولات تقانة الأفلام الرقيقة *a-Si:H* على خصائصها. لقد درسنا دورنا العلاقة المتبادلة بين التغير الحاد للمتحولين  $\sigma_0$  و  $E_a$  وتشكل مورفولوجية *Morphology* الأفلام الرقيقة *a-Si:H* المحضرة بطريقة التذرية عند تغير ضغط المزيج الغازي  $P$  [3,4] وDischarge Power ( $W$ ) [7] وفسّرنا ذلك التغير الحاد استناداً إلى نموذج التركيب العمودي *Column Structure* للفلم الرقيق *a-Si:H* المدروس بالانتقال من نظام التكتيف غير التام *Incomplete Regime* للمركبات  $\text{SiH}_n$  ( $n = 0,1,2,3$ ) إلى نظام تكتيفها التام *Complete Regime* [4,8]. إن التركيب العمودي هو تركيب ثنائي الطور مكوّن من مجالات أساسية مميزة لمادة العينة المدروسة (المركبات  $\text{SiH}_2$  و  $\text{SiH}$ ) تسمى "أعمدة *Columns*"، تفصل بينها حواجز كمون تتشكل من الروابط (*Si-Si*) المتقطعة *Dangling bonds* والضعيفة لذا تسمى "تسيجاً رابطاً *Texture*" [3,4,8]. يتعين ارتفاع هذه الحواجز بالمسافة الفاصلة بين سقف عصابة التكافؤ والحالة الطاقية الموافقة لقمة كثافة الحالات المتوضعة في عمق الفجوة الطاقية للسيلكون المهدرج غير المتبلور حيث بلغت قيمته في العينات المدروسة هنا ما بين  $0.3\text{ eV}$  و  $0.6\text{ eV}$  [8].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك كل:

1. من الناقلية الكهربائية المظلمة،
2. والناقلية الكهرضوئية،
3. والعامل الأسي للناقلية المظلمة،
4. وطاقة تنشيط الناقلية الكهربائية المظلمة للأفلام الرقيقة المحضرة من مادة السيلكون المهدرج غير المتبلور ( $a-Si:H$ ) بطريقة التذرية عند درجات حرارة ركيزة مختلفة،
5. وتحديد مجال درجة حرارة الركيزة المثالي لتحضير  $a-Si:H$  الذي يتصف بأعلى حساسية ضوئية،
6. من ثم دراسة تأثير مقاومة الحد الفاصل بين الفيلم الرقيق  $a-Si:H$  والمعدن على تلك الخصائص المختلفة للسيلكون المهدرج غير المتبلور.

وتتجلى الأهمية التطبيقية لهذا البحث في إمكانية استخدام الأفلام الرقيقة المحضرة من مادة السيلكون المهدرج غير المتبلور في صناعة الإلكترونيات الضوئية، والترانزستورات المختلفة، والخلايا الشمسية، وأجهزة التصوير الكهربائي الجاف كونها تتصف بحساسية ضوئية عالية.

### طريقة البحث ومواده:

استخدمنا في هذا البحث الأفلام الرقيقة المصنوعة من مادة السيلكون المهدرج غير المتبلور  $a-Si:H$  والتي تمت دراسة بعض خصائصها في هذا البحث [8]، حيث قمنا بحساب أطيايف توزيع أزمنة ارتخاء مادة السيلكون المهدرج غير المتبلور  $a-Si:H$  وسعتها الكهربائية. وذلك في مختبر فيزياء وتقانة المواد الكهربائية في معهد الطاقة بموسكو في وقت سابق عام (2004-2005). وأجري هذا البحث في جامعة تشرين خلال الفترة من 2006/6/30 إلى 2007/11/30.

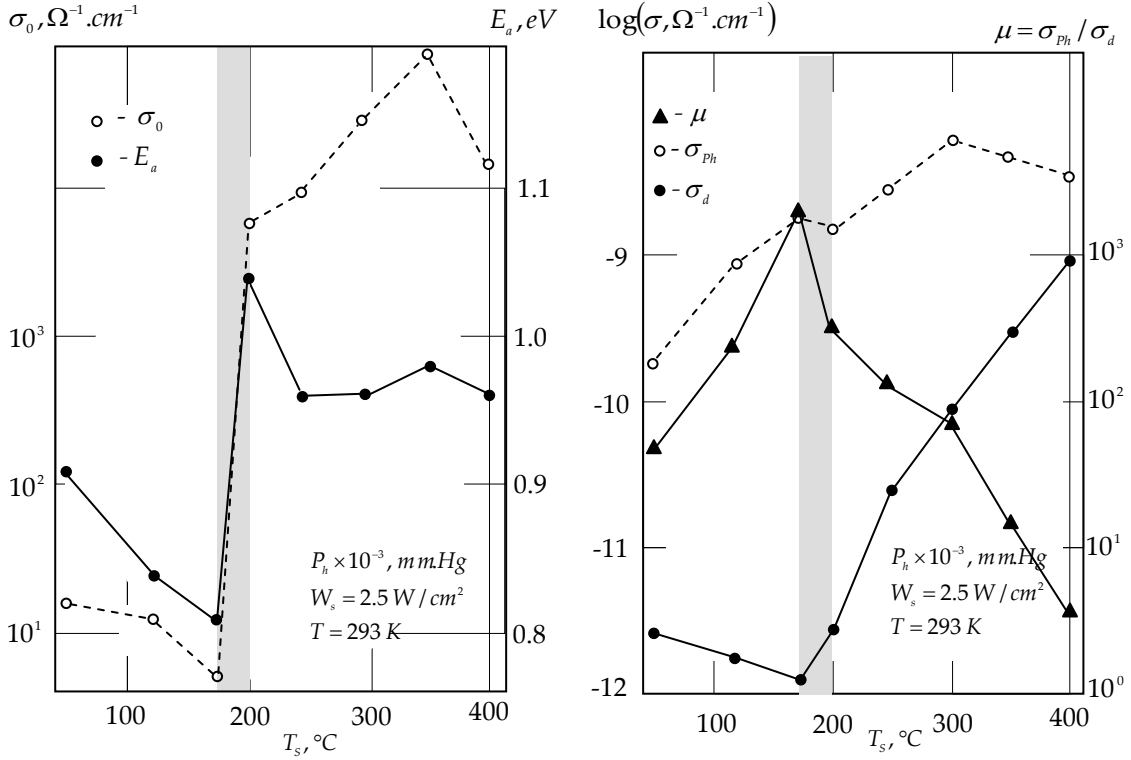
تم تحضير الأفلام الرقيقة من مادة السيلكون المهدرج غير المتبلور  $a-Si:H$  بطريقة التذرية في حالة التواترات العالية في جو بلازمي مكون من الأرجون والهيدروجين بنسبة ( $Ar/H_2 = 10/1$ ) عند تغير درجة حرارة الركيزة في المجال من  $T_s = 45^\circ C$  إلى  $T_s = 400^\circ C$ . حيث تمت تذرية هدف له شكل قرص مصنوع من مادة السيلكون الأحادي التبلور *Mono-crystalline Silicon* وقطره  $15\text{cm}$ . وبلغت قيمتا الاستطاعة النوعية للتفريغ عالي التواتر  $W_s = 2.5\text{W/cm}^2$  *Specific Discharge Power*، والضغط الجزئي للهيدروجين  $P_h = 10^{-3}\text{mm.Hg}$  [8]. وبهدف قياس الناقلية الكهربائية في حالتها الظلام والإضاءة تم ترسيب الأفلام الرقيقة  $a-Si:H$  على ركائز زجاجية وضعت عليها مسبقاً مساري معدنية من مادة النيكل. وأنجزت كل القياسات (باستثناء تعيين المتحولين  $\sigma_0$  و  $E_a$ ) عند الدرجة الحرارة  $T = 300^\circ K$ .

### النتائج والمناقشة:

لقد اخترنا، كما ذكرنا أعلاه، مضاعفات نسبة الناقلية الضوئية إلى الناقلية الكهربائية المظلمة  $\mu = \sigma_{ph} / \sigma_d$  كمعيار أساسي لتحديد نوعية مادة السيلكون المهدرج غير المتبلور  $a-Si:H$  وتحسين أنظمة تقانة الحصول عليها. يبين الشكلان (1) و (2) منحنيات تغير الناقلية المظلمة  $\sigma_d$  والناقلية الضوئية  $\sigma_{ph}$ ، والنسبة  $\mu = \sigma_{ph} / \sigma_d$ ، وطاقة تنشيط

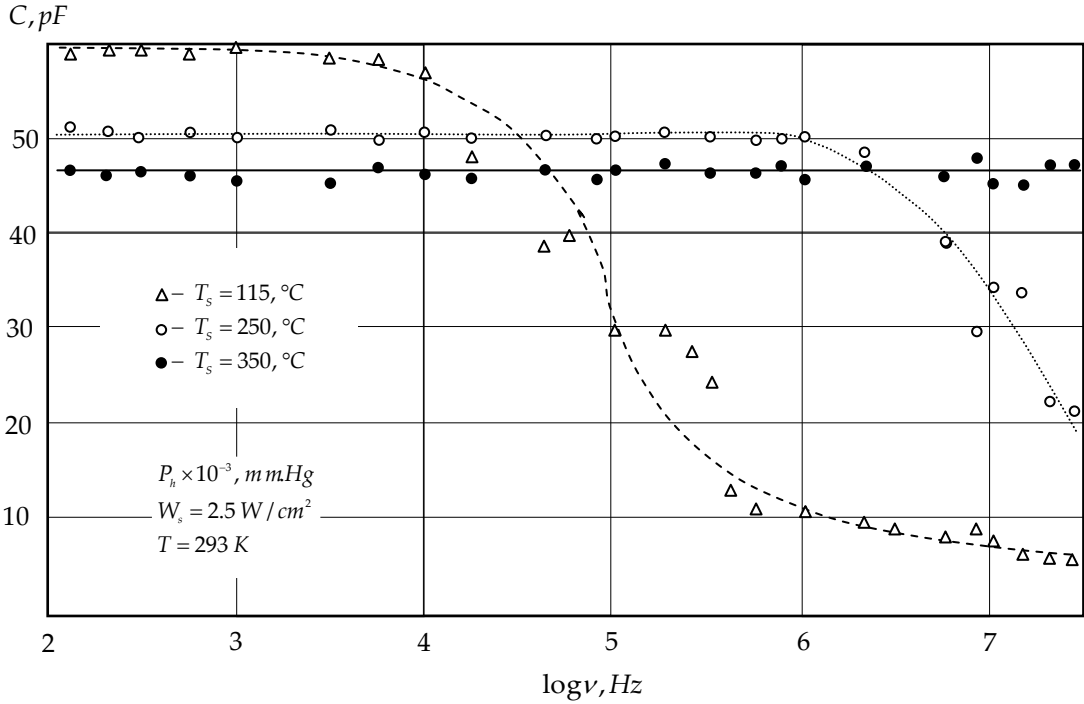
الناقلية الكهربائية المظلمة حرارياً  $E_a$  والعامل الأسّي للناقلية الكهربائية  $\sigma_0$  للأفلام الرقيقة  $a-Si:H$  عند تغير درجة حرارة الركيزة  $T_S$  التي تتأرجح قيمتها بين  $45^\circ\text{C}$  و  $400^\circ\text{C}$  حيث تخضع الناقلية الكهربائية المظلمة  $\sigma_d$  لتلك الأفلام الرقيقة للقانون:  $\sigma_d = \sigma_0 \exp(-E_a/kT)$  (k ثابت بولتزمان و T درجة الحرارة المطلقة).

يشير سلوك المنحنيات في الشكلين السابقين (1) و (2) إلى وجود مجالات محددة كفاية لمتحول تقانة الحصول على عينات السيلكون المهدرج غير المتبلور  $a-Si:H$  المتمثل هنا في درجة حرارة الركيزة  $T_S$ ، حيث تتميز المادة المحضرة في ذلك المجال الضيق  $T_S^c = (180 - 200)^\circ\text{C}$  لدرجة حرارة الركيزة بتغير المتحولات الأساسية المميزة للناقلية الكهربائية في المادة ( $E_a$  و  $\sigma_0$ ) بشكل حاد، ويلاحظ أيضاً أن للنسبة  $\mu = \sigma_{ph} / \sigma_d$  قيمة عظمى في ذلك المجال الضيق لدرجة حرارة الركيزة  $T_S^c$  بلغت  $\mu_{\max} \cong 2,4 \times 10^3$ ، ثم إن ازدياد تلك النسبة ناتج بشكل رئيس عن تغيرات الناقلية الكهربائية المظلمة  $\sigma_d$ . إن مصدر التغير الحاد في السلوك العام لمتحولات الناقلية ( $E_a, \sigma_0, \mu, \sigma_d$ ) للأفلام الرقيقة  $a-Si:H$  بجوار المجال الحدي لدرجة حرارة الركيزة  $T_S^c = (180 - 200)^\circ\text{C}$  هو الانتقال من نظام التكتيف التام للمركبات  $SiH_2$  على سطح الأفلام الرقيقة المتنامية إلى نظام تكتيفها غير التام. إن مفهوم التكتيف التام وغير التام موضح جيداً في [4]. في الواقع وجدنا في [8] أن قيمة كمية المركبات  $SiH_2$  في الأفلام الرقيقة  $a-Si:H$  تثبت ضمن مجال درجة حرارة الركيزة  $T_S = (45 - 200)^\circ\text{C}$  أي ضمن المجال  $T_S \leq T_S^c$  حيث يسيطر نظام التكتيف التام، ثم أن احتمال تواضع كل المركبات  $SiH_n$  في مركز العمود أكبر من احتمال تواضعها خارجه. إضافة لذلك بلغت الكثافة السطحية للأعمدة قيمة دنيا في المجال الحدي لدرجة حرارة الركيزة  $T_S^c = (180 - 200)^\circ\text{C}$  والتي تتسجم بشكل جيد مع نموذجي أندرسن Anderson ولويس-كَمبِل Lewis-Campbell [9,7,6]. إذاً تبلغ النسبة  $\mu = \sigma_{ph} / \sigma_d$  للأفلام الرقيقة  $a-Si:H$  المدروسة ضمن المجال الحدي لدرجة حرارة



الشكل (2): منحنى تغير العامل الأسي للناقلية الكهربائية المظلمة  $\sigma_0$  لعينات  $a-Si:H$  وطاقة تنشيطها حرارياً  $E_a$  عند تغير درجة حرارة الركيزة  $T_s$ .

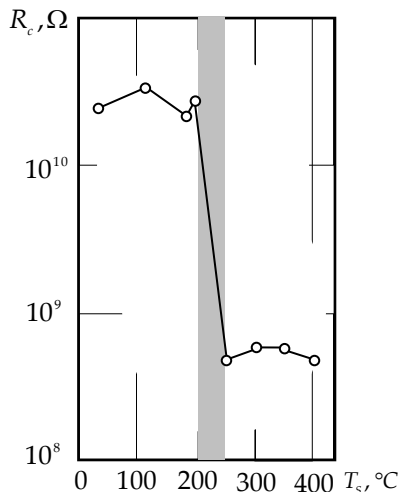
الشكل (1): منحنيات تغير الناقلية الكهربائية المظلمة  $\sigma_d$  والناقلية الضوئية  $\sigma_{ph}$ ، والنسبة  $\mu$  لعينات  $a-Si:H$  عند تغير درجة حرارة الركيزة  $T_s$ .



الشكل (3): العلاقات التواترية لسعات عينات السيلكون المهدرج غير المتبلور  $a-Si:H$  الحاصلة عند قيم مختلفة لدرجة حرارة الركيزة  $T_s$  [8].

الركيزة  $T_s^c = (180 - 200)^\circ\text{C}$ ، قيمةً عظمى تساوي  $\mu_{\max} \cong 2,4 \times 10^3$ . حيث توافق هذه القيمة مجال الانتقال من نظام التكتيف التام للمركبات  $\text{SiH}_2$  (وكذلك  $\text{SiH}$ ) إلى نظام تكثيفها غير التام على سطح العينات المدروسة وتكون كمية المركبات  $\text{SiH}_2$  و  $\text{SiH}$  فيها في حدها الأعظمي، في حين أن كمية العيوب المتشكلة ضمن الروابط  $\text{Si-Si}$  المتقطعة والضعيفة التي تتشكل بشكل رئيسي في النسيج الرابط في حدها الأدنى.

لقد درسنا في [8] العلاقات الترددية لسعة العينات  $C = f(\nu)$  المدروسة في هذا البحث والحاصلة من أجل قيم مختلفة لدرجة حرارة الركيزة  $T_s$  عند تغير تردد الحقل الكهربائي الخارجي  $\nu$  ضمن المجال  $\nu = (100 - 30 \times 10^6) \text{ Hz}$ ، شكل (3). بين هذا الشكل أن سعة  $C(\nu)$  العينات الحاصلة عند أعلى درجات حرارة الركيزة  $T_s \geq 350^\circ\text{C}$  ثابتة في كامل مجال الترددات المدروس، مما يدل على غياب عناصر عدم التجانس  $Inhomogeneity$  وثنائيات الأقطاب  $Dipoles$  في تلك العينات التي لو كانت موجودة لتجاوبت ترددات اهتزازتها مع ترددات المجال المدروس. وأشرنا إلى أن انخفاض درجة حرارة الركيزة يؤدي إلى تغير كثافة الأفلام الرقيقة  $a\text{-Si:H}$  وزيادة تركيز المسامات  $Porous$  فيها، وهذا هو سبب نشوء عزم ثنائيات أقطاب في بنية  $a\text{-Si:H}$ ، وبالتالي ضياع الطاقة المرتبطة بإعادة توجيهها  $Reorientation$  في الحقل الكهربائي المتناوب المطبق. لاحظنا أيضاً أن سعة تلك الأفلام الرقيقة عند الترددات العالية هي أقل بكثير منها عند الترددات المنخفضة، وذلك بسبب انخفاض شدة الاستقطاب نتيجة خروج ثنائيات الأقطاب العطالية الموجودة في بنية  $a\text{-Si:H}$  من عملية إعادة توجيه. ووجدنا في الوقت ذاته أن سعة تلك العينات، المحسوبة من أجل درجات حرارة أقل للركيزة ( $T_s < 350^\circ\text{C}$ ) أي للعينات الأقل تجانساً، والموافقة للترددات المنخفضة هي أعلى من تلك الحاصلة من أجل درجات حرارة عالية للركيزة  $T_s \geq 350^\circ\text{C}$  (أي العينات المتجانسة)، كما وأن سعة العينات الحاصلة من أجل  $T_s < 200^\circ\text{C}$  هي أكبر بكثير. ولكن قيمة سعة العينات الأخيرة تنخفض بشكل حاد بجوار الترددات  $(1-10) \text{ kHz}$ . تم تفسير علاقة سعة الأفلام الرقيقة  $a\text{-Si:H}$  بتردد الحقل الخارجي في إطار استقطاب الحد الفاصل بين الأطوار  $Phase Interface$  في أنصاف النواقل والعوازل غير المتجانسة [10].



الشكل (4): تغير المقاومة التماسية للجملة نيكل/ $a\text{-Si:H}$  تحت تأثير درجة حرارة الركيزة  $T_s$ .

نشير هنا إلى أن السطوح الكبيرة للحدود الفاصلة بين الأطوار في الأفلام الرقيقة ذات التركيب العمودي تسبب في مساهمة إضافية حقيقية في استقطاب تلك العينات عند الترددات المنخفضة. وفي الوقت ذاته تؤدي المقاومة النوعية العالية ( $R$ ) لمادة السيلكون المهذرج غير المتبلور  $a\text{-Si:H}$  والقيمة الكبيرة للشحنة الكهربائية المتراكمة على الحدود الفاصلة إلى ثابت زمن  $\tau = RC$  كبير كفاية لعملية إعادة الشحن  $Recharging$ . بلغ ظل زاوية فقدان العازلية القيمة  $(0.2 - 0.3)$  [8] في الأفلام الرقيقة  $a\text{-Si:H}$  ذات التركيب العمودي الموافقة للترددات  $(1-10) \text{ kHz}$ ، أما في الأفلام الرقيقة الأكثر تجانساً فقد كانت القيم أقل بعشرة أضعاف في كامل مجال الترددات المدروس. كل هذه المعطيات تدعم فرضية محدودية استخدام الأفلام الرقيقة  $a\text{-Si:H}$  ذات التركيب العمودي في التطبيقات العملية.

لأجل دراسة تأثير وجود طبقة حاجز على الحد الفاصل معدن -

نصف ناقل بشكل ملحوظ على نتائج قياس الخصائص الكهربائية فمننا بقياس المقاومة التماسية ( $R_C$ ) للجملة (فلم رقيق  $a-Si:H$ /نيكل). ويبين الشكل (4) منحنى تغير قيمة المقاومة التماسية  $R_C$  للعينات  $a-Si:H$  المحضرة عند درجات حرارة مختلفة للركيزة  $T_S$ ، حيث نلاحظ أنه يتغير بشكل حاد عند درجة حرارة الركيزة  $200^\circ C$ . يمكن تقريب منحنى تغير المقاومة التماسية في المجال  $T_S = (45 - 400)^\circ C$  إلى قطعتين مستقيمتين متوازيتين وموازيين لمحور السينات المتمثل هنا في درجة حرارة الركيزة  $T_S$ . نلاحظ أن المقاومة التماسية  $R_C$  للجملة نيكل/ $a-Si:H$  (وبصرف النظر عن تغير الخصائص الكهربائية والضوئية للأفلام الرقيقة  $a-Si:H$  عند تغير درجة حرارة الركيزة  $T_S$ ) تبقى ثابتة في مجال واسع لتغير المتحول  $T_S$ ، طالما أنه لم يبلغ القيمة الحدية  $T_S^c = 200^\circ C$ . ونلاحظ عند تلك القيمة الحدية تغيراً حاداً في قيمة المقاومة التماسية (بأكثر من عشرة أضعاف)، وتبرز القيم الكبيرة للمقاومة التماسية عند دراسة الأفلام الرقيقة  $a-Si:H$  غير المتجانسة بشكل كبير، أي المحضرة عند درجات حرارة منخفضة للركيزة: ويحدث ذلك بسبب تكوّن طبقة انتقالية إضافية بين المسرى المعدني (النيكل) والفلم  $a-Si:H$ . وهذا محتمل جداً طالما أنه في شروط ترسيب مادة السيلكون المهدرج غير المتبلور يمكن أن تتشكل طبقة حاجز  $Barrier Layer$  حتى بين أجزاء مختلفة من الفلم غير المتبلور ذاته.

### الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تم تحديد المجال الأمثل لدرجة حرارة الركيزة حيث تتميز الأفلام الرقيقة  $a-Si:H$  المتشكلة فيه بأكبر حساسية ضوئية أي بقيمة عظمى للنسبة  $\mu_{\max} \cong 2,4 \times 10^3$  الموافقة لقيمة دنيا للناقلية الكهربائية المظلمة  $\sigma_{d,\max} \sim 10^{-12} \Omega^{-1}.cm^{-1}$  ويقع هذا المجال بجوار القيمة  $T_S^c = (180 - 200)^\circ C$ .
- 2- تتصف المواد المحضرة في ذلك المجال الضيق لدرجة حرارة الركيزة  $T_S^c = (180 - 200)^\circ C$  بتغير المتحولات الأساسية المميزة للناقلية الكهربائية في المادة (لاسيما  $\sigma_0$  و  $E_a$ ) بشكل حاد وبلغت قيمها الدنيا فيه  $62.5 \Omega^{-1}.cm^{-1}$  و  $0.81 eV$  على الترتيب.
- 3- تعاني المقاومة التماسية  $R_C$  للجملة نيكل/ $a-Si:H$  من تغير حاد بجوار القيمة الحدية لدرجة حرارة الركيزة  $T_S^c = 200^\circ C$ ، وتكون قيمتها من أجل عينات  $a-Si:H$  غير المتجانسة أكبر بعشرة أضعاف منها من أجل عينات  $a-Si:H$  المتجانسة.
- 4- يمكن استخدام عينات  $a-Si:H$  المحضرة في المجال المثالي لدرجة حرارة الركيزة في أجهزة الخلايا الشمسية كونها تتصف بحساسية ضوئية عالية نسبياً.
- 5- نقترح متابعة دراسة الأفلام الرقيقة المصنوعة من مادة السيلكون المهدرج غير المتبلور  $a-Si:H$  وبكل الطرائق الممكنة لما لها من تطبيقات عملية هامة في التصوير الكهربائي، والخلايا الشمسية، والترانزستورات الحقلية، ولكلفتها المنخفضة نسبياً.



## المراجع:

- 1- SPEAR, W.E.; ALLAN, D.; Le COMBER, P.G., *A New Approach to the Interpretation of Transport Results in a-Si:H*, Phil. Mag., 1980, Vol. 41, No 4, 419-438.
- 2- SUVARANA, B.; RAJARSHI, S. V.; DUSANE, R.O.; Bhide, V. G.; KSHIRSAGAR, S. T., *Effect of RF Power on The Structure an Related Gap States in Hydrogenated Amorphous Silicon*, Journal of Non-crystalline Solids, Vol. 119, 1990, 342-346.
- 3- سليمان، حسن عبد الكريم، استخدام خوارزمية تنظيم من أجل حساب أطيف كثافة الحالات الطاقية في الفجوة الحركية لـ  $a\text{-Si:H}$  بطريقة التيار الضوئي الثابت، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الأساسية، المجلد 29، العدد 1، 2007، 33-42.
- 4- سليمان، حسن عبد الكريم، تعيين طيف كثافة الحالات في الفجوة الطاقية لأنصاف النواقل غير المتبلورة، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الأساسية، قيد النشر (2007).
- 5- ACHARYA, P. K.; CHOPRA, K. L.; SAHA, S. C.; SWATI, R., *Effect of Hydrogen Dilution on Light Induced Degradation of Hydrogenated Amorphous Silicon Films for Solar Photovoltaic Applications*, Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 32, 1994, 21-28.
- 6- ANDERSON, D. E.; PAUL, W., *Transport Properties of a-Si:H Alloys Prepared By Sputtering*, Phil. Mag. B, Vol. 44, 1980, 187-213.
- 7- سليمان، حسن عبد الكريم، دراسة شروط التكثيف وآليات النقل الكهربائي في أنصاف النواقل غير المتبلورة، أطروحة لنيل شهادة دكتوراه *Ph.D.*، معهد الطاقة بموسكو، 1992، 186.
- 8- سليمان، حسن عبد الكريم، دراسة بعض خواص السيلكون المهدرج غير المتبلور ( $a\text{-Si:H}$ ) بحساب طيف أزمنة الاسترخاء، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الأساسية، المجلد الثالث والعشرون، العدد العاشر، 2001، 47-62.
- 9- LEWIS B.; CAMBELL, D. S., *Nucleation and Initial Growth Behavior of Thin Films Deposition*, Journal of Vacuum Science and Technology, Vol. 4, 1967, 209-218.
- 10- ОРЕШКИН П. Т. В., *Физика Полупроводников И Диэлектриков*, 1977, Мир, 448.  
(الترجمة: أرشكين، ت. ف.، فيزياء أنصاف النواقل والعوازل، 1977، دار مير للنشر، 448)

$10^4$