Comprehensive Journal of Science
Volume (11), Issue (42), (Sapt, 2026)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (11) العدد 42 سبتمبر 2026
ردمد: 3014-6266

تقنيات الترسيب ودورها في كفاءة الخلايا الشمسية

أسامه حسين جمعه ابوزيتونه
عضو هيئة تدريس بكلية هندسة الموارد بئر الغنم / جامعة الزاويه
O.abozitona@ZU.edu.Ly
https://orcid.org/0009-0002-2282-4859

Deposition techniques and their role in solar cell efficiency

Osama Hussein Juma Abu Zaituna
Faculty Member, Faculty of Resources Engineering, Bir Al-Ghanam / University of Zawiya

تاريخ الاستلام:2026/07/20 –تاريخ المراجعة:2026/07/25– تاريخ القبول: 2026/08/28– تاريخ للنشر : 5/9/ 2026

الملخص:

يهدف البحث الى توضيح المفهوم الأساسي للأغشية الرقيقة وخصائصها المميزة ودراسة ومقارنة طرق الترسيب المختلفة وتحليل مزايا وعيوب كل من تقنيات الترسيب وتحديد العوامل المؤثرة في عملية الترسيب وتأثيرها على الخواص التركيبية للغشاء فضلا عن ربط تقنيات الترسيب بالتطبيقات الصناعية ومعايير اختيار الطريقة المناسبة، وأعتمد البحث على المنهج النظري والمنهج العلمي لتحليل النتائج التجريبية لترسيب بعض المواد ومقارنتها من حيث معدل الترسيب والتجانس والخواص البصرية والكهربية وتوصل البحث الى ان الطرق المختلفة للترسيب والتقنيات تؤدي إلى نتائج مختلفة في تركيب وخصائص الأغشية الرقيقة طريقة CVD ميزت بتطعيم الغشاء في موقعه الأصلي أي أنها تقدم أفضليه لعمليات المعالجة عند درجات الحرارة المنخفضة ،

وتبين أن الخواص الكهربائية للسيليكون اللابلوري يمكن أن تحسن بشكل ملحوظ بدمج أو اتحاد الهيدروجين مع السيليكون . وان خواص أغشية a-Si:H تجعل لها إمكانية عالية للتطبيق في الأجهزة الإلكترونية وتحويل الطاقة الشمسية، وان هذه الخواص تتأثر بشروط الترسيب مثل الطاقة ، الضغط الجزئي للغازات ، درجة حرارة الركيزة.

الكلمات المفتاحية: تقنيات ـ الترسيب ـ كفاءة ـ الخلايا – الشمسية.

Abstract:

This research aims to clarify the fundamental concept of thin films and their distinctive characteristics. It studies and compares different deposition methods, analyzes the advantages and disadvantages of each deposition technique, identifies the factors affecting the deposition process and their impact on the film's structural properties, and links deposition techniques to industrial applications and criteria for selecting the appropriate method. The research employs both theoretical and scientific approaches to analyze experimental results of deposition of various materials and compare them in terms of deposition rate, homogeneity, and optical and electrical properties. The research concludes that different deposition methods and techniques lead to varying results in the structure and properties of thin films. The CVD method is characterized by in-silicate deposition, which offers advantages for processing at lower temperatures.

It was also shown that the electrical properties of amorphous silicon can be significantly improved by combining hydrogen with silicon. The properties of a-Si:H films make them highly suitable for applications in electronic devices and solar energy conversion. These properties are influenced by deposition conditions such as energy, partial pressure of gases, and substrate temperature.

Keywords: Deposition techniques, efficiency, solar cells.

المقدمة:

تعد تقنية الأغشية الرقيقة واحده من أهم التقنيات التي ساهمت في تطوير دراسة أشباه الموصلات واعطت فكره واضحه على العديد من الخصائص الفيزيائية للمواد . ويطلق عادة مصطلح الأغشية الرقيقة على طبقة أو عدة طبقات من ذرات مادة معينه قد لا يتعدى سمكها واحد مايكرون ناتجة من تكثيف الذرات والجزيئات والتي تمتلك خواص فريده هامه كالصفات الفيزيائية والهندسية ويمكن ترسيبها على مواد اخرى تستخدم كقواعد ترسيب ويعتمد نوع القاعدة على طبيعة الاستخدام والدراسة مثل الزجاج والكوارتز والسيليكون والألومنيوم . للأغشية الرقيقة استعمالات صناعية متعددة فهي تدخل في تركيب عناصر الأجهزة الإلكترونية مثل المقاومات والترانزسترات والمتسعات وغيرها وتعد أساسا لتصنيع الخلايا الشمسية والضوئية .وكذلك يستعمل سيراميك الأغشية الرقيقة على نطاق واسع والشده والصلابة العالية نسبيا للأغشية الخزفية لها فائدة كبيره لحماية مواد الركيزة ضد التأكل والتأكسد والبلي ويسعى هذا البحث الى استعراض أهم طرق الترسيب وتحليل العوامل المؤثرة على جودة الغشاء وبيان العلاقة بين اسلوب التحضير والمجال التطبيقي

اولاً :أهداف البحث

يهدف البحث إلى:-

1- توضيح المفهوم الأساسي للأغشية الرقيقة وخصائصها المميزة
2- دراسة ومقارنة طرق الترسيب المختلفة وتحليل مزايا وعيوب كل من تقنيات الترسيب
3- تحديد العوامل المؤثرة في عملية الترسيب وتأثيرها على الخواص التركيبية للغشاء
4- ربط تقنيات الترسيب بالتطبيقات الصناعية ومعايير اختيار الطريقة المناسبة

ثانياً :مشكلة البحث:-

على الرغم من التطور الكبير في تقنيات ترسيب الأغشية الرقيقة إلا أن اختيار الطريقة المثلى يظل تحديا أمام الباحثين والمهندسين فكل تقنيه تمتلك قيودا تتعلق بالتكلفة ودقة التحكم

في السماكة ودرجة نقاء الغشاء وتوفقها مع نوع الركيزة وأحدى المشاكل الرئيسية التي تواجه ترسيب الأغشية الرقيقة هي القدرة على تغطية ركائز كبيرة البعد.

ثالثاً : منهجية البحث :-

أعتمد البحث على المنهج النظري والمنهج العلمي

1- المنهج النظري
مراجعة الكتب الحديثة المتعلقة بطرق الترسيب الفيزيائي والكيميائي وأليات العمل والمتغيرات المؤثرة
2- المنهج العملي
تحليل النتائج التجريبية لترسيب بعض المواد ومقارنتها من حيث معدل الترسيب والتجانس والخواص البصرية والكهربية .

رابعاً : أهمية البحث :-

1- علميا – نموذج مثالي لدراسة الظواهر السطحية وتأثيرات الحجم النانوني
2- تقنيا – المكون الأساسي في المعالجات الدقيقة والخلايا الشمسية
3- اقتصادياً – تحسين التقنيات يخفض كلفة الإنتاج ويزيد العائد
4- بيئيا – تطوير تقنيات الطاقة النظيفة والطلاءات الموفرة للطاقة
5- بحثيا – يمهد لابتكار مواد جديده ذات خصائص مصممه مسبقا

خامساً : تقنيات الترسيب

أولاً : الترسيب بالبخار الكيميائيCVD)

العديد من تقنيات الترسيب طوّرت لتحضير أو إعداد تشكيله متنوعة من المواد لتلبية متطلبات أو احتياجات الصناعة . الطريقة المحددة لترسيب الغشاء الرقيق تستعمل لتصميم غشاء ذو تركيب دقيق وهيكل مجهري . هذه الخصائص ستؤثر على الخواص الفيزيائية والكيميائية للغشاء والعملية الوظيفية لعناصر الدوائر الكهربية المصنعة ، والوصلات الداخلية والركائز.

هناك عدة تقنيات لترسيب الغشاء الرقيق الذي منها ترسيب البخار الكيميائي ، فهذه الطريقة تتضمن ترسيب عند الضغط الجوي CVD، وعند الضغط المنخفض LPCVD ، وبمساعدة البلازما . PCVD هذه الطريقة ميزت بتطعيم الغشاء في موقعه الأصلي أي أنها تقدم أفضليه العمليات المعالجة عند درجات الحرارة المنخفضة . إن التفاعلات الكيميائية تتضمن في هذه

الطريقة اعتمادها على درجة حرارة الترسيب التي تسبب تغير في خواص المواد المرسبة وفيما يلي نوضح بشكل مفصل بنية الأغشية المحضرة وخصائصها في الجدول (1) . أكثر
التفاعلات استعمالا هي أكسدة الـ silane عند درجة حرارة C^0 (400-450)، ويتحلل إلىTetra silaneoxide عند درجة حرارة C^0(650-700)، وتفاعل dichlorosilane مع N_2O عند درجة حرارة C^0(850-9000) . التطعيم نحصل عليه بإضافة الشائبة المناسبة إلي غرفة التفاعل ، مثال على ذلك AS و diborane . Silicon nitrite يمكن الحصول عليه بتفاعل silane و ammoniaفي ضغط الهواء الجوي وعند درجة حرارة C^0 (900 -700) او عند $900C^0 \approx$ بتفاعل dichlorosilane والأمونيا ، عند ترسيب البخار الكيميائي بمساعدة البلازما PCVD عند ضغط منخفض لنترات السيليكون خلال تفاعل silane و ammonia.

الجدول (1) بنية الأغشية المحضرة وخصائصها

مادة الغشاء	التفاعل	E_{pv}^{opt} (eV)	σ_d $(\Omega cm)^{-1}$	σ_{ph} $(\Omega cm)^{-1}$
a-Si	SiH_4	1.7-2.0	$<10^{-8}$	$<l0^{-3}$
µ-CSi	SiH_4+H_2	2.0	10^{-3}-10^{-2}	$<10^{-4}$
a-SiC	SiH_4+CH_4 C_2H_4 $Si(CH_3)_4$	2.8-1.8	$<10^{-10}$	7-10>
a-SiGe	SiH_4+GeH_4	1.0-1.7	10^{-8}-10^{-3}	$<10^{-3}$
a-SiSn	$SiH_4+Sn(CH_3)_4$	1.0-1.7	10^{-10}-10^{-6}	$<10^{-6}$

1- في الضغط الجوي العادي(APCVD)

حيث يرمز الحرفان AP إلى الضغط الجوي وتصلح هذه الطريقة للنظم البسيطة الترسيب الناتج غير متجانس وسيبدو ضبابي أو غائم لأن نقاء الغشاء يعتمد على نوعية التفريغ وعلى نقاء المصدر المادي.

2- في الضغط المنخفض(LPCVD)

LP ترمز للضغط المنخفض . وتشبه الطريقة السابقة مع تحسين في انتظام الغشاء كما أنها تستهلك غازات أقل.

3- التحسين بالبلازما:(PCVD)

وهي نفس طريقة CVD ولكن بطاقة معززة وذلك لأن طاقة البلازما تضاف الي الطاقة الحرارية لنظام CVD المألوف. ويتكون جو البلازما من الكترونات نشيطة تعمل علي تنشيط تفاعل الأبخرة دون اللجؤ لرفع درجة الحرارة.

ثانياً : الترسيب الفيزيائي للبخار:

تتم هذه العملية تحت ضغط منخفض جداً بأستخدام أما تقنية التبخير أو النفث sputtering .

وتعمل مضخة التفريغ الأولية علي تفريغ غرفة التبخير من الضغط الجوي الي ضغط يقارب 15pa . ومن ثم تعمل مضخة أخري ذات تفريغ عالي جداً علي تقليل الضغط الي $5\boldsymbol{x}10^{-5}$pa ($3\boldsymbol{x}10^{-2}$torr) او أقل وتعتبر نظافة الجهاز من الأمور الواجبة لأجل التقليل من فترة التفريغ. فبعدما تنظف غرفة التبخير بالمواد الكيماوية فيجب تجفيف جميع مكوناتها ومن أجل إزالة الغازات الجوية فانه يجب إزالة جميع الأغشية المتكونه داخل الغرفة. ويجب تنظيف كل خطوط الغاز التي توصل بين المصدر وغرفة الاستطارة وتكون محكمة السد من أجل الحفاظ علي إدخال غاز ذو نقاوة عالية جداً.

التبخير Evaporation

التبخير طريقة قديمة وبسيطة لترسيب الأغشية الرقيقة. وهناك مصادر متعددة مستخدمه في عملية التبخير.

1. مصدر مسخن كهربائياً :-

هو عبارة عن معدن حراري (مثل التنجستن ذو حرارة انصهار عالية) يلف على شكل فتيله ويعلق في كل لفة قطعه صغير من مادة المصدر . وتعتبر هذه الطريقة أكثر جاذبية لكونها بسيطة ورخيصة الثمن ولا تنتج إشاعات متأينة. ولكن من عيوبها هو احتمال التلوث الناتج من المسخن وكذلك محدودية سمك الغشاء بسبب قلة المادة المستخدمة في عملية التبخير.

2. مصدر مسخن بالموجات

هو مصدر تبخير يسخن بواسطة الحث بالموجات ذات الراديويه. ويستخدم عادة نتريد البورون BN في تركيب البوتقة. وفي هذه الطريقة من الممكن الحصول علي معدلات ترسيب عالية وبدون أية إشاعات متأينه. ولكن عيوبها هو احتمال تلوث المادة المراد تبخيرها بمادة البوتقة.

3. مصدر مسخن بالحزمة الإلكترونية

مصدر تبخير بالحزمة الالكترونية (e-beam) فمن فتيلة الانبعاث الأيوني الحراري تنبعث حزمة من الالكترونات وتسرع هذه الالكترونات بواسطة مجال كهربائي لكي ترتطم بسطح مادة المصدر المراد تبخيرها. وهناك مجال مغناطيسي يعمل علي حني سلك الحزمة الالكترونية وبذلك تحجب الشوائب.

النمو المتراص Epitaxy

في كل الطرق السابقة لا يمكن ترسيب الغشاء في صورة بلورية بل في صورة متعدد البلورة.

الطريقة الوحيدة لتكوين غشاء بلوري هي طريقة النمو المتراص وفيها يتم نمو بلورة الغشاء على نفس نسق الشبيكة الموجودة تحت الغشاء . ومصطلح epitaxy يتكون من مقطعين معناهما بالإغريقية ((الرص فوق)) . في هذه الطريقة يتم إمرار أبخرة من مركبات السيليكون (مثل تترا كلوريد السيليكون (على سطح الرقيقة كما في طريقة ترسيب البخار الكيميائي وكنتيجة للتفاعلات الحادثة تترسب ذرات السيليكون على نفس اتجاه البلورة التحتية . وأثناء نمو السيليكون البلوري يمكن تطعيمه بالشوائب عن طريق إدخال غازات حاوية للشوائب مثل الفوسفين Ph_3 والدابورين B_2H_6 أو الزرنيخ (AsH_3) أثناء الترسيب . ويجب استكمال النمو المتراص السابق لكل سطح الرقاقة قبل ترسيب أي أغشية مستديمة والتي تتم في مرحلة لاحقة

1. النمو الفوقي بالطور البخاري VAPOR-PHASE EPITAXY/ (VPE)

في عملية النمو الفوقي تقوم أرضية الشريحة مقام البذرة البلورية . ومن بين العديد من عمليات النمو الفوقي يعد النمو الفوقي بالطور البخاري ذات أهمية كبرى. ولكن هناك عمليات أخرى للنمو الفوقي ، منها النمو الفوقي بالحزمة الجزيئية بإمكانها توفير فوائد معينة لا يمكن الحصول عليها من الـ VPE . هناك ثلاثة أنواع من حاملات الشرائح المستخدمة في النمو الفوقي، لاحظ إن الشكل الهندسي للحامل يعطي اسم الفاعل . فهناك حاملات أفقية، مستديرة pancake واسطوانية barrel وكلها مصنوعة من مادة الجرافيت . وتستخدم هذه الحاملات مصدرا للطاقة الحرارية للتفاعل في مفاعلات التسخين الكهربائي فضلا عن حملها وتثبيتها للشرائح . إن الرابع كلوريد السيليكون $SiC1_4$ الحظ الأوفر من الدراسة والاستخدامات الصناعية الواسعة علما بأن درجة حرارة تفاعله $1200C^0$.

2. النمو الفوقي بالطور السائل LIQUID-PHASE EPITAXY

النمو الفوقي بالطور السائل (LPE) عبارة عن أنماء طبقات فوقية على أرضيات بلورية بواسطة الترسيب المباشر من الطور السائل . وهذه الطريقة تعد مفيدة عمليا لإنماء ارسنيد الجاليوم والمركبات ذات العلاقة من المجموعة . III-V إن النمو الفوقي بالطور السائل يصلح لإنماء طبقات فوقية رقيقة (اصغر أو يساوي 0.2μ) لأن لها معدل نمو بطيء وتعد أيضا مفيدة لإنماء تراكيب متعددة الطبقات والتي تكون فيها السيطرة الدقيقة على التطعيم والتركيب أمر مطلوب . في عملية النمو الفوقي بالطور السائل يكون من الضروري إذابة المادة المراد إنماءها (مثل GaAs) في مذيب وان المحلول يجب أن يصهر في درجة حرارة اقل بكثير من درجة انصهار أرضية شبه الموصل

3. النمو الفوقي بالحزمة الجزيئية Molecular-beam epitax

النمو الفوقي بالحزمة الجزئية (MBE) هي عبارة عن عملية نمو فوقي تتضمن التفاعل لواحدة أو أكثر من الحزم الحرارية الذرية أو الجزئية مع السطح البلوري وتحت ظروف فراغية عالية جدا ($\approx 10^{-10}$ torr) إن عملية MBE تستطيع إن تنجز سيطرة دقيقة في كل التراكيب الكيماوية وأشكال التطعيم ، وباستخدام MBE يمكن عمل تراكيب ذات طبقات متعددة أحادية البلورة وبأبعاد مقاربة للطبقات الذرية . ولما كانت عملية MBE تستخدم طريقة التبخير فإننا سوف نأخذ بعين الاعتبار النظرية الحركية الأساسية للغازات في النظام الفراغي.

دور الهيدروجين Role of hydrogen

الميزة المهمة لترسيب a-Si هو احتواء البلازما على أجزاء من هيدروجين والسيليكون وكذلك أيونات H^+ ، التي قد تؤثر على الخواص الهيكلية والإلكترونية للمادة المترسبة. وجود الهيدروجين يعمل على إشباع الروابط المتدلية على السطوح الفاصلة للفراغات الدقيقة ، وعلى إزالة عيب نقطي في شبيكة بناء الغشاء .

فمن الدراسة الطيفية يتضح أن التركيب يحتوي على هيدروجين على شكل مجموعات SiH ، SiH_2 ، SiH_3 وتقدر نسبة الهيدروجين بين 35-52% لعينات و 1425 % لعينات $300K^0$ و 14-25 % لعينات $520K^0$. يمكن ملاحظة كذلك أن الموصلية الضوئية لـ a-Siتزداد بشده مع زيادة مقدار الهيدروجين ، هذه الزيادة الأولية يعتقد بأنها كانت بسبب إشباع الروابط المتدلية. إذن الموصلية الضوئية تنخفض بسرعة للعينات التي تحتوى على تركيز H_2 أعلي.. الملاحظة الأخيرة تم تفسيرها بسبب زيادة كثافة الحالات حول الفجوة Ec . تركيز الهيدروجين لأغشية a-Si:H تعتمد على ظروف ترسيبها (درجة حرارة الركيزة ، نوع التفريغ ، ضغط SiH ، ومعدل تدفق SiH4) .

هدرجة a-Si يظهر ليكون سبيكة أكثر شبها بالزجاج ، وخليه شمسيه من a-Si:H مع خصائص جيده قد نحصل عليها مع تركيز-10 15 H_2 ، درجة حرارة ركيزة الترسيب في المدى200-400 درجة مئوية. عند درجة الحرارة هذه، يميل الغشاء الي احتواء مجموعة dihydrade و trihydrid ، التي تعمل كمراكز إتحاد (الإلكترون والفجوة). الهيدروجين في درجة أعلي من 200 درجة مئوية يميل الي وجوده فقط في شكل monohydride (H group –Si) . الدراسات التي تستعمل استطارة الإلكترونات علي أغشية a-Si المرسبة بطريقة التبخير. في هذه الحالة ومن المحتمل ان الهيدروجين يرتبط علي شكل تعويض فرغات دقيقة مثل الفرغات الأحادية تحتوي علي أربع ذرات هيدروجين او فرغات ثنائية تحتوي ست ذرات هيدروجين. هذه الفرغات الدقيقة لا تعطي استعمال للحالات المتمركزة في الفجوة وتركيزها يعتمد علي شروط الترسيب. عندما تسخن أغشية a-Si:H الي درجة حرارة من درجة حرارة الترسيب يبدا غاز الهيدروجين بالخروج من المادة، وتزداد كثافة الروابط المتدلية. هذه الالية يمكن أن تحدد فترة عمر استدام خلايا a-Si:H الشمسية بالاضافة الي عوامل الاخلال الاخري

الموصلية الضوئية والخواص البصرية

معاملات الامتصاص البصرية لـ a-Si:H تزداد عندما تزيد درجة الحرارة الركيزة. المطلوب الأساسي هو أن يكون سمك الغشاء أكبر من مقلوب معامل الامتصاص للأطوال الموجيه للطيف بحيث يمكن أن يمتص معظم الضوء ، وثانياً أن طول الانتشار يكون أكبر من سمك الفلم بحيث يمكن أن تجمع معظم النواقل المتولدة بالضوء. ويسبب معامل الامتصاص العالي لـ a-Si:H في المدي المرئي للطيف الشمسي ، فإن طبقة من a-Si:H سمكها 1μm كافية لامتصاص 90% من طاقة الاشعاع المستخدم. تغير فجوة الحزمة البصرية E_{opt} مع درجة حرارة الركيزة موضح في الشكل (1). الزيادة في E_{opt} مع نقصان درجة حرارة الركيزة بسبب الهيدروجين المتزايد في الغشاء. أوضحت دراسات الإلكترون الضوئي المنبعث أن إضافة H_2 الي تركيبة a-Si تجعل الحد الأعلي لـ E_c يتحرك الي أسفل، ولهذا السبب E_{opt} تزداد، وكذلك كثافة تيار الدائرة القصيرة (J_{sc}) لغشاء a-Si:H المرسب عند $320C^0$ تقريباً، وجد أن لها قيمة قصوي تقريباً.

20 mA/cm^2 . هذه القيمة القصوي لـ (J_{sc}) تعتمد علي مقدار الهيدروجين. حيث ذكر Staepler و Wronski بأن التغير العكسي الكبير في الموصلية يمكن أن يحدث في أغشية a-Si:H معتمد علي ماضيها الحراري وتعرضها للضوء، أي حالة يمكن الحصول عليها بتسخين a-Si:H الي $200C^0$ لنصف ساعة تقريباً. ويستمر تغير الموصلية تدريجياً حتي في ضوء الغرفة ، لكن تميل الي الاستقرار في حلة التعرض الي الضوء "light soaked" بعد تقريباً 4 ساعات من التعرض الي 100 MW/cm^2 من الضوء الابيض. إن تبعية درجة الحرارة للموصلية عند الظلام موضحة في الشكل (2) لغشاء a-Si:H في حالة التعرض للضوء "light soaked" . المقاومة النوعية عند الظلام لـ a-Si:H غير مطعم في حالة المحمص تتغير من $10^{11}\Omega cm$ عند درجة حرارة الركيزة $T_s = 100C^0$ الي $10^5\Omega cm$ عند درجة حرارة الركيزة تقريباً $550C^0$ والاغشية الغير مطعمه تصبح من نوع -n بقوة أسية عندما تزداد درجة الحرارة. تغير الموصلية كدالة لدرجة الحرارة تكتب بالشكل الأتي:-

$$\sigma\alpha\ (T) = \sigma o\ \exp(-Ea/KT) \quad ...(1)$$

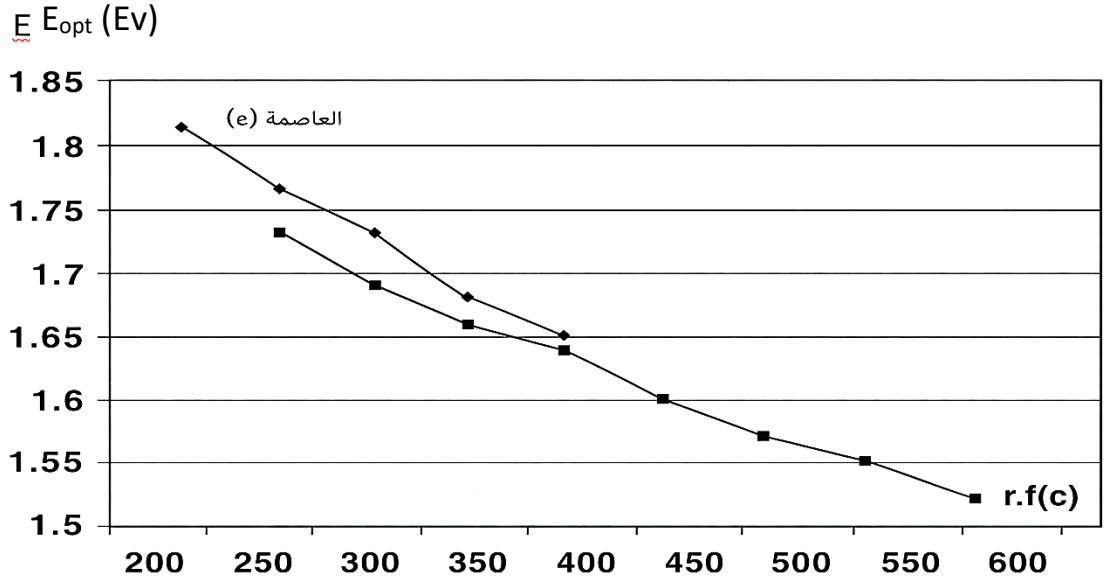
حيث تتفاوت قيم E_a من 0.2 eV ≈ الي 0.8 لـ a-Si:H غير مطعم ، σ_0 (prefactor conductivity) (T) درجة الحرارة المطلقة (K) ثابت بولتزمان. ومن ناحية موصلية الناقل الحر تكتب كالاتي:-

$$v = quen = quNc\ ex\ p\ E\text{-}E(T)\ KT \quad .....(2)$$

حيث حركية الحالة الممتدة extended state mobility . n كثافة الإلكترونات الحرة ، الكثافة الفعلية للحالات في الحزمة - ، و E) - T)موقع مستوى فيرمى مع تعلقه بحافة حزمة التوصيل. التوصيل في السيليكون اللابلوري المهدرج يصبح لا يتبع قانون اوم عندما يتجاوز المجال الكهربي≈ 10^4 V/cm

الجدول (2)
العلاقة بين فجوة الحزمة البصرية ودرجة حرارة الركيزة

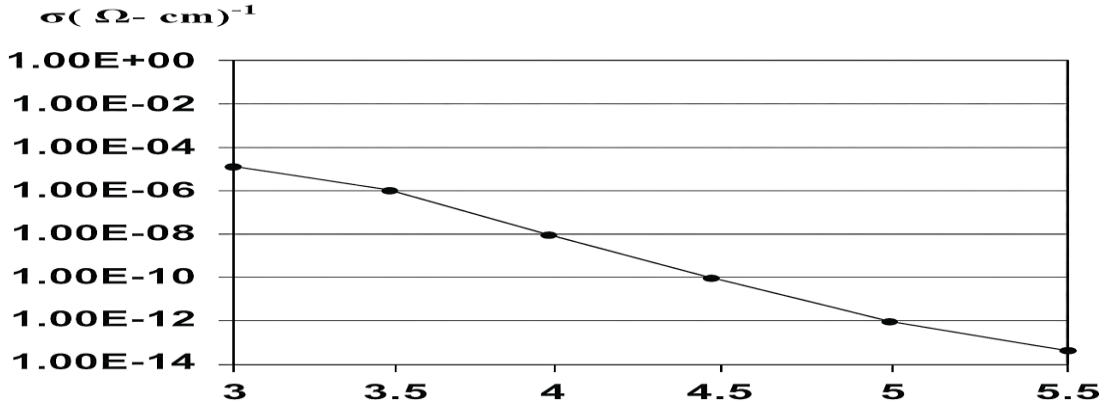
r.f (c)		dc (p)	
$T_s(C^0)$	Eopt(Ev)	$T_S(C^0)$	E_{opt}(Ev)
200		200	1.80
250	1.73	250	1.76
300	1.69	300	1.73
350	1.66	350	1.68
400	1.64	400	1.65
450	1.60	450	
500	1.57	500	
550	1.55	550	
600	1.52	600	



الشكل (1) العلاقة بين فجوة حزمة الطاقة ودرجة حرارة الركيزة لأغشية Si: H- المرسبة بالتفريغ المتوهج (السعوي r.f و حول (de

جدول (3)
الموصلية عند الظلام وعلاقتها بـ 1000/T

1000/T(K)	$\sigma(\Omega\text{-}cm)^{-1}$
3	3.5
5-10	6-10
4	4.5
8-10	10-10
5	5.5
12-10	14-10



شكل (2)
1000/T (K)
الموصلية عند الظلام لـ -Si: H كدالة لـ1000 / T

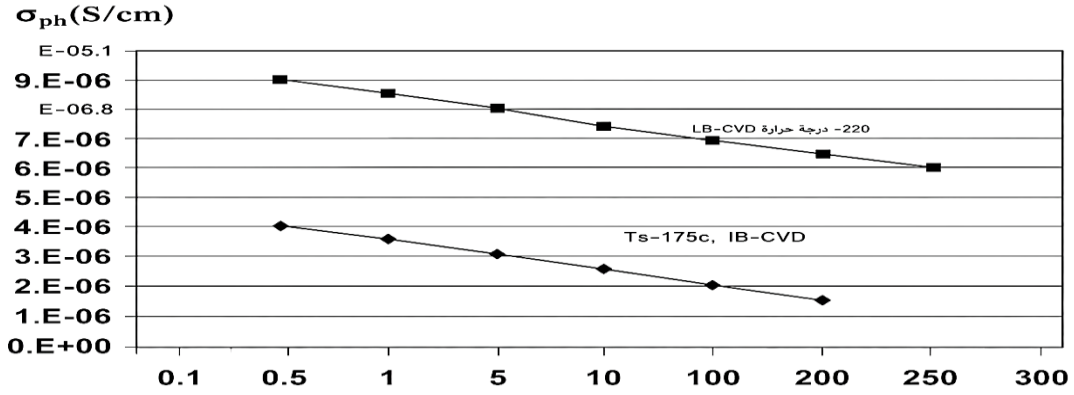
وصلة (pin) ونظام التركيب الطبقي The (pin) junction and tandem structure system

كفاءة الخلية الشمسية (pin) ذات طبقة ما -i– تبقي ثابتة حتي سمك للطبقة -i– قدره nm(600-200) . عند سمك اكبر ، تقل الكفاءة مع فترة الإضاءة الطويلة بسبب زيادة اكبر في المقاومة الداخلية. خلايا شبه الموصل اللا بلوري ذات الثبات الجيد يمكن الحصول عليها باستخدام تركيب طبقي من أشباه موصلات لابلورية مخلوطة وسيليكون دقيق التركيب البلوري ذو موصلية ظلام عالية (MC-Si) لتشكيل الوصلات الكهربائية ذات المقاومية المنخفضة في شكل hetro وصلة متعددة الطبقات مثل تشكيلة P-a-SiC:H / i-a-Si:H / n-MCSi . درجات الحرارة لها تأثير أيضاً علي أداء الأغشية الرقيقة ويجب أن تؤخذ في الاعتبار، حيث أن V_{OC} و F.F تنخفض مع زيادة درجة الحرارة، وبالتالي كفاءة تحويل الخلية الشمسية تنخفض . العديد من طرق الترسيب والتقنيات المختلفة قد أدت الي نتائج وتراكيب وخواص مختلفة للمواد. الشكل (3) يوضح التغير في الموصلية الضوئية الناتجة عن أغشية a-Si:H . وبشكل ملحوظ الغشاء الناتج من تقنية (IBD) له ثباتاً أفضل عند التعرض للضوء، بينما شكل (4) يوضح نتائج الأغشية المتحصل عليها بواسطة تقنية النفث r.f , معامل الامتصاص لأغشية a-Si:H عند تطبيق جهد متغير (a) هو نظير التفريغ المتوهج عند تغير كثافة التيار (b) . الشكل يوضح معامل الامتصاص للغشاء عند (a) تغير درجة الترسيب و (b) . الشكل (5) يوضح معامل الامتصاص للغشاء عند (a) تغير درجة حرارة الترسيب و (b) عند تغير الضغط الجزيئي للهيدروجين. عند استخدام نظام ترسيب بلازما r.f ، ثم تفحص الموضع النسبي للركيزة لبلازما التفريغ المتوهج بينما كثافة طاقة البلازما يمكن أيضا السيطرة عليها، وقد تم تفحص تأثير المسافة D بين موقع القطب الكهربي والركيزة لبعض القيم cm(3 , 7 , 10 , 12.5) وقدرة watt(10-70)r.f . وقد وجد أن معدل الترسيب يزداد بشكل طردي مع قدرة r.f ويصبح اصغر مع قيم (D) الكبيرة. بينما فجوة الحزمة تتأثر بعض الشيء. والشكل (6) يوضح كفاءة التحويل مقابل قددرة r.f لخلية a-Si:H الشمسية. وتم التغلب علي هذه المشكلة بحيث يمكن الحصول علي أغشية ثابتة وذات كفاءة جيدة باستخدام خلايا شمسية ذات التركيب الطبقي. هبوط كفاءة الخلية الشمسية يعتقد بأن سببها نقصان في كفاءة التجميع للحاملات المتولدة بالقرب من طبقة -n– للخلية ، بسبب ظروف ترسيب الوصلات. بينما اعتماد J_{sc} علي سمك -n– يكون صغيراً جداً، معامل الملئ (f.f) يزداد بنقصان سمك الطبقة -i– يمكن تحقيق كفاءة تحويل عالية بدمج طبقة -i– المحسنة غير المطعمة مع طبقة -p– بوجود حزمة عريضة وطبقة -n– منخفضة المقاومة، وهذا يعني استخدام خلايا شمسية ذات التركيب الطبقي ذات كفاءة تحويل عالية وخصائص ثبات جيدة. الشكل (7) يوضح العلاقة بين الكفاءة العيارية وبين زمن التعرض للضوء لـ مفرد a-Si ، وزوج a-Si وثلاث أزواج a-SiC / a-SiGe خلايا شمسية بكفاءة تحويل 10% . مؤخرا باستعمال تدرج تقنية الفجوة البصرية تم تصميم أمثل لحاملات الشحنة في الطبقة -n– لوصلة متعددة الفجوات والتي أدت الي كفاءة تحويل تقترب من 19% .

الجدول (4)

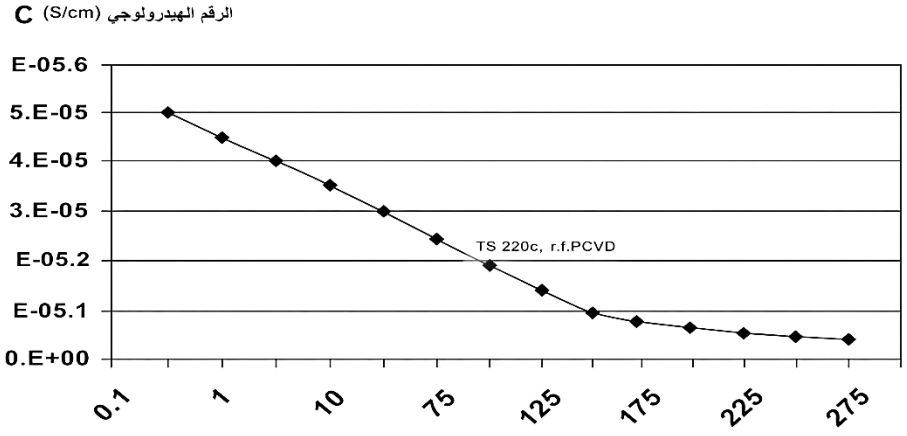
التغير في الموصلية الضوئية لأغشية a-Si: H نتيجة لتغيرا لطرق ودرجة حرارة الركيزة.

درجة الحرارة = 175 درجة مئوية		Ts=220 درجة مئوية			
(IB-CVD)		(IB-CVD)		(r.F. PCVD)	
σ_{ph}(S/cm)	زمن الإضاءة بالدقائق	σ_{ph}	الزمن	σ_{ph}	الزمن
106×4.0	0.5	6-10×9.0	0.5	5-10×5.0	0.5
6-10×3.5	1	6-10×8.5	1	5-10×4.5	1
6-10×3.0	5	6-10×8.0	5	5-10×4.0	5
106×2.5	10	6-10×7.5	10	5-10×3.5	10
6-10×2.0	100	6-10×7.0	100	5-10×3.0	50
6-10×1.5	200	6-10×6.5	200	5-10×2.5	75
		6-10×6.0	250	5-10×2.0	100
				5-10×1.5	125
				5-10×1.0	150
				6-10×9.0	175
				6-10×8.0	200
				6-10×7.0	225
				6-10×6.0	25



شكل (3)

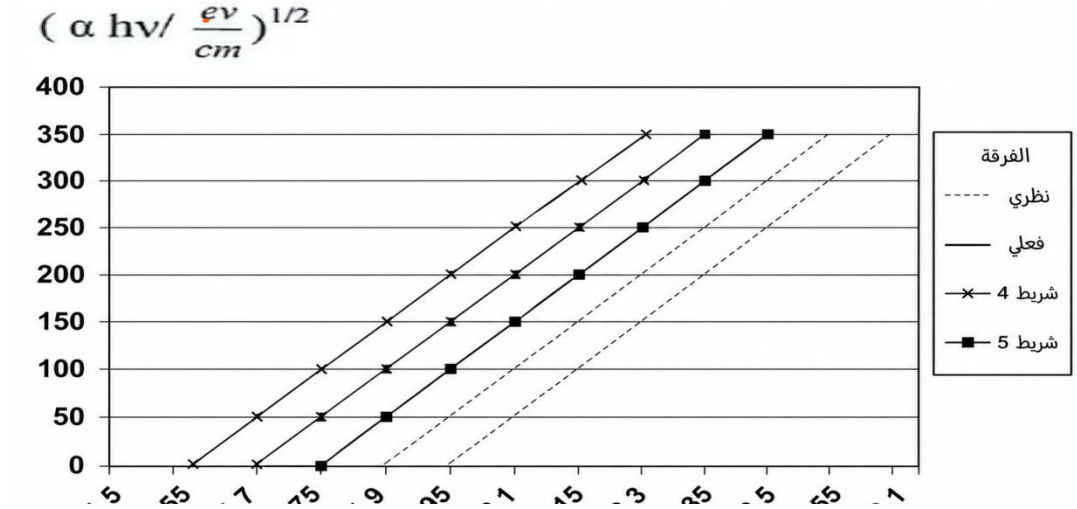
زمن الإضاءة بالدقائق

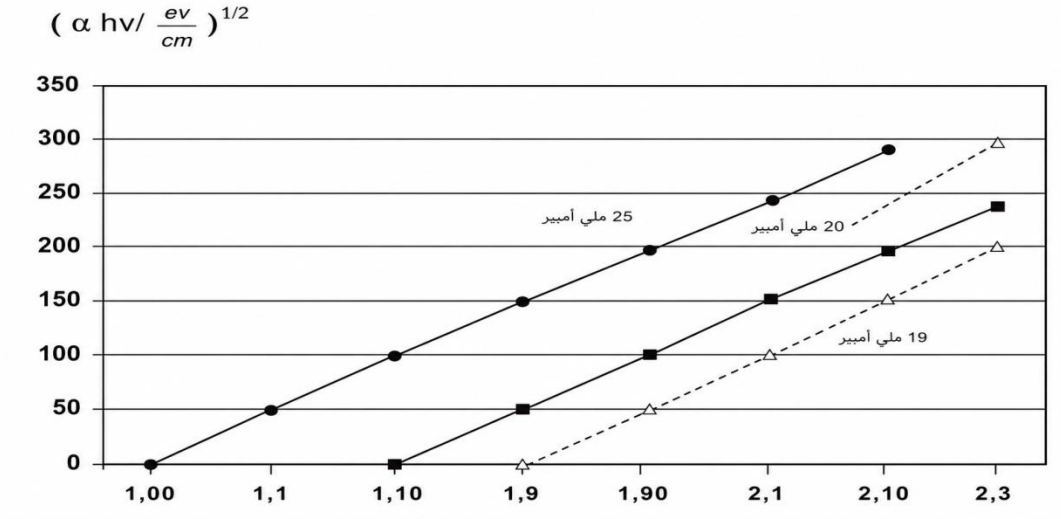


الشكل (3) . الموصلية الضوئية مقابل زمن الإضاءة لأغشية a-Si:H بطريقة IBD وPCVD
ANI,100Mw/cm^2 , 293K^0،

جدول (5) معامل الامتصاص العياري لأغشية لـ a-Si:H المحضرة بطريقة الأستطارة.

1.75 كيلوواط		1.5 كيلوواط		1.0 كيلوواط		0.75 كيلوواط		0.5	
Hv/ev	$\left(\alpha\, h\nu \frac{ev}{cm}\right)^{1/2}$	Hv/ev	$\left(\alpha\, h\nu \frac{ev}{cm}\right)^{1/2}$	Hv/ev	$^{1/}\left(\alpha\, h\nu \frac{ev}{cm}\right)^{1/2}$	Hv/ev	$\left(\alpha\, h\nu \frac{ev}{cm}\right)^{1/2}$	Hv/ev	$\left(\alpha\, h\nu$
1.55	0	1.70	0	1.75	0	1.90	0	1.95	
1.70	50	1.75	50	1.90	50	1.95	50	2.10	
1.75	100	1.90	100	1.95	100	2.10	100	2.15	1
1.90	150	1.95	150	2.10	150	2.15	150	2.30	1
1.95	200	200	2.10	2.15	200	2.30	200	2.35	2
2.10	250	2.15	250	2.30	250	2.35	250	2.50	2
2.15	300	2.30	300	2.35	300	2.50	300	2.55	3
2.30	350	2.35	350	2.50	350	2.55	350	3.10	3



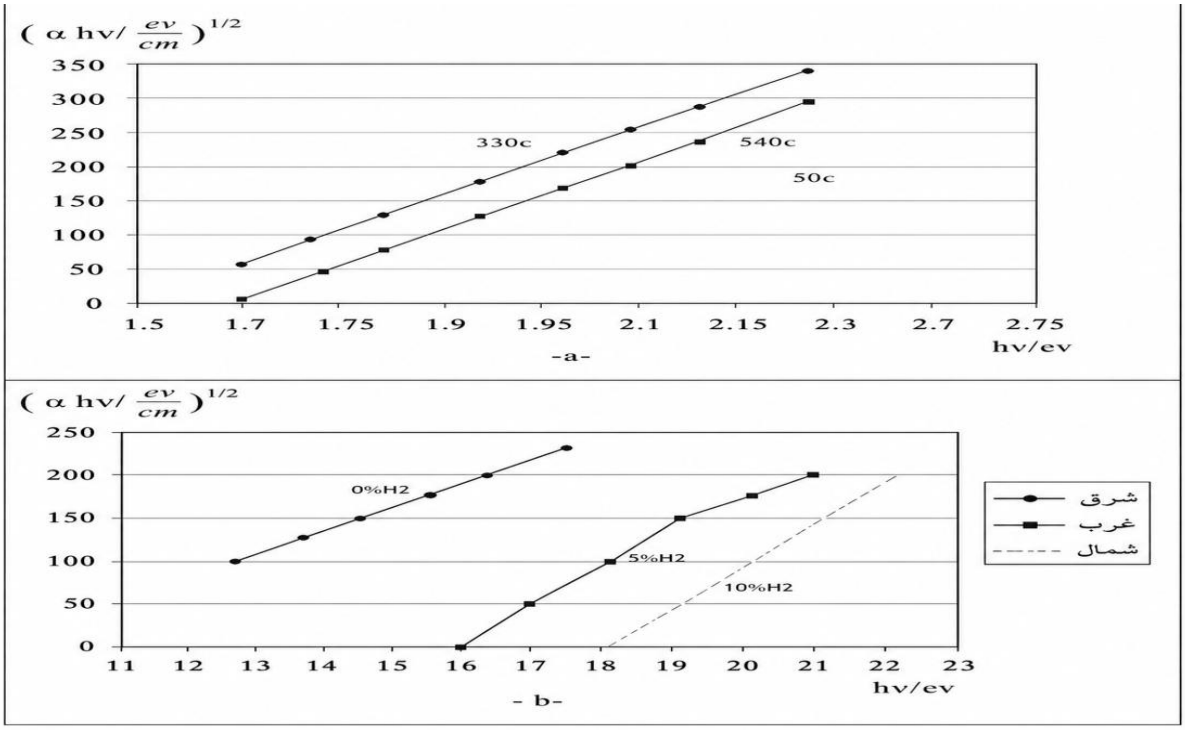


جدول (6) معامل الامتصاص العياري لأغشية a-Si:H المحضورة بطريقة النفث عند تغير درجة حرارة الركيزة

$330C^0$		$540C^0$		$50C^0$	
hv/ev	$\left(\alpha\, hv \frac{ev}{cm}\right)^{1/2}$	hv/ev	$\left(\alpha\, hv \frac{ev}{cm}\right)^{1/2}$	hv/ev	$\left(\alpha\, hv \frac{ev}{cm}\right)^{1/2}$
1.70	50	1.70	0	1.90	0
1.75	100	1.75	50	1.95	25
1.90	150	1.90	100	2.10	50
1.95	200	1.95	150	1.15	100
2.10	250	2.10	200	2.30	150
2.15	300	1.15	250	2.70	200
				2.75	250

جدول (7) معامل الامتصاص العياري لأغشية a-Si:H المحضرة بطريقة النفث عند تغير الضغط الجزئي للهيدروجين

$0\%H_2$		$3\%H_2$		$10\%H_2$	
hv/ev	$\left(\alpha\, hv \frac{ev}{cm}\right)^{1/2}$	hv/ev	$\left(\alpha\, hv \frac{ev}{cm}\right)^{1/2}$	hv/ev	$\left(\alpha\, hv \frac{ev}{cm}\right)^{1/2}$
13	100	16	0	18	0
14	125	17	50	19	50
15	150	18	100	20	100
16	175	19	150	21	150
17	200	20	175	22	200
18	225	21	200		



الشكل (5) معامل الامتصاص العياري a-Si:H المحضرة بالنفث عند a– تغير درجة حرارة الركيزة. b– عند تغير الضغط الجزئي للهيدروجين

الجدول (8) كفاءة التحويل مقابل قدرة r.F لخلية a-Si:H الشمسية.

الكفاءة(η)		معامل الملئ (FF)	
r.F (وات)	η %	r.F (وات)	FF%
20	4	20	0
25	5	25	2
30	6	30	3
35	7	35	4
40	8	40	5
45	9	45	6
50	9	50	6
55	8	55	5
60	7	60	4
65	6		

الجدول (9) الكفاءة العيارية مقابل زمن التعرض للضوء.

a-SiC / a-Si / a-SiGe		a-Si / a-Si		a-Si	
الزمن بالدقائق	الكفاءة العياريه	الزمن بالدقائق	الكفاءة العياريه	الزمن بالدقائق	الكفاءة العياريه
100	1	50	0.98	50	0.90
150	0.98	100	0.96	100	0.88
200	0.96	150	0.94	150	0.86
250	0.94	200	0.92	200	0.84
300	0.92	250	0.90	250	0.82
350	0.90	300	0.88	300	0.80
		350	0.86	350	0.78

دراسة الطبقة البينية للمعدن / السيليكون [نظامNi / Si]

طبيعة وخواص الطبقات البينية تعتمد علي تفاصيل وبيانات النمو وبارامترات طرق الأعداد. دراسة التركيب الكيميائي، والطبيعة الألكترونية لهذه الطبقات شهد مجهوداً كبيراً، والدافع وراء هذه الدراسة يكمن في أهمية التقنية لهذه الطبقات البينية. تقدم حقيقي في فهم هذه المواضيع بدأ في الظهور في الدراسات الحديثة التي نفذت تحت ظروف دقيقة مضبوطة القدرة علي اختيار متغيرات أساسية وتقنيات قادرة علي تزويدنا بمعلومات كيميائية مفصلة. الدراسة التي نفذت علي النظام، باستخدام مطياف اشعة أكس عالي الدقة، للمعرفة الدقيقة والتركيب الكيميائي الموضعي. التجارب التي ذكرت هنا تختبر الطبقة البينية للمعدن / السيليكون من خلال التحليلات المفصلة لعينات جهزت بواسطة UHV لترسيب طبقات معدنية رقيقة علي ركائز السيليكون النظيف. هناك ثلاث تفرعات اساسية تطرح هذا الموضوع.

1. هذه الدراسة تؤكد حركية التفاعل وتعطي رؤية دقيقة في العمليات علي تركيب الطبقة البينية للنظام.
2. النظام المعطي وشروط الترسيب المعملية، وفي آن واحد نتقصي عن المستويات الداخلية المناسبة وطيف حزمة التكافؤ كدالة للطبقة المعدنية.
3. ترسيب مقادير مناسبة من المعدن، ودرجة حرارة العينة زادت من إمكانية التطور الشكلي للسيليكون.

التجربة العملية EXPERIMENTAL

الركائز المستخدمة في كل التجارب بلوره من Si<100> أحاديه نوع n مقاومتها النوعية (1-10)Ωcm. ركيزة Si نظفت في جو منN_2 ، تدوير العينة 3600rpm وإضافة قطرات من الأثنول 200µL بتركيز HF 10:1 ،متبوعة بـ 500µL اثنول نقى. هذه الطريقة تعطى سيليكون خالي من التلوث ولم يلاحظ أكسيد Si إلا بمقادير ضئيلة. الركيزة المتأكسدة حراريا تم تنظيفها في وجود N_2 مع أثنول نقى مستخدمين نفس الخطوات السابقة. Ni رسبت عند ضغط torr 10^{-9}**x**(5-2) (ضغط أساسي 10^{-10}**x**5) . مستخدمين

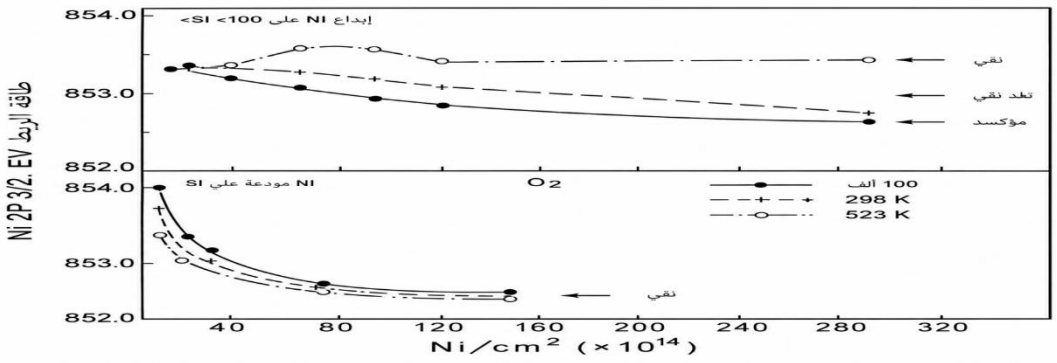
فتيله تنجستن للتسخين. ضبط درجة حرارة العينة عند درجة $300K^0$ ولاختبار تأثير درجة حرارة الركيزة ، بردت ركائز Si بعد ذلك إلى $100K^0$ قبل ترسيب المعدن . ثم سخنت إلى درجات الحرارة الموضحة من $100K^0$ فأكثر، الضغط أثناء التسخين كان في حدود $2x10^{-9}$torr . بعد تحليل XPS ، حددت بنية السيليكات باستخدام النفث الخلفية لـ $H^4e+2.0Mev$ ، ترسبات Ni تم تحديدها أيضا بالاستطارة الخلفية لـ $^4He^+$ مستخدمين معيار قياسي مستقل . الغطاء المعدني سجل في كل منها ككثافات هوائية وطبقات أحاديه باستخدام سطح Si<100> وكثافة ذرية $6.8x10^{14}$ Si/cm^2 الكثافة الهوائية هي اللفظة الأكثر مناسبة للاستخدام لأن تجمعات المعدن محتملة الحدوث.

ترسيب Ni على Si 100

من دراسات الانبعاث الضوئي لترسيب Si <100> وعند درجة حرارة الغرفة تبين أن الطبقة البينية للأغشية تتكون من طبقه انتقاليه متدرجة كيميائيا . هذه المنطقة المتفاعلة متدرجة في التركيب من سيليكات غنية بالسيليكون Si من جانب Si <100> للسطح الداخلي للطبقة البينية إلى سيليكات غنية بـ Ni على جانب المعدن . وهذا لا يعنى أنه يوجد مركب غير مترابط ، لكن يعنى حدوث التفاعل الذي نتج عنه ارتباط . Ni - Si الانبعاث الضوئي حساس كثافة الشحنة حول الذرة المعطاة ، ولذلك ، النواتج يجب أن تفسر دائما بدلالة الأوساط الكيميائية الموضعية وليس بدلالة تركيب شكل المركب . على الرغم من معرفة وجود تفاعل، بدلا من وجود سطح بيني مضطرب يكون مفيدا ، فإن الوصف النظري الدقيق لتكوين حاجز شوتكي سوف يتطلب فهم أكثر تفصيلا للأوساط الكيميائية المرئية بواسطة ذرات Ni و Si في المنطقة البينية المختلطة ، خاصة على جانب Si <100> وسوف ندرس هذه الأوساط المتطرفة للطبقة البينية من خلال الأخذ في الاعتبار تفاصيل تغير طاقات الربط الإلكتروني الناشئة من طيف انبعاث الضوء لأشعة اكس عالية الدقة.

تجمع حبيبات المعدن Metal aggregation

التكوين المبدئي للطبقة البينية بين المعدن / شبه الموصل تم دراسته بترسيب أقل من طبقه واحده حتى طبقات متعددة للمعدن على ركيزة شبه الموصل والمراقبة الطيفية للتفاعل. ولقد وجد أنه ، حتى في الغياب الكلى لأي تفاعل كيميائي لن يتوقع أحد أن المعدن المنتشر يعطي مميزات الربط الإلكتروني بطاقات المستويات الداخلية لأن الحد الأدنى لحجم العنقود (التجمع) قد يكون ضروري لإنشاء تأثيرات الاستقرار المناسبة اللازمة للشبيه . الملاحظة الظاهرية هو أن الإزاحة الكيميائية لأقل من طبقه أحاديه للمعدن نسبة إلى كتلة المعدن ربما تؤدى إلى استنتاج خاطئ بأن المعدن يمر بتفاعلات كيميائية كبيرة . للتفريق بين ظاهرة تجمع المعدن و التفاعلات المعدنية الحقيقية ، تم فحص استقلالية مستوى طاقة الربط (Ni_2P) عند درجة حرارة الركيزة للركائز المتفاعلة وغير المتفاعلة . طاقات ربط ($Ni_2P_{3/2}$) التي تم الحصول عليها عند درجات حرارة الركيزة K^0(523 ، 248 ، 100) كداله لغطاء Ni الموضح في الشكل (7) . بالنسبة للمنحنى السفلي ، ذرات Ni مترسبة على ركيزة Si مع ترسيب حراري لطبقه سمكها ~ $25A^0$ من SiO2 . طبقة SiO_2 بهذا السمك تعطى عازل لمنع تفاعل Ni مع Si وهذه الطبقة كافيه لعبور الإلكترون وبالتالي لا يلاحظ شحنه على العينة . معروف أن أغشية Ni على SiO_2 لن تتفاعل حتى في درجة حرارة كبيره بحدود $800C^0$.
أقل سمك ممكن من غطاء Ni تم فحصه في الشكل (8) هو 6×10^{14} Ni/cm تتطابق تقريباً طبقة ذرية واحدة (كثافة الذرات السطحية لـ Si <100> 6.8×10^{14}atoms/cm^2) . عند درجة حرارة الركيزة $100K^0$ ، طاقة الربط NiP لهذا الغطاء علي SiO_2 (853.99)Ev علي التوالي في أي غطاء Ni ، قد لوحظ نفس النمط وهو تناقص طاقة الربط مع تزايد درجة الحرارة. هذ النمط هو خاصية تجمع المعدن علي سطح الركيزة وعند درجات الحرارة المنخفضة للركيزة ، تبقي ذرات المعدن نسبياً متفرقة. وعندما تزداد درجة الحرارة وبالتالي زيادة حركية السطح، تبدأ ذرات Ni في الالتحام. وبزيادة تجمعات Ni علي سطح الركيزة، تبدأ صفاتها في الاقتراب من كتلة معدن Ni مع تناقص طاقة الربط. وعندما يصل غطاء Ni الي 7.0×10^{15} Ni/cm^2 ذرات Ni تكون قد التحمت بكفاية، بحيث أن طاقة الربط في الكتلة ثلاثية الأبعاد من معدن Ni تكون قد وصلت الي 852.5 eV . هذه الملاحظة حتى عشر طبقات أحاديه ولخلق طاقة ربط معدنية يجب أن نحدد حجم المتطلبات و مواصفات النمو أو التجمعات العدد الذي تم الحصول عليه هو من مواصفات خاصية النمو على SiO الحراري ، بينما سلوك الغطاء ودرجة الحرارة يجب أن يكون بصفه عامه .لاحظ المنحنى العلوي في الشكل (8) يوضح اعتماد Ni المترسب على Si <100> على درجة الحرارة. عند حدود طبقه أحاديه معدنية ، تم الحصول على طاقات ربط Ni2P عند درجة حرارة $100K^0$ ، 298 و 523 كلها تقع عند 853.4 . نقص الاعتماد على درجة الحرارة في هذا الغطاء والحقيقة بأنه عند التغطية الأكثر لـ Ni فإن طاقة الربط تزداد مع زيادة درجة الحرارة التي تشير إلى أن إزاحات مستوى الطاقة NizP بالفعل هو من طبيعة كيميائية وليس بسبب ظاهرة تجمعات المعدن.



الشكل (8) العلاقة بين طاقة ربط $Ni_2P3/2$ وغطاء Ni عند درجات حرارة الركيزة 100 ، 298 و 523 لـ Ni المرسب على Si<100>الشكل العلوي و Ni على $25A^0$ من SiO_2 الحراري (الشكل السفلي).

ذرات Ni البينية interstitial Ni :

حيث أن تجمع المعدن ليس مسئولا عن الإزاحات الكيميائية الملحوظة . يمكننا الآن أن نناقش

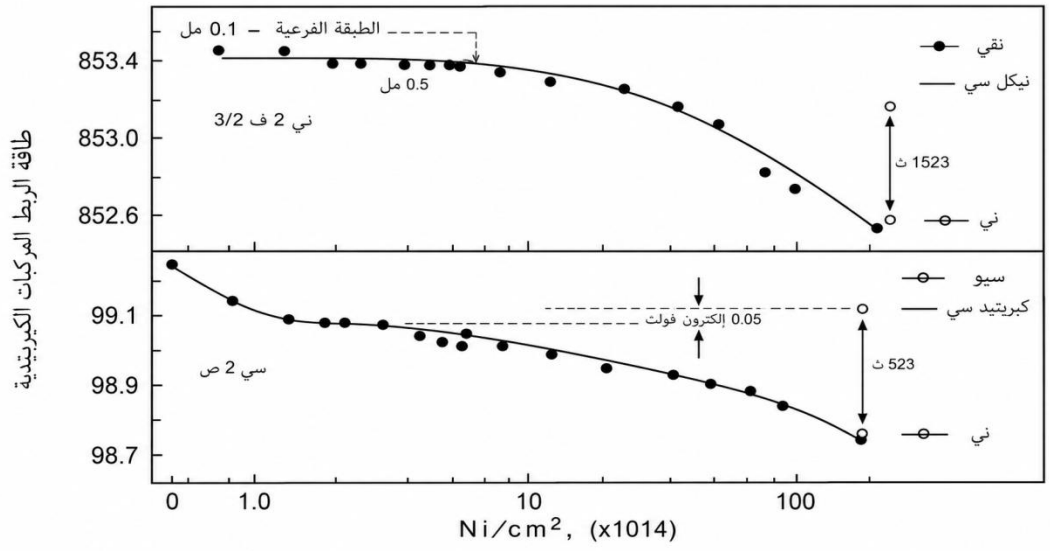
الموضع الطبيعي لذرات Ni المترسبة مبدئيا ، يوجد هناك احتمالان.

- ذرة Ni قد أصبحت متداخلة بداخل شبيكة Si

- ذرة Ni مرتبطة بسطح الركيزة

عرف من تجارب ماركر أن Ni هي الجسيمات المنتشرة في تكوين السيليكات. إذا كانت درجة حرارة الركيزة $1000K^0$ فذرة Ni تكون مرتبطة بسطح Si ، عندئذ يمكن أن نتوقع بأنها تنفذ داخل الشبيكة في درجات حراره أعلى. إذا لم يلاحظ النفوذ عند $298K^0$ ، عندئذ ، يوجد بالتأكيد عند $523K^0$ ، عند درجة الحرارة تلك من المعروف أن مركب Ni_2Si سوف يتكون بمجرد الدخول لفراغات بينيه لشبيكة الركيزة Ni سوف تتعرض إلى توجيه عالي الدرجة (حتى 10 ذرات سيليكون) أكثر مما يمكن ، إذا كانت مقيده فقط ، بسط .Si. وبالتالي نتوقع أن نرى اختلاف في طاقة الربط التي سوف تجعلها متميزة في الحالتين . عند تغطيه طبقه واحده ، لوحظ طاقة ربط واحده مشتركه لكل درجات الحرارة في المنحنى العلوي للشكل (8) بالطبع غير محتمل أن فرق الإزاحة الكيميائية بين التوجيه السطحي والداخلي قد يكون صغير جدا للاكتشاف لأن الفرق في طاقة الربط في حدود 0.5eV تم الحصول عليه لخط Ni_2P للمركب Ni_2Si . (حيث كل ذرة Ni مرتبطة مع 4 ذرات Si و 8 ذراتNi) . وبالمقارنة مع NiSi (كل ذرة Ni مرتبطة مع 6 ذرات Si و 4 ذرات Ni) لذلك نستنتج أن ذرة Ni قد وقعت في شبيكة Si حتى عند درجة $100K^0$ ، وعند التغطية المنخفضة يمكن أن نجد دعما أكثر لوجود Ni الداخلية ، الشكل (9) يوضح طاقات المستويات الداخلية لـ Si كدالة لتغطية Ni لركيزة Si المحفوظة عند درجة حراره $298K^0$. بعد أنشاء طبقه نقيه عليا من معدن Ni ، سخنت العينة في نفس الظروف للحصول علىNiSi . وبالنسبة لهذه الكتلة الداخلية للمركب NiSi ، طاقات Ni_2P بالنسبة لتغطية أقل من ≈ 0.3 طبقة أحادية تكون طاقة الربط 0.4eV وعندما تكون التغطية من (0.3-1) طبقة احادية فإن طاقة الربط 0.3eV . التطابق في طاقات الربط لـ Ni_2P عند سمك طبقة احادية (0.3-1) من Ni مع تلك لـ NiSi تقترح بأن المركب شبيه بـ NiSi قد تم تشكيله، لكن، وحيث أن كل ذرة Ni في NiSi محاطة بـ 6 ذرات Si و 4 ذرات Ni ، فإنه يبدو من عير المحتمل وجود توجيه محيط كامل لـ NiSi عند التغطية المنخفضة جداً (0.3 > طبقة احادية). في شبيكة Si<100> المثلي، فأن الامر سيتطلب 0.5 طبقة احادية من المعدن كافية لملئ كل فرغات Si البينية تحت سطح Si . في سطح Si<100> المعاد بناءه يوجد عدد من الجيوب بكثافة بين 0.1 و 0.5 طبقة احادية بالمقارنة مع عدد سطوح <100> الموجهة الي لبلورات FCC . لوحظ عدم الاستمرارية في طاقة الربط عندما تكون التغطية بين 0.2-0.3 طبقة احادية من Ni . ويمكن أن يتفق هذا بشكل جيد مع احتلال كل الفرغات السطحية المتاحة امام المعدن المرسب. الترسب المتوالي قد يؤدي الي رد فعل مضطرب للسطح واحتمال تكوين وسط مرتب شبيه بـ NiSi . في هذه النقطة الانتقالية، فإن الاضطراب في السطح قد يسمح بتطور تفاعل كبير بين ذرتي Ni-Ni . من المفيد ملاحظة أن ذرة Ni الداخلية قد ترتبط بـ 4 ذرات si موجهه رباعيا و6 ذرات موجهه ثمانية، في حين أن

NiSi كل ذرة Ni مرتبطة بشكل رباعي مع 4 ذرات Ni وبشكل ثماني مع 6 ذرات Si، وأن يكن مشوها. يمكن أن نقوم بملاحظة مهمة وذلك بمقارنة الشكلين (8) و(9) حيث رسمت طاقات الربط مقابل التغطية التي حصلنا عليها باستخدام ركيزة Si عند درجة K° 298 في الشكل (9). تم الحصول على طبقة عليا معدنية نقية عند تغطية قدرها $1.9X10^{16}cm^2$ Ni بالنسبة للتجارب الملخصة في الشكل (8) والتي فيها رسبت الأغشية الرقيقة عند $100K^0$ ومن ثم سخنت الي $298K^0$ ، فإنه على الأقل يتطلب 1.9×10^{16} Ni/cm^2 لإنشاء طبقه معدنية نقيه منNi . ولذا هذه التجارب الأخيرة (الترسيب عند درجة حراره منخفضة) تعطى طبقات بينيه متفاعلة بشكل موسع عندما نفحص العينات عند نفس درجة الحرارة النهائية. هذه الملاحظة توضح أن حرارة التكثيف وحدها لن تكون مهمة لحركية التفاعل بقدر ما يعتقد عموما.



الشكل(9) العلاقة بين طاقة ربطNizP3/2 (المنحنى العلوي) و SiP (المنحنى السفلي) وتغطية Ni لـ Ni المرسب على <100> Siفي درجة حرارة الغرفة

الأكسدة الحراريةTHERMAL OXIDATION

الطبقات العازلة مثل أكسيد السيليكون المترسب ونتريد السيليكون تستخدم للعزل بين الطبقات الموصلة . لأقنعة الانتشار والزرع الأيوني ولتغطية الأغشية المطعمة لمنع فقدان المطعمات ولحماية النبائط من الشوائب والرطوبة والتخديشات . من الممكن أكسدة أشباه الموصلات بطرق عديدة ومن هذه الطرق هي الأكسدة الحرارية والمعالجة الأنوديه الكهربائية وتفاعل البلازما. وتعد الأكسدة الحرارية ذات أهمية عظمى في تصنيع نبائط السيليكون وهي العملية الرئيسية في التقنية الحديثة للدوائر المتكاملة السيليكونيه التفاعلات الكيميائية الأتيه توصف الأكسدة الحرارية للسيليكون في الأكسجين أو بخار الماء..

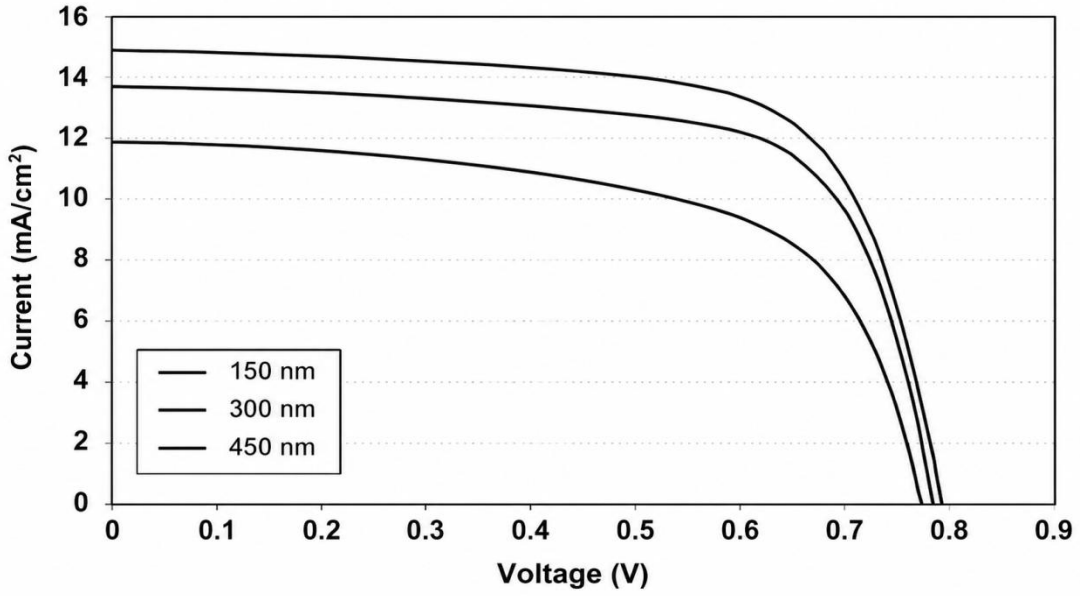
Si (صلب) + O2 (غاز) ⟶ SiO2 (صلب)

SiO2 (صلب) + 2H2 (غاز) ⟶ Si (صلب) + 2H2O (غاز)

إن تفاعل المواد المؤكسدة مع السيليكون يكون ثاني أكسيد السيليكون . فالسطح البيني لأكسيد السيليكون مع السيليكون يتحرك إلى داخل السيليكون أثناء عملية الأكسدة . وهذه تخلق منطقه سطحيه نقيه في حين نجد السطح الملوث للسيليكون الأصلي يبقى على سطح الأكسيد . سمك الأكسيد يتغير خطيا مع الزمن في أثناء المراحل الأولى من نمو الأكسيد والتي يكون عندها التفاعل السطحي هو العامل المؤثر في تحديد معدل النمو . وعندما تصبح طبقة الأكسيد أكثر سمكا فيجب على المادة المؤكسدة أن تنتشر من خلال طبقة الأكسيد لكي تتفاعل عند السطح البيني للسيليكون - ثاني أكسيد السيليكون وعندها يصبح التفاعل محددا بمعامل الانتشار . ويكون نمو الأكسيد بعدها متناسبا مع الجذر التربيعي لزمن الأكسدة والذي ينتج معدل نمو لا خطي . إن تغيرا ثابتا في معدل النمو الخطي مع درجة الحرارة لعمليتي الأكسدة الجافة والرطبة لشريحة سيليكونية ذات اتجاه بلوري (111) و (100) ويتغير ثابت معدل النمو الخطي تغيراً أسياً.

exp(- E_a / KT) مع درجة الحرارة حيث أن طاقة التنشيط E تساوي تقريبا 2eV لكلا عمليتي الأكسدة الجافة والرطبة. وتحت ظروف أكسدة معينه يعتمد ثابت معدل النمو الخطي على الاتجاه البلوري . أن تغيرا ثابتا في معدل النمو اللاخطي مع درجة الحرارة

والذي من الممكن اعتباره تغيرا أسيا$\exp(-E/KT)$. حيث ان طاقة التنشيط E_a تساوي 1.24eV للأكسدة الجافة و 0.71eV للأكسدة الرطبة . ان ثابت معدل النمو اللاخطي لا يعتمد على الاتجاه البلوري وهذا متوقع لكون هذا الثابت يعتمد على عملية انتشار المواد المؤكسدة داخل طبقة السيليكا اللابلورية . إن طبقة الأكسيد المنمى في الأكسجين الجاف تكون لها أفضل الخواص الكهربائية لكن الزمن اللازم لإنماء نفس السمك عند درجة حرارة معينة أطول مما عليه في حالة الأكسدة في بخار الماء . لذلك تستخدم طريقة الأكسدة الجافة لإنماء اكاسيد رقيقه مثل أكسيد البوابة في الترانزستور في حين تستخدم طريقة الأكسدة الرطبة لإنماء الأكاسيد السميكة مثل اكاسيد المجال في الدوائر المتكاملة. ان عملية الأكسدة في ضغط بخار عال يسرع من معدل النمو وذلك لأن ثابت معدل النمو اللاخطي يتناسب مع الضغط الجزئي للمواد المؤكسدة في الطور البخاري . إذ أن عملية الأكسدة في الضغط العالي من الممكن إجراؤها في درجات حرارة واطئة وتعطي معدلات نمو مقاربة لعملية الأكسدة في درجات حرارة عالية وضغط واحد جوي . وان هذه العملية ليس لها تأثير كبير على الشوائب المزروعة أو المنتشرة . وهذه المميزات ذات أهمية خاصة في صناعة النبائط ذات الأبعاد الصغيرة جدا . تغير سمك الأكسيد مع ضغط البخار عند درجتي حرارة ولمدة ساعة واحدة مبين في الشكل (10) ومن الممكن ملاحظة الزيادة في معدل الأكسدة نتيجة لزيادة الضغط .



النتائج والاستنتاجات

قد وجد أن تلك الأغشية مكونة من سبيكة - زجاجيه ، من السيليكون والهيدروجين وتعتمد مقاومتها النوعية على درجة حرارة الطبقة السفلية الحاملة للغشاء (الركيزة) .كما تحتوي الأغشية على كميات محسوسة من الهيدروجين المترابط أي الذي يعادل الروابط الكيميائية التي قد تصبح في ظروف أخرى روابط مدلاة أو متأرجحة وهكذا تقل نسبيا كثافة الحالات في فجوة الطاقة . ويعتمد تركيز الهيدروجين في (a-Si:H) على ظروف الترسيب ، كدرجة حرارة الركيزة ونوع التفريغ والقدرة المستهلكة في عملية التفريغ وضغط غاز SiH ومعدل انسيابه.

السيليكون الأمورفي (غير بلوري) والخلايا الشمسية **AMORPOHOUS**

تتأثر الخواص الفوتوفلتية للخلايا الشمسية المصنعة من السيليكون الأمورفي المهدرج بدرجة حرارة الطبقة التحتية (الركيزة) فإذا كانت عند أقل من 200 درجه مئوية أثناء عملية الترسيب ، فإن الخواص الفوتوفولتيه تسؤ بشكل حاد نظرا لزيادة كثافة العيوب التركيبية وكذلك الحال إذا ارتفعت درجة حرارة الركيزة فوق 400 درجه مئوية أثناء التجهيز ، وتصبح العيوب عبارة عن روابط كيميائيه متأرجحة ، تنشأ عن انتشار ذرات الهيدروجين وخروجها من الغشاء ، وهكذا نجد أن الخلايا ذات الكفاءة المثلى عند استعمال a-Si:H هي تلك التي تجهز عند درجات حرارة للركيزة تقع بين 200، 400 درجه مئوية . والخلاصة أن الخلايا الشمسية المجهزة من هذه المواد تعتمد على ركائز من زجاج أو صلب يجعل إنتاجها اقتصاديا للغاية ، مما يبشر بطاقة نظيفة ورخيصة ومستمدة من مصدر دائم هو الشمس.

اختبار الانحلال (الفقد) المستحث بالضوء :-

أداء الخلايا الشمسية نوع الوصلة المفردة :a-Si ينخفض خلال المرحلة الأولية للتشغيل بسبب الانحلال المستحث بالضوء (المعروف بتأثير Staebler-Wronski) هناك مقاييس مختلفة لإنجاز اختبار الانحلال المستحث بالضوء لتعريف الكفاءة الثابتة أو المستقرة . بناء على المعايير اليابانية فقد تم اختبار خلايا شمسية تحت شدة إضاءة مكافئه 1.5 شمس لمدة 310 ساعة وعند درجة حرارة $48C^0$ وكذلك بناء على المعايير الأمريكية تم اختبار خلايا شمسية تحت شدة إضاءة مكافئه 1 شمس من الضوء لمدة 600 ساعة عند درجة حرارة$50C^0$, وبالنسبة للقياسات الجارية لإظهار تأثير الانحلال المستحث بالضوء تضاء الخلية الشمسية لمدة 15 دقيقه باستخدام ضوء الليزر الأحمر المكافئ لـ 3 شموس (L = 670nm) عند درجة حرارة الغرفة . ويتم قياس كلا من الاستجابة الطيفية و IV قبل وبعد التعرض للضوء ومن ثم يتم تعيين الكفاءة المستحثة بالانحلال .

النتائج الاستنتاجات :-

الجدول (10) يعطي ملخص للبارامترات المتحصل عليها التي تصف أداء الخلايا المدروسة .

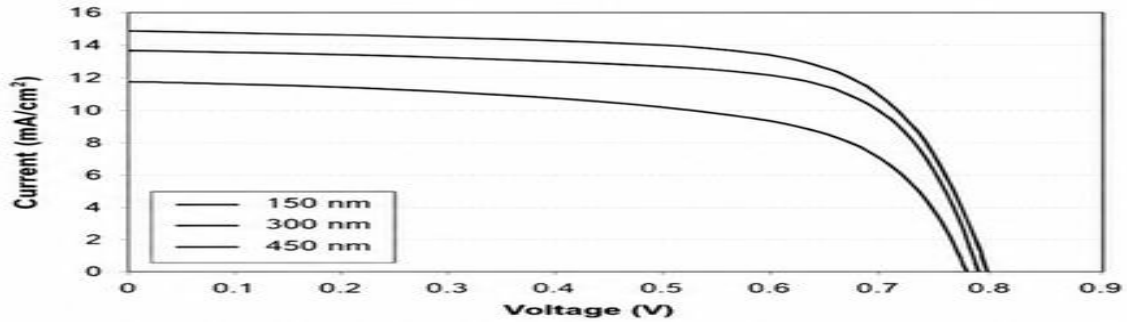
والأشكال من (1) إلى (4) توضح النتائج البيانية للقياسات المنجزة. ظروف الترسيب : درجة حرارة الركيزة ($\approx 180C^0$)، الضغط العملي 0.7mbar ، الضغط النهائي $<1\times10^{-7}$torr ، قدرة . ($\approx$ 4w) والتردد (13.56MHz) التقنية المستخدمة (PCVD).

الجدول (10) خلاصة نتائج قياسات أداء الخلايا

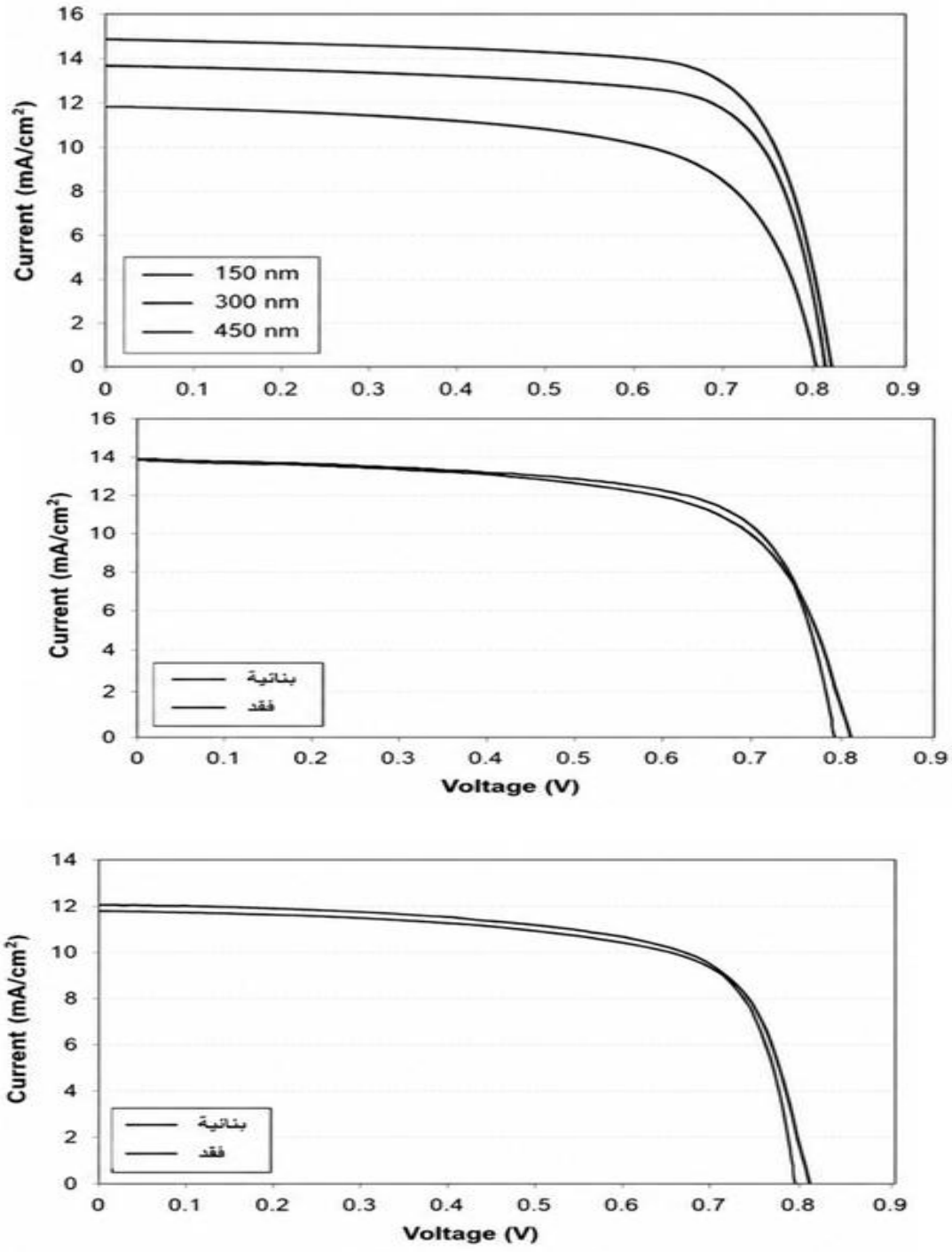
السمك (nm)	150		300		450	
مساحة الخلية cm^2	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
التعرض للضوء (min15) L = 670 nm	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد
قدرة الضوء (mw/cm^2)	100	100	100	100	100	100
Voc (V)	0.78	0.79	0.79	0.80	0.79	0.81
(Jsc(mA/cm^2	11.87	11.56	13.90	13.85	15.06	14.81
(Pm(mW/cm^2	5.61	5.56	7.50	7.13	8.29	7.82
FF	0.61	0.61	0.69	0.65	0.70	0.65
(%)Eff	5.61	5.56	7.50	7.13	8.29	7.82
(Rs($ohm.cm^2$	6.45	7.53	5.22	6.28	5.37	6.47
(Rp($ohm.cm^2$	457	457	576	533	833	792

حيث :-

V_{oc} : جهد الدائرة المفتوحة
Eff (%): النسبة المئوية لانخفاض الكفاءة
Jse : كثافة تيار الدائرة القصيرة
Rs : مقاوميه التوالي
Pm : أقصى قدره للخلية
Rp: مقاوميه التوازي



الشكل (1) **المنحنيات المميزة I-V لمرحلة الفقد للخلايا**



الاستنتاج :-

1- الطرق المختلفة للترسيب والتقنيات تؤدي إلى نتائج مختلفة في تركيب وخصائص الأغشية الرقيقة. طريقة CVD ميزت بتطعيم الغشاء في موقعه الأصلي أي أنها تقدم أفضليه لعمليات المعالجة عند درجات الحرارة المنخفضة .
2- تبين أن الخواص الكهربائية للسيليكون اللابلوري يمكن أن تحسن بشكل ملحوظ بدمج أو اتحاد الهيدروجين مع السيليكون . وان خواص أغشية a-Si:H تجعل لها إمكانية عالية للتطبيق في الأجهزة الإلكترونية وتحويل الطاقة الشمسية.
3- ان هذه الخواص تتأثر بشروط الترسيب مثل الطاقة ، الضغط الجزئي للغازات ، درجة حرارة الركيزة.
4- قد لوحظ أن المسافة بين الركيزة والكاثود أو الأنود لها تأثير كبير على الموصلية الضوئية والفجوة البصرية ، إن الموصلية الضوئية كبيرة في الأغشية المرسبة قريبا من الكاثود وتتناقص عندما تتحرك الركيزة نحو القطب الموجب عند ثبات بارا متر درجة الحرارة والطاقة.

5- أن اختلاف درجات حرارة الركيزة ، القدرة ، نسبة الغازات المتفاعلة ، وسمك الطبقة -j أعطت تنوع في الخواص للأغشية الرقيقة وبالتالي استخدامها الممكن في التطبيقات الفوتوفولتية.
6- إن عملية الأكسدة في ضغط بخار عالي يسرع من معدل النمو وذلك لأن ثابت معدل النمو اللاخطي يتناسب مع الطور البخاري . الضغط الجزئي للمواد المؤكسدة في الطور البخاري.

التوصيات :-

1 - نظراً لأهمية هذا الموضوع نوصي بالاستمرار في إجراء البحوث العلمية وتطبيقاتها .

2 - لقد أوضحت النتائج التي تحصلنا عليها ان الترسيب الكيميائي من البخار هو من أسهل الطرق لذلك نوصي باستخدامها في العديد من المجالات الصناعية.

3- استخدام نظم تفريغ وطرق ترسيب مختلفة للحصول على أغشية رقيقة ذات خصائص مميزة 4- دراسة الخواص الفيزيائية لبعض الأغشية ومنها الانعكاسية والنفاذية وكذلك الخواص الميكانيكية .

5- ترسيب بعض الأغشية المكونة من أشباه موصلات المركبات العضوية ودراسة خواصها الفيزيائية والميكانيكية وخصائصها الكهربية والبصرية .

6- دراسة تأثير السمك والتلدين على التركيب البلوري للعينات .

المراجع

1- ترجمة د. فهد غالب حياتي ، حسين علي احمد (نبائط اشباه الموصلات ، فيزياء وتقنية. مطابع دار الحكمة للطباعة والنشر 1995)
2- تأليف ، د. شريف احمد خيري ، د. حسن حسين حسن

اشباه الموصلات ، سلسلة الفكر العربي لمراجع العلوم الاساسية . دار الفكر العربي الطبعة الاولي 2002.

3- ALKLABI, F. A. A. (2025). Perovskite–Quantum Dot Structures in Solar Cells: Materials, Properties and Emerging Trends. *مجلة العلوم الشاملة*, *10*2109-2099 ,(ملحق 38).
4- Abuitayma, R. A. A. (2025). Analysis of Solar Energy Efficiency and its Applications in Sustainable Electricity Production. *مجلة العلوم الشاملة*, *10*1438-1432 ,(ملحق 38).
5- Lahewil, A. S., Laheew, A. S. Z., Alzarouq, D. S., & Ahmed, N. M. (2025). The Impact of Laser Irradiation Durations on Zinc Oxide Nanostructures' Crystallinity, Surface Morphology, and Electrical Properties in Palladium/Glass. *مجلة العلوم الشاملة*, *10*(37), 2738-2769.
6- Elhebshi, Y., & Alsuwaye, A. (2026). A reactive core-shell nanoparticles synthesis, properties and applications in rubber materials. *مجلة العلوم الشاملة*, *10*(39), 3041-3061.
7- Abofila, M. T. M. (2026). The Impact Of Sodium Fluoride On Biological Systems, Organs, Tissues, Cells and Sub-cellular Components: A Comprehensive Scientific Review. *مجلة العلوم الشاملة*, *10*(39), 853-877.
8- Hamakawa Y, Hattori Y. and Okomoto H.a-Si Solar Cell Contractor meeting. May (1990)
9- Furong Z. and Sing j. Solar Enegy Mat. And Solar Cell, (1993)
10- Das, S.R.J Thin Solid Films, (1994)