

تحليل المواد الإلكترونية بتقانة الحزمة الأيونية

توفيق الجدوعي و لنزي إريكر*

قسم الهندسة النووية، كلية الهندسة، جامعة الفاتح

مدرسة الفيزياء والفلك جامعة برمنجهام*

ABSTRACT

Ion beam analysis methods (Rutherford backscattering spectrometry, proton backscattering, resonant and non resonant nuclear reaction analysis and forward elastic recoil detection analysis) were used to determine the chemical composition of electronic material samples (porous silicon) with the aim of determining the effectiveness of some treatments applied on the samples. The chemical composition of heavy and light elements as a function of depth was determined in reference (as prepared) untreated samples and in samples treated using sputtering and chemical vapor infiltration and deposition. Chemical vapor infiltration and deposition was found to be more effective in reducing atmospheric ageing of samples.

الملخص

استخدمت الطرق المختلفة لتقانة التحليل بالحزمة الأيونية (طريقة إستطارة رادرفورد الخلفية لجسيمات ألفا، الاستطارة الخلفية للبروتونات، طريقة التحليل بالتفاعلات النووية الرنينية وغير الرنينية وطريقة الإرتداد الأمامي المرن) لتحديد التركيب الكيميائي لعينات من إحدى المواد الداخلة في الصناعات الإلكترونية (مادة السليكون المسامي) بهدف تحديد جدوى بعض المعالجات التي خضعت لها. وتم تحديد تركيز العناصر الخفيفة والثقيلة كدالة في العمق في عينات مرجعية غير معالجة وعينات تمت معالجتها بطريقة الرش وطريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية. وأثبتت النتائج جدوى الطريقة الثانية في الحد من ظاهرة التقادم الجوي التي تتعرض لها عينات هذه المادة.

الكلمات المفتاحية: تركيب كيميائي، حزمة أيونية، سيليكون مسامي

المقدمة

تستخدم الطرق المختلفة لتقانة الحزمة الأيونية (Ion Beam Analysis of Materials) بشكل كبير في تحديد التركيب الكيميائي للمواد الداخلة في الصناعات الإلكترونية، وتتميز بسهولة و مقدرتها على تحديد تركيز العناصر المختلفة في المواد كدالة في العمق إلى جانب كونها غير هدامة [1]. ومن بين الطرق المستخدمة استطارة رادرفورد الخلفية لجسيمات ألفا و التحليل بالتفاعلات النووية الرنينية وغير الرنينية والتحليل بالارتداد الأمامي المرن. ويتطلب

التحليل بهذه الطرق استخدام معجل (مسرّع) جسيمات لتعجيل الحزم الأيونية (ألفا، بروتونات ، ديوترونات) إلى طاقات معينة حسب الإحتياج. توضع العينات المراد تحليلها داخل غرفة مفرغة من الهواء والتي تكون جزءاً من خط التحليل كما يوضع كاشف إشعاع داخل الغرفة عند زاوية محددة بالنسبة للعمودي على العينة المراد تحليلها. وتعالج البيانات المتحصل عليها باستخدام برامج حاسوب خاصة تقوم بمحاكاة طريقة التحليل المستخدمة وحساب أطياف نظرية يتم مقارنتها مع تلك المتحصل عليها عملياً ويتم تعديلها تجريبياً للحصول على أفضل موافقة (best fit).

تعتمد طريقة الإستطارة الخلفية لجسيمات ألفا على توجيه حزمة من جسيمات ألفا بطاقة في حدود 2 مليون إلكترون فولت (م.إ.ف) على العينة المراد تحليلها ويتم إنتقاط جسيمات ألفا المستطارة خلفياً من العناصر المختلفة التي تحتوي عليها العينة بواسطة كاشف إشعاعي موضوع عند زاوية خلفية (170 - 150 درجة) بالنسبة للعمودي على سطح العينة. وحيث أن طاقة الجسيم المستطار خلفياً تختلف باختلاف الوزن الذري للعنصر المتفاعل معه فإن إشارات الإستطارة الخلفية الملتقطة تكون مختلفة وتكون عند طاقات أعلى وبتناج أعلى للجسيمات المستطارة من عناصر ثقيلة. و تستخدم هذه الطريقة بشكل رئيسي في تحليل العناصر الثقيلة خصوصاً في وجود عناصر خفيفة. و تعتبر طريقة الإستطارة الخلفية لجسيمات ألفا من أكثر الطرق إستخداماً في تحليل المواد شبه الموصلة، حيث أن السيليكون يعتبر عنصراً خفيفاً نسبياً و تكون بالتالي إشارة الإستطارة الخلفية الناتجة من العناصر الثقيلة المستخدمة في معالجة مثل هذه المواد واضحة ومفصلة عن الإشارة المتحصل عليها من السيليكون.

يكون تحديد محتوى العينات من العناصر الخفيفة مثل الأكسجين والنيتروجين والكربون مهما في معظم الحالات، ويتم في هذه الحالة استخدام طريقة التحليل بالتفاعلات النووية غير الرنينية التي تعتمد على توجيه حزمة من الجسيمات مثل الديوترونات على العينة المراد تحليلها. و يتم قياس نواتج التفاعل النووي باستخدام كاشف إشعاعي موضوع على زاوية خلفية بالنسبة للعمودي على سطح العينة. ويتم في العادة اختيار التفاعل المناسب للكشف عن العنصر المراد تحليله وغالباً ما تستخدم تفاعلات من النوع (d, p) بقيم موجبة للكمية Q وتكون طاقة نواتج التفاعل عالية. ولهذه الطريقة فاعلية أكبر في تحديد تركيز العناصر الخفيفة خصوصاً في وجود عناصر ثقيلة في العينة نظراً لصغر إمكانية حدوث مثل هذه التفاعلات مع العناصر الثقيلة عند الطاقات المستخدمة والتي غالباً ما تكون في حدود 1 مليون إلكترون فولت (م.إ.ف).

وحيث إن معظم المعالجات التي تخضع لها مثل هذه المواد تتسبب في وجود كميات من الهيدروجين فإنه يكون من الضروري تحديد كميات الهيدروجين وتستخدم طريقة الإرتداد الأمامي المرن لجسيمات ألفا في هذه الحالة. ونظراً لعدم إمكانية حدوث إستطارة خلفية لجسيمات ألفا من عناصر أقل وزناً منها مثل الهيدروجين ونظائره فإنه يستفاد من الإرتداد الأمامي المرن لهذه الجسيمات بعد اصطدامها بذرات الهيدروجين و يتم الكشف عنها بواسطة كاشف إشعاعي موضوع عند زاوية أمامية (في حدود 30 درجة) بالنسبة للعمودي على سطح العينة.

يستخدم في بعض الأحيان التحليل بالتفاعلات النووية الرنينية للكشف عن بعض العناصر مثل الأومونيوم والفلورين، ويتم في هذه الحالة اختيار التفاعل النووي الرنيني المناسب للكشف عن العنصر المناسب ويتم الكشف عن الإشعاعات المنبعثة من التفاعل كدالة في طاقة الجسيمات الساقطة على العينة والتي يتم تغييرها أثناء التجربة من قيم أقل إلى قيم أعلى من طاقة الرنين. تتمتع مادة السيليكون بمكانة مرموقة بين المواد شبه الموصلة ولها السبق على معظم المواد في تصنيع الأجهزة الإلكترونية الدقيقة. ويتم في الغالب بناء معظم الأجهزة الإلكترونية فوق رقائق السيليكون وعادة ما تكون على هيئة أفلام رقيقة (لا يزيد سمكها عن عدة مايكرومترات) خضعت لمعالجات عديدة. ولكن لم تحظى مادة السيليكون بنفس القدر من الأهمية في عملية تصنيع الأجهزة الإلكترونية الباعثة للضوء (Opto Electronic Devices) بسبب ضعف كفاءة الضوء المنبعث منها. لكن الاكتشاف الذي لاحظته الباحث الإنجليزي CANHAM [2] في عام 1990 والمتمثل في انبعاث الضوء من أحد أشكال السيليكون (السيليكون المسامي) وبكفاءة عالية عند درجة حرارة الغرفة بعث الأمل من جديد في إمكانية استخدام هذه المادة في تصنيع الأجهزة الإلكترونية الباعثة للضوء وسبب هذا الاكتشاف في أحداث اهتمام كبير بهذه المادة ونشر ما لا يقل عن 2500 ورقة بحثية حولها خلال العقد الماضي.

أكتشف السيليكون المسامي عام 1956 م بواسطة العالم Uhlir ، ويتم تحضير هذه المادة عن طريق المعالجة الإلكترونية كيميائية لرقاقة السيليكون. تتكون عينة السيليكون المسامي من طبقة مسامية (ذات أعماق و مساميات مختلفة) تحتوي على بلورات السيليكون المتبقية و مسام ذات جدر مهمةد بالهيدروجين (Pores with hydrogen passivated walls)، وتتميز الطبقة المسامية بمساحة سطحية نوعية عالية (200-900 $\frac{m^2}{سم^3}$) مما يجعلها فعّالة كيميائياً. أستخدم السيليكون المسامي في تقنيات العزل الكهربائي (dielectric isolation) للأجهزة المتكاملة [3] ، وفتح اكتشاف Canham المجال للسيليكون للدخول في صناعة الأجهزة الباعثة للضوء. إلا أن

التركيب الكيميائي لهذه المادة غير مستقر، إذ يبدأ في التغيير منذ اللحظة التي يتم فيها تعريض العينة للهواء نتيجة لامتزاج (Adsorption) ذرات الأكسجين و الكربون من الوسط المحيط وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة التقادم الجوي (Atmospheric aging). وأثبتت الدراسات التي أجريت على عينات السيليكون المسامي فور تحضيرها أنها تحتوي على سيليكون مغطى بطبقة من الهيدروفلورين (Fluorinated hydride surface) بالإضافة إلى كميات ضئيلة جداً من الأكسجين والكربون [3]، إلا أن التجارب التي أجريت على عينات عرضت للهواء لبضع ساعات بعد تحضيرها دلت على أن هذه المادة تعاني من تغيير حاد في تركيبها الكيميائي إذ لوحظ إزدياد كمية الأكسجين والكربون نتيجة للتلوث الهيدروكربوني (Hydrocarbon contamination) وكذلك نمو طبقة أكسيديه [4]. ولوحظ أن التغيرات الكيميائية ترافقها تغييرات في بعض الخواص الضوئية للوماض. لذا أولى الكثيرون اهتمامهم بتحسين خواص هذه المادة بشكل يعزز من انبعاث الضوء منها ويثبت تركيبها الكيميائية قصد الحصول على بنية مستقرة (Stabilized structure) يمكن الاعتماد عليها صناعياً. ومن بين طرق التثبيت التي سيتم عرضها في هذه الورقة طريقة تكسية السيليكون بالترشيح والتبخير للأبخرة الكيميائية [5] (Chemical vapor infiltration and deposition) وتهدف هذه الطريقة إلى توفير تماس معدني يؤدي إلى تحسين خواص الانتقال لنواقل الشحنة بالإضافة إلى حماية المادة وتمتين تركيبها الهشة وذلك بتغليف هيكل السيليكون المتبقي بغطاء معدني رقيق. أما الطريقة الثانية والمتمثلة في تغطية المادة بطبقة سطحية عازلة (Capping layer) فتهدف إلى عزل الطبقة المسامية عن تأثيرات الوسط المحيط وبالتالي وقف عملية امتزاز الشوائب. ولمعرفة مدى فاعلية أي طريقة من طرق التثبيت التي أجريت وستجرى على عينات هذه المادة فإن الأمر يحتاج إلى تحديد التركيب الكيميائي للعينات المعالجة بشكل دقيق قبل وبعد أي معالجة ومقارنتها بعينات أخرى مرجعية غير معالجة (As prepared samples).

سيتم في هذه الورقة عرض الكيفية التي تستخدم بها هذه الطرق في تحليل عينات السيليكون المسامي باعتبارها أحد المواد الإلكترونية، مع التركيز على استخداماتها في تحديد جدوى طرق التثبيت المختلفة في الحد من ظاهرة التقادم الجوي لهذه المادة.

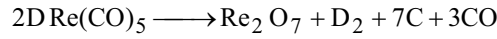
المواد والطرق

تم تحضير مجموعة من عينات السيليكون المسامي بأعماق ومساميات مختلفة عن طريق المعالجة الإلكترونية كيميائية لعدد من رقائق السيليكون من نوع n^+ , p^- وقسمت هذه العينات إلى ثلاثة مجموعات (عينات مرجعية غير معالجة، عينات عولجت بطريقة الترشيح وعينات عولجت

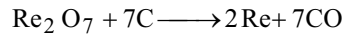
بطريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية) كما هو موضح بالجدول رقم 1. العينات غير المعالجة هي عينات لم تخضع لأي معالجة بعد عملية التحضير، بينما تم تكسية العينة رقم 4 بطبقة سطحية عازلة ونفاذة للضوء من أكسيد الانديوم والقصدير (Indium Tin Oxide) وهو عبارة عن خليط من أكسيد الانديوم وأكسيد القصدير - باستخدام طريقة الرش (Sputtering). وكسيت العينات 5 و 6 و 7 و 8 بطبقات من معدن الكوبالت والرينيوم باستخدام طريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية ومركبات كيميائية هي الكوبالت الكربوني المثري بالديوتيريوم (Deuterated cobalt carbonyl precursor) والرينيوم الكربوني المثري بالديوتيريوم (Deuterated Rhenium carbonyl precursor) [5] ويسمح لهذه المركبات بالترشيح داخل الطبقات المسامية للعينات عند درجة حرارة الغرفة، بعدها ترفع درجة حرارة العينة تدريجياً حتى تصل إلى 150 درجة مئوية وتحلل المركبات داخل المسام نتيجة لعملية التسخين لتعطي طبقات من ذرات الكوبالت أو الرينيوم وفقاً للمعادلات الآتية:



بينما يتحلل الرينيوم الكربوني حسب المعادلة الآتية:



والذي يؤدي إلى ترسيب معدن الرينيوم حسب المعادلة الآتية:



ويتم طرد نواتج الترسيب الغير مرغوب فيها (مثل الكربون و أكسيد الكربون) عن طريق عملية الضخ.

خضعت جميع العينات لمجموعة من التجارب باستخدام الطرق المختلفة لتقانة التحليل بالحزمة الأيونية باستخدام مسرع الدينامترون (Dynamitron accelerator) بجامعة برمنجهام و الطرق التي استخدمت هي: استطرارة راذرفورد الخلفية لجسيمات ألفا لتحديد تركيز الكوبالت والرينيوم داخل العينات المعالجة بطريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية، وكذلك تحديد سمك طبقة الانديوم والقصدير وكانت طاقة جسيمات ألفا 2 م.إ.ف. ووضع الكاشف في هذه الحالة عند زاوية خلفية مقدارها 150 درجة وكانت قيمة تيار الحزمة الأيونية (Beam current) 10 نانو أمبير .

وأستخدم التحليل بالتفاعلات النووية لتحديد كمية الأكسجين باستخدام التفاعل $^{16}\text{O}(\text{d},\text{p}_0)^{17}\text{O}$ والكربون باستخدام التفاعل $^{12}\text{C}(\text{d},\text{p}_0)^{13}\text{C}$ وكانت طاقة الديوترونات 1.1 م.إ.ف. وكان الكاشف عند زاوية خلفية مقدارها 150 درجة وتيار الحزمة 150 نانو أمبير ووضع شريحة من

الألومونيوم بسمك 12 ميكرومتر أمام الكاشف لإيقاف ديوترونات الاستطارة الخلفية (Back-scattered deuterons) أستخدم التحليل بالتفاعلات النووية الرنينية باستخدام التفاعل $^{19}\text{F}(p, \alpha\gamma)^{16}\text{O}$ عند طاقة رنينية قدرها 872 كيلو إلكترون فولت.

الجدول 1: قائمة بالعينات المستخدمة في الدراسة ومواصفاتها

رقم العينة	نوع رقاقة السيليكون	نوع المسام	سمك الطبقة المسامية ميكرومتر	المسامية %	نوع المعالجة
1	p ⁻	دقيقة	1	55	غير معالجة
2	n ⁺	متوسطة	4.5	65	مكسية بمعدن الرينيوم باستخدام طريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية
3	p ⁻	دقيقة	0.8	75	غير معالجة
4	p ⁻	دقيقة	0.8	75	مغطاة بطبقة من أكسيد الإنديوم والقصدير
5	n ⁺	متوسطة	4.5	55	مكسية بمعدن الكوبالت باستخدام طريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية
6	n ⁺	متوسطة	4.5	55	=
7	n ⁺	متوسطة	4.5	55	=
8	n ⁺	متوسطة	4.5	55	=

وأستخدم كاشف يوديد الصوديوم ((NaI(Tl)) للكشف عن أشعة جاما الناتجة عن هذا التفاعل. كما أستخدمت طريقة الارتداد الأمامي المرن باستخدام جسيمات ألفا بطاقة أولية قدرها 2.5 م.إ.ف. لتحديد كمية الهيدروجين والديوتيريوم و كانت زاوية سقوط الأيونات في هذه الحالة 75 درجة بالنسبة للمتعامد على السطح (Target normal) ووضع الكاشف عند زاوية أمامية قدرها 30 درجة ووضعته أمامه شريحة من الألومونيوم بسمك 12 ميكرومتر لإيقاف جسيمات ألفا المستطارة أمامها كما قللت زاوية قبول الكاشف (Acceptance angle) لبروتونات الارتداد الأمامي باستخدام شريحة معدنية سميكة ذات شق (Slits) بعرض 1 مم أمام الكاشف وكان مقدار تيار الحزمة 15 نانوأمبير. خضعت العينة رقم 2 للتحليل بطريقة الاستطارة الخلفية للبروتونات

باستخدام بروتونات ذات طاقة قدرها 2.5 م.إ.ف. وبنفس الظروف المعملية التي أجريت عندها تجارب استطرارة راذرفورد الخلفية لجسيمات ألفا. عولجت جميع البيانات باستخدام برنامجي حاسوب هما Sims [6] و Rfit [7] ، وتجدر الإشارة هنا إلى أن طرق التحليل السالفة الذكر قد أستخدمت بشكل تنامي (Complementary Methods) حتى يمكن الحصول على تركيز جميع العناصر في العينة، إذ أنه من غير الممكن عادة الحصول على تركيز أحد العناصر في عينة ما بمعزل عن تركيز العناصر الأخرى لأن تركيز جميع العناصر يؤثر في القيمة الكلية للقدرة الإيقافية (Stopping power) لذلك و عندما تستخدم أكثر من طريقة يجب اتباع أسلوب تكراري (Iterative approach) عند معالجة البيانات حتى يمكن الحصول على تركيز موحد يتطابق مع جميع الأطياف بشكل آني. كما تجدر الإشارة إلى أن الريبة (Uncertainty) معبراً عنها بالخطأ المعياري النسبي في النتائج المعروضة قد تم حسابها لنسبة تركيز كل عنصر إلى تركيز السيليكون ووجد أنها كالأتي: تركيز الكوبالت والرينيوم 7% ، الأكسجين 8% ، الكربون 10% والهيدروجين 8%.

النتائج والمناقشة

تحليل السيليكون المسامي بتقانة الحزمة الأيونية

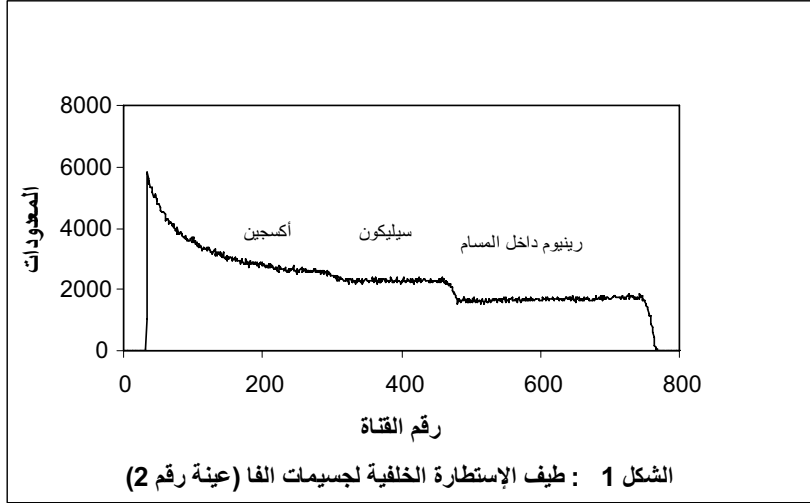
خضعت العينتان رقم 1 و2 للتحليل باستخدام الطرق المذكورة أعلاه لغرض معرفة تركيز العناصر فيها وتم أثناء إجراء التجارب مراقبة التغيرات التي حدثت لتراكيز بعض العناصر حيث لوحظت زيادة طفيفة في كميات الأكسجين والكربون ونقصان في كمية الهيدروجين و يتمشى هذا مع ما أشار إليه بعض الباحثين [8]. وتمت مراقبة المعدودات المتحصل عليها من كل عنصر على حده أثناء التجربة بأخذ قياسات متتالية وعلى فترات زمنية قصيرة، وتم أخذ هذه التغيرات في عين الاعتبار أثناء عملية معالجة البيانات. ويمكن أن يعبر عن النتائج المتحصل عليها على هيئة نسب ذرية، أي نسبة ذرات عنصر ما إلى نسبة عنصر آخر. وبالنسبة لدراسات السيليكون المسامي تعطى النتائج عادة في صورة نسب إلى تركيز السيليكون والذي يكون معروفاً قبل بداية التجربة من خلال قياس المسامية. يوضح الجدول 2 متوسط التركيب الكيميائي للعينتين، ويتضح من خلال النتائج المدونة في هذا الجدول أن العينة غير المعالجة (عينة رقم 1) قد احتوت على نسب أقل من الأكسجين والكربون مقارنة مع النسب التي احتوتها العينة المعالجة، وقد يكون هذا راجعاً إلى عدم التخلص بشكل جيد من نواتج التحلل غير المرغوب فيها أثناء عملية الترشيح والترسيب بالأبخرة الكيميائية، أما بالنسبة لكميات الأكسجين والكربون والتي لوحظت في العينة رقم 1 فهي نتيجة لعملية امتزاز العينة لهذه المواد من الوسط المحيط

بعد تحضيرها، وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه العينة قد حلت بعد مرور 6 أسابيع من تحضيرها - أي أنها تعرضت لظاهرة التقادم الجوي- وأن كميات الأكسجين والكربون وإن كانت أقل من تلك التي لوحظت في العينة المعالجة فإنها تعتبر كبيرة نسبياً مقارنة مع القيم التي لوحظت في عينات غير معالجة ومثابها لها حلت فور تحضيرها [8]. كما احتوت العينتان على كميات من الهيدروجين والفلورين ويلاحظ أن كمية هذان العنصران كانت أكبر في العينة غير المعالجة.

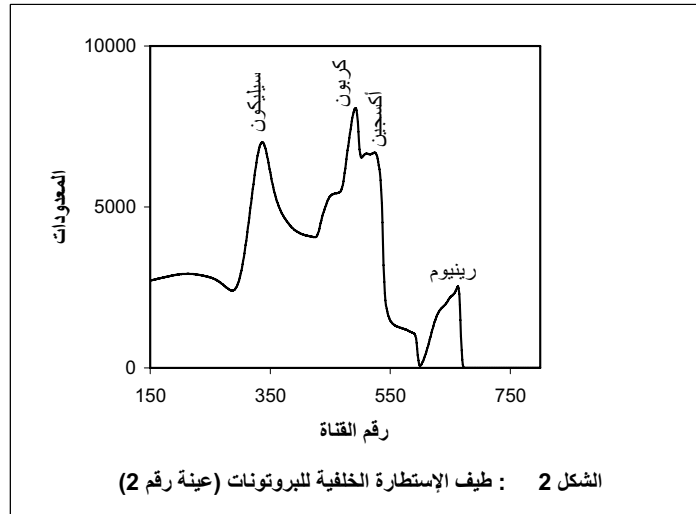
الجدول 2: متوسط التركيب الكيميائي للعينتين رقم 1 و 2

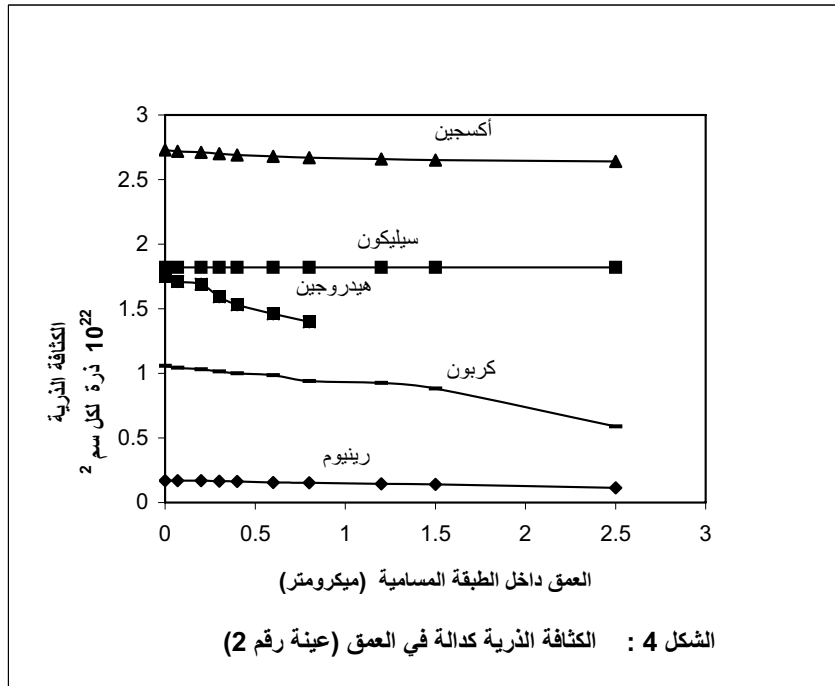
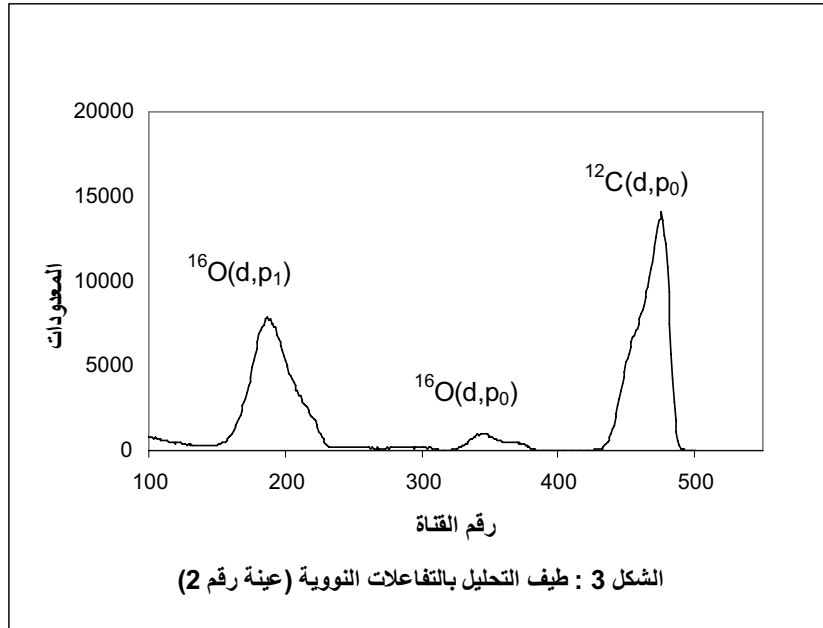
رقم العينة	Si	Re/Si	O/Si	C/Si	H/Si	F/Si
1	1	-	0.26	0.16	0.93	0.031
2	1	0.08	1.50	0.53	0.50	0.013

توضح الأشكال 1 و 2 و 3 أطياف استطرارة راذرفورد الخلفية لجسيمات ألفا و الاستطرارة الخلفية للبروتونات والتحليل بالتفاعلات النووية غير الرنينية على التوالي المتحصل عليها من العينة رقم 2 وهي عبارة عن عينة تمت معالجتها بطريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية لترسيب معدن الرينيوم داخل الطبقة المسامية. وكما هو موضح في الشكل 1 فإن طيف الاستطرارة الخلفية لجسيمات ألفا لم يدل على وجود طبقة سطحية (Capping layer) من معدن الرينيوم وأن كمية الرينيوم داخل الطبقة المسامية قد تناقصت بشكل بسيط جداً (التوزيع داخل المسام كان شبه متجانس) إلى حوالي عمق 2 ميكرومتر تقريباً، أصبح بعدها من المتعذر الحصول على أية معلومات عن توزيع الرينيوم داخل الجزء المتبقي من الطبقة المسامية، نظراً لوجود الإشارة الدالة على عنصر السيليكون على عمق 1.5 ميكرومتر. من هنا دعت الحاجة إلى تحليل العينة بطريقة الإستطرارة الخلفية للبروتونات والتي لديها المقدرة على إعطاء معلومات عن توزيع العناصر عند أعماق أكبر. ودلت المعلومات المستنبطة من الشكل 2 على أن معدن الرينيوم قد ترسب في الطبقة المسامية بأكملها وإن تركيز الرينيوم تناقص بشكل بسيط في الجزء العلوي من الطبقة المسامية (إلى عمق 2 ميكرومتر) وتناقص بعدها بشكل كبير. ويلاحظ أيضاً أنه نتيجة لضعف التمييز العمقي (Depth resolution) للبروتونات بالمقارنة مع جسيمات ألفا فإن التوزيع شبه المتجانس للرينيوم في الطبقة السطحية لم يكن واضحاً في طيف الاستطرارة الخلفية للبروتونات.



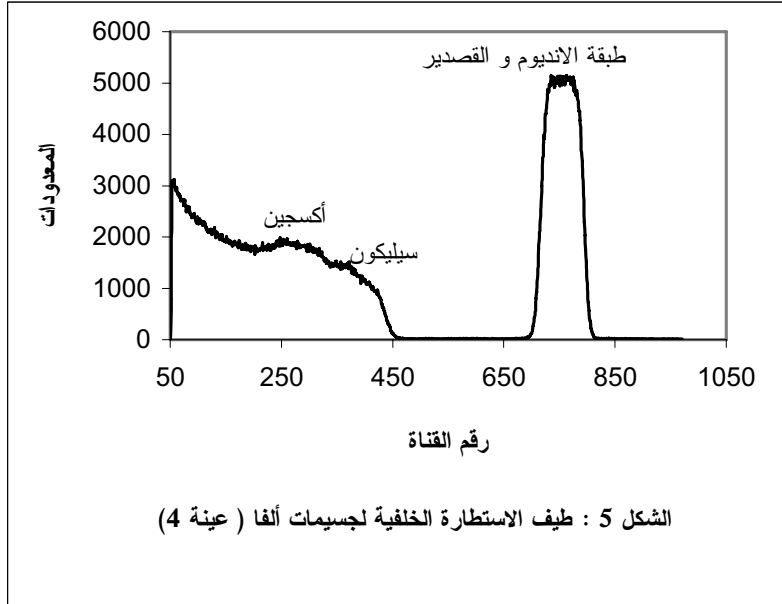
ومعرفة متوسط التركيب الكيميائي للعينة قد لا يكون كافياً في بعض الأحيان بل تكون هناك حاجة ملحة لمعرفة تركيز العناصر كدالة في العمق داخل العينة، فمثلاً لمراقبة عملية الترسية بالترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية يتطلب الأمر معرفة مدى إمكانية ترسيب ذرات المعادن داخل الطبقة المسامية بأكملها وهل كان التركيز متجانساً أم لا حتى يمكن تحديد الظروف التي تجرى تحتها عملية المعالجة للوصول إلى أفضل الشروط وأنسبها. ويعبر عن النتائج في مثل هذه الحالة بدلالة الكثافة الذرية ذرة/اسم³ كدالة في العمق (ميكرومتر) داخل العينة، كما هو موضح في الشكل 4.





تقليل حدة التقادم الجوي باستخدام طبقة واقية من أكسيد الانديوم والقصدير

حللت العينتان رقم 3 و 4 باستخدام تقانة الحزمة الأيونية ثلاثة مرات وعلى مدى 6 أشهر لدراسة مدى فاعلية طبقة أكسيد الانديوم والقصدير النفاذة للضوء في الحد من ظاهرة التقادم الجوي والتي تم تغطية السطح الخارجي للعيينة رقم 4 بها باستخدام طريقة الرش (Sputtering) بهدف الإقلال من أو منع عملية امتزاز الشوائب من الوسط المحيط واستخدمت العينة رقم 3 - عينة غير مغطاة - وهي متطابقة مع العينة رقم 4 من حيث المواصفات الأخرى - بغرض مقارنة سلوك العينتين وتم تحديد سمك طبقة أكسيد الانديوم والقصدير باستخدام الاستطارة الخلفية لجسيمات ألفا المنبعثة بطاقة قدرها 2.5 م.إ.ف. يوضح الشكل 5 طيف الاستطارة الخلفية لجسيمات ألفا، و يلاحظ من خلاله أن الإشارات المنبعثة من الانديوم والقصدير غير مميزة وهذا ناتج عن التمييز الكتلي المنخفض (Low mass resolution) لهذه الطريقة عندما تستخدم للكشف عن عناصر ثقيلة ومتقاربة (رقم الكتلة 115 للانديوم و 119 للقصدير) ويوضح الجدول رقم 3 متوسط تركيز عنصرى الأكسجين والكربون مقارنة مع تركيز السيليكون في العينتين.



يتضح من الجدول 3 أن كميات الأكسجين والكربون كانت دائماً أكبر في العينة غير المغطاة وبدل أيضاً على أن كمية الأكسجين قد إزدادت بنسبة ضعفين بينما إزدادت كمية الكربون بنسبة

أربعة أضعاف في العينتين خلال فترة 6 أشهر وهذا يدل على أن الطبقة الواقية وإن كانت قد قلت من عملية امتزاز الشوائب فإنها لم تكن فعّالة مقارنة مع النتائج التي تم الوصول إليها باستخدام طبقات واقية من الألومونيوم [10,9] وتجدر الإشارة هنا إلى أنه قد لوحظ وجود بقعة صفراء كبيرة في رقاقة السليكون التي أخذت منها العينات وقد تكون هذه البقعة مسارات إنتشار (Diffusion paths) للشوائب إلى داخل العينة نتيجة لعدم تكون الطبقة الواقية بالشكل الصحيح وربما يكون ذلك راجعا إلى صعوبة تكوين طبقة واقية على عينات ذات مسامية كبيرة. لذا ينصح بإجراء المزيد من التجارب على عينات ماثلة ومغطاة بهذه الطبقة الواقية للتأكد من مدى فاعلية هذه الطبقة الواقية والنفاذة للضوء في الحد من ظاهرة التقادم الجوي.

الجدول 3: متوسط تركيز الأكسجين والكربون في العينات رقم 3 و 4

عينة مغطاة (رقم 4)		عينة غير مغطاة (رقم 3)		زمن إجراء التجربة بعد عملية التحضير (أسبوع)
C/Si	O/Si	C/Si	O/Si	
0.05	420.	0.28	890.	6
0.08	0.53	0.46	1.39	9
0.16	0.77	1.08	1.73	32

تقليل التقادم الجوي باستخدام التكسية بطريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية
أجريت دراسة على مدى فاعلية طريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية في التقليل من عملية التقادم الجوي، حيث تمت معالجة مجموعة من العينات باستخدام هذه الطريقة ووضعت العينات في حاوية مملوءة بغاز النيتروجين (أي وسط تقل فيه نسبة الأكسجين بغرض التقليل من حدة إمتزاز الأكسجين) في الفترة التي سبقت عملية المعالجة وحللت العينات لغرض تحديد كمية الأكسجين والكربون مرتين : الأولى بعد عملية التكسية مباشرة والثانية بعد مرور سنتين من عملية التكسية و التعرض للهواء. يوضح الجدول 4 نسب الأكسجين والكربون إلى السليكون في العينات المعالجة بهذه الطريقة.

يتضح من خلال النتائج الموضحة في الجدول 4 أن نسب الأكسجين والكربون قد ازدادت بشكل ضئيل بعد مرور سنتين من عملية التخزين وهذا يدل على أنه بإمكان عملية التكسية هذه تثبيت السليكون المسامي والتقليل بشكل كبير من امتزاز الأكسجين والكربون من الوسط المحيط. وربما يرجع هذا إلى أن العينات قد تعرضت الى عملية الأكسدة أثناء المعالجة وتسبب ذلك في الحد من الفاعلية الكيميائية للطبقة المسامية. إلا أنه يؤخذ على هذه الطريقة أنها قد تسبب في

بعض الأحيان في إضافة كميات ليست بالقليلة من الأكسجين والكربون غير المرغوب فيها للعينات أثناء عملية الترسيب نتيجة لعدم التخلص بالشكل المطلوب من نواتج تحلل المولد الكربوني (Carbonyl precursor) [11].

الجدول 4: نسب الأكسجين والكربون إلى السيليكون في العينات المعالجة بطريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية.

رقم العينة	مباشرة بعد عملية التأكسدة		بعد مرور سنتين من عملية التأكسدة		سمك الطبقة السطحية الكاسية (نانومتر)
	C/Si	O/Si	C/Si	O/Si	
5	0.07	0.26	0.09	0.32	55 كوبالت
6	0.08	0.40	0.09	0.42	40 أكسيد الكوبالت و 63 كوبالت
7	0.04	0.35	0.05	0.37	330 كوبالت
8	0.11	0.23	0.12	0.24	50 كوبالت

الإستنتاجات

يمكن استخلاص النقاط الآتية من خلال النتائج المتحصل عليها:

- 1- يمكن استخدام الطرق المختلفة لتقانة التحليل بالحزمة الأيونية بشكل تنامي لتحليل عينات من مواد إلكترونية مثل السيليكون المسامي.
- 2- أثبتت عملية التغطية بطبقة واقية من أكسيد الإنديوم والقصدير أنها قادرة على الحد من امتزاز العينات للأكسجين والكربون من الهواء الجوي ولكن بفاعلية أقل من تلك المتحصل عليها باستخدام مواد أخرى.
- 3- أثبتت عملية التأكسدة بطريقة الترشيح والترسيب للأبخرة الكيميائية فعاليتها في الحد من ظاهرة التقادم الجوي إلا أن هذه الطريقة لازالت بحاجة إلى المزيد من التحسين والتطوير لضمان التخلص من نواتج تحلل المواد الكربونية بشكل يضمن عدم إضافة كميات غير مرغوب فيها من الأكسجين والكربون للعينات.

شكر وتقدير

يود الكاتبان أن يعبرا عن جزيل شكرهما للدكتور K Forcey للمساعدة التي قدمها أثناء إجراء التجارب وتفسير النتائج ، والى الدكتور A Loni و الدكتور L T Canham لقيامهما بتحضير

عينات السيليكون المسامي و معالجة احدى العينات بطريقة الرش و إلى البروفيسور B J Aylett و الدكتور I S Harding لقيامهما بمعالجة العينات بطريقة الترشيح والترسيب بالأبخرة الكيميائية.

المراجع

- 1- J. Tesmer and M. Nastasi (ed), 1995 ‘ Handbook of modern ion beam materials analysis’, MRS.
- 2- L T Canham, (1990), Silicon quantum wire fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers,; Appl. Phys. Lett., Vol:57:1046.
- 3- J C Vial, and J Derrien, (ed.)(1994): Porous Silicon Science and Technology, Proc. Int. Winter School on Luminescence of Porous Silicon and Silicon nanostructures (Les Houches 1994) Berlin: Springer.
- 4- LT Canham, M R Houlton, W Y Leong, C Pickering, and J M Keen, (1991), J. Appl. Phys. Vol 70:422.
- 5- B J Aylett, I S Harding, L G Earwaker, K S Forcey, and T Giaddui, (1996), Metallization of porous silicon by chemical vapour infiltration and deposition, , Thin Solid Films Vol 276:253.
- 6- J C B Simpson and L G Earwaker, (1986), Computer simulation programs for nuclear reaction analysis. Nucl. Inst. And Meth. In Phys. Res. Vol. B15:502.
- 7- T G Giaddui, (1998), Ion beam study of the metallization and stabilization of porous silicon. PhD Thesis, The University of Birmingham. .
- 8- A Loni, A J Simons, L T Canham, H Philips, and L G Earwaker, (1994), J. Appl. Phys. Vol 76:2825.
- 9- T Giaddui, K S Forcey, L G Earwaker, A Loni, L T Canham, and A Halimaoui, (1996), Reduction of ion beam induced and atmospheric ageing of porous silicon using Al and SiO₂ caps, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol 29:1580.
- 10- T Giaddui, K S Forcey, L G Earwaker, A Loni, and L T Canham, (1998), Improved capping layers for suppression of ambient aging in porous silicon, J. Phys. D:Appl. Phys, Vol 31:1131.
- 11- T Giaddui, L G Earwaker, K S Forcey, B J Aylet, and I S Harding, (1996), A study on the metallization and stabilization of porous silicon, Nucl. Inst. and Meth. In Phys. Res., Vol B133:201.