

Synthesis of pure Zinc Oxid (Semiconductor) and ZnO:Ga Nanostructure for Different Sensing Applications

تحضير أوكسيد الزنك (شبه الموصل) النقي والمشوب (ZnO:Ga) النانوي كمتحسس في تطبيقات مختلفة

. مروة عبد المحسن حسن^{1*}، اسماء هادي محمد¹، ايمان محي علوان¹، امانى عبد الله كميل¹، نزار خلف محان¹، وهب باسم مهدي¹، افراح كاظم شنتشل²

¹الجامعة المستنصرية، كلية العلوم، قسم الفيزياء، بغداد، العراق.

²وزارة التربية، الرصافة الثانية، ثانوية المتميزين، حي الادريسي، بغداد، العراق.

marwamedicalphysics@gmail.com

Abstract

The research involved the preparation of ZnO and ZnO:Ga by a simple chemical process and inexpensive materials, namely a hydrothermal method by adding 0.05M of zinc nitrate and 0.05M of hexamethylenetetramine (C₆H₁₂N₄) to the cell manufactured for this purpose. The cell is in a laboratory oven for eight hours at a constant temperature up to 150 °C. For preparing of zinc oxide impregnated with Ga, 4% gallium nitride Ga (NO₃)₃.xH₂O is added to the previous prepared solution under continuous stirring effect using a magnetic mixer. Several effects have been studied in the development of this hydrothermal method, which are precipitated on the zinc oxide layer as a pre-prepared seed layer by fast thermal oxidation of zinc metal 250 nm to achieve optimal conditions leading to the best results for applications. The work also included a study and analysis of the optical and synthetic properties of the prepared zinc oxide nanostructure. These prepared membranes have been used in the best conditions as a multi-application sensors: gas sensors where the ZnO:Ga deposited on the basis of quartz coated with antimony tin oxide as a gas sensor for very dangerous hydrogen gas. The effect of different concentration of gas on resistance of ZnO:Ga over time has been studied. We also studied and manufactured sensors that work as solar cells with high efficiency using Iraqi materials equipped with Al-Mansour State Company and simple conventional devices available in the local market. In this paper, a mechanical sensor is designed to monitor the salt content and improve the water quality. Receptors (where the cell is placed between two ends: the first end represents a piezo segment and the second end represents the ZnO:Ga precipitated on the

bases of quartz coated with antimony tin oxide). The range of operating frequencies used in this research ranges from 1500-20000 KHz. Tests in this research included recording the resonant frequency at the first rank of all prepared samples and calculating the damping factor as a function of time.

Keywords: Nanoparticle Oxide, Mechanical Sensor, Zinc Oxide: Gallium, Hydrogen Gas Sensor, Porous Silicon

الخلاصة

تضمن البحث تحضير أغشية أكسيد الخارصين النانوي النقي والمطعم بالغالسيوم (Ga) بواسطة عملية كيميائية بسيطة ومواد غير مكلفة هي عميلة الهأيدروثيرمل (hydrothermal) وذلك بإضافة 0.05M من نترات الزنك المائية و0.05M من hexamethylenetetramine ($C_6H_{12}N_4$) إلى الخلية المصنعة لهذا الغرض ومن ثم وضع الخلية في فرن مختبري لمدة ثمان ساعات عند درجة حرارة ثابتة تصل إلى $150\text{ }^\circ\text{C}$. ولتحضير أكسيد الخارصين المشوب بمادة Ga يتم إضافة 4% gallium nitride $Ga(NO_3)_3 \cdot xH_2O$ إلى المحلول المحضر السابق تحت تأثير التحريك المستمر باستخدام الخلاط المغناطيسي. لقد تم دراسة العديد من المؤثرات على أنماء هذه الأغشية ذات التركيب السداسي النانوي المحضر بطريقة الهأيدروثيرمل والمرسبة على طبقة أكسيد الخارصين كطبقة بذور النمو (seed layer) المحضر سلفاً بطريقة الأكسدة الحرارية السريعة لمعدن الخارصين بسلك 250 nm لغرض الحصول على الظروف المثلى المؤدية إلى أفضل النتائج لتطبيقات المتحسسات المختلفة. كما تضمن البحث دراسة وتحليل للخصائص البصرية، والتركيبية لأغشية أكسيد الخارصين النانوية المحضرة، وقد استخدمت هذه الأغشية المحضرة في أفضل الظروف كمتحسسات متعددة التطبيقات: متحسسات غازية؛ حيث تم استخدام أغشية أكسيد الخارصين المطعم بالغالسيوم والمرسبة على قواعد الكوارتز المطلية بمادة أكسيد القصدير المشوب بالانتيمون كمتحسس غازي لغاز الهيدروجين الخطير جداً؛ حيث تم دراسة تأثير اختلاف تركيز الغاز على مقاومة لغشاء أكسيد الخارصين المطعم بالغالسيوم مع مرور الزمن وقد أظهر الغشاء المحضر ذو التركيب السداسي النانوي تحسسية عالية للغاز وبدرجة حرارة الغرفة، ثم دراسة وتصنيع أيضاً متحسسات تعمل كخلايا شمسية ذات كفاءة عالية باستخدام مواد عراقية مجهزة من شركة المنصور العامة، وأجهزة تقليدية بسيطة متوفرة في السوق المحلية.

تمت عملية التصنيع من خلال إجراء عملية ترسيب لأوكسيد الخارصين المطعم بالغالسيوم على قواعد السيلكون المسامي. وفي هذا البحث تم تصميم متحسس ميكانيكي لغرض مراقبة نسبة الأملاح وتحسين جودة المياه، حيث يمكن الحصول على الإشارة الكهرواجهادية (الكهروضغطية) من خلال استخدام محول يقوم بنقل الموجات الميكانيكية في خلية تحتوي على (ماء+ملح بنسبة معينة)، وبالتالي: استلام أو التقاط الإشارة الناتجة عبر مستقبلات (حيث توضع الخلية بين طرفين؛ الطرف الأول: يمثل قطعة بيزو، والطرف الثاني: يمثل أكسيد الخارصين النانوي المطعم بالغالسيوم والمرسب على قواعد الكوارتز المطلية بمادة أكسيد القصدير المشوب بالانتيمون).

أما مدى ترددات التشغيل المستخدمة في هذا البحث فتتراوح بين (1500-20000 KHz)، وقد شملت الفحوصات في هذا البحث: تسجيل التردد الرنيني عند المرتبة الأولى لجميع العينات المحضرة، وحساب عامل التخميد كدالة للزمن.

الكلمات المفتاحية: أكسيد الخارصين النانوي، متحسس ميكانيكي، أكسيد الخارصين: الغاليوم، متحسس غاز الهيدروجين، السيلكون المسامي.

المقدمة

المتحسسات الغازية: استخدمت أكاسيد أشباه الموصلات للكشف عن تراكيز قليلة للغازات الخطيرة الموجودة في الهواء الجوي، حيث تعتمد ميكانيكية الكشف على عملية امتصاص الغازات على سطح أكسيد شبه الموصل النانوي والمعتمدة على وجود العيوب الحجمية، وعلى التركيب البلوري للغشاء حيث تظهر ذرات الأوكسجين على شكل أيونات O^{-2} على سطح الغشاء التي تعمل على تكوين طبقة استنزاف ونمو حاجز الجهد عند الحدود الحبيبية، وتمثل أيضاً مصدر لقتص جزيئات الغاز الممتازة على سطح المتحسس [1-7].

بالنسبة إلى شبه موصل من نوع (n-type) فإن أيونات الأوكسجين O^{-2} الموجودة على السطح عند الحدود الحبيبية سوف تمتص من قبل الغاز، أي: سوف يقل تركيز حاملات الشحن وينمو حاجز الجهد ليعرقل مرور حاملات الشحنة فعند تعريض الغشاء إلى غاز مؤكسد مثل: (NO_2) يحصل امتصاص لأيونات الأوكسجين الموجودة على السطح عند الحدود الحبيبية وبذلك سوف يقل تركيز حاملات الشحنة، أي: تزداد مقاومة الغشاء، أي: إن التوصيلية تقل، أما في حالة تعريض الغشاء إلى غاز مختزل مثل (H_2) ، (H_2S) فإن أيونات الأوكسجين الممتصة على السطح سوف تقل، أي: سوف يزداد تركيز حاملات الشحنة، أي: يقل حاجز الجهد فبذلك تقل المقاومة، أي: تزداد التوصيلية [7-10].

الخلايا الشمسية: إن أغلب الخلايا الشمسية هي في الحقيقة عبارة عن مساحة كبيرة من ثنائيات اتصال (p-n)، إذ تتكون هذه الثنائيات من وصل مناطق نوع سالب ونوع موجب، وفي لحظة اتصال هاتين المادتين تندفع الإلكترونات من المادة نوع n التي تفيض بالإلكترونات نحو المادة p، أما الفجوات فإنها سوف تندفع من المادة نوع p التي تحيط بها الفجوات باتجاه المادة نوع n، وذلك بسبب الانتشار لكي تملأ الفراغات المتكونة [11-15].

إن بعض الإلكترونات المتحركة سوف تتصادم تصادمًا رأسياً (head-on) مع الفجوات المندفعة وتتحد معها، ولكن بعض الإلكترونات تكون قادرة على أن تنفذ بمسافة قليلة داخل المادة نوع p، وذلك لأن محاولات الإلكترونات سوف تحبط بوجود المجال الكهربائي [16-19].

تسمى منطقة الانتقال بمنطقة الاستنزاف أو النضوب (depletion region) لأن كثافة الناقلات المتحركة تتناقص في منطقة الانتقال إذ يمكن القول بأن منطقة الانتقال تستنزف الناقلات المتحركة [20-22].

إن الإلكترونات في جانب نوع n تترك خلفها أيوناً موجباً في حين تترك الفجوات في جانب نوع p أيوناً سالباً وهذه الشحنات المتخلفة تحدث مجالاً كهربائياً يعارض اتجاه حركة الانتشار الطبيعي للإلكترونات والفجوات، وتتكون بذلك حالة التوازن الحراري وفي هذه الحالة سوف يتطابق مستوى فيرمي للمادتين.

المتحسسات الميكانيكية: ويعرف أيضاً بالمجس الكهروضغطي، وهو جهاز (device) يستخدم فيه مواد معينة لها خاصية توليد الجهد الكهربائي عند تعرضها للضغط أو الإهتزاز، وهذه المواد مصدرها (تحمل صفات) مجموعتين أساسيتين، وهي: السيراميك (PZT ceramic) والكريستال (مادة الكوارتز) ، وتعتمد هذه المواد في عملها على مبدأ الكهروضغطي Piezoelectric؛ حيث تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية والعكس صحيح، هذه الظاهرة عرفت بالبيزوكهربائية piezoelectricity فعند تعرض بلورة الكوارتز (ثاني أكسيد السيليكون) للضغط أو للاهتزاز أو عندما تصطدم بها موجات صوتية فيتولد عنها جهد كهربائي ، وبالعكس ففي حال تعرض بلورة الكوارتز لضغط كهربائي، فإنها تتذبذب وتهتز بتردد معين، هذا الاهتزاز والتذبذب يتسم بالانتظام والدقة العالي، وقيمة الجهد الكهربائي الناتج من البلورة يتوقف على مقدار هذا الضغط ، بينما يتوقف تردد وشكل الموجة الكهربائية الناتجة على عدد الضغوطات أو الاهتزازات الحاصلة في زمن معين، وأيضاً على مقدار هذا الضغط وطبيعته، وإذا ما تم الضغط على سطح المادة بقوة فسوف يحدث انفصال للشحنات الكهربائية عنها عبر الشبكة البلورية للمادة، ونتيجة لهذا الانفصال فسوف ينتج فرق جهد كهربائي بين طرفي المادة -23 [28]

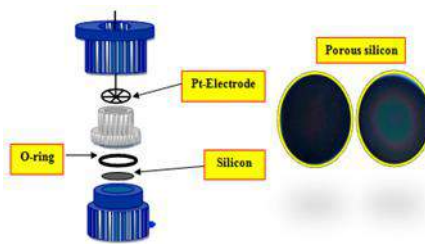
الجانب العملي

في هذا البحث تم تقطيع قواعد الكوارتز المطلية بمادة أكسيد القصدير المطعم بالانتيمون ورقائق السليكون أحادية التبلور وباتجاهية (100) من نوع المائح ذات مقاومة (0.01-0.02Ω/cm²) إلى قطع متساوية لا تتجاوز (1.5×1.5) سم؛ حيث تم استخدام كحول الميثانول والماء المقطر اللاأيوني مع جهاز الذبذبات فوق الصوتية ولفترة زمنية مقدارها 15 دقيقة لغرض إزالة المواد العالقة بسطح العينات.

وتتم عملية تحضير رقائق السليكون المسامي بواسطة خلية خاصة كما هو مبين في الشكل رقم (1)؛ حيث يوضع السليكون في أسفل الخلية، يعمل كقطب أنود ويغمر ب 5 مل من محلول متكون من 4 مل من مادة كحول الأيثانول مع 1 مل من حامض هايدروفلوريك ثم يتم وضع قطب الكاثود الذي يصنع في الغالب من مادة البلاتين النقي حيث؛ يتم تمرير تيار (50 mA/cm²) وبزمن (3:30) دقيقة بعد ذلك يتم غسل العينة بمحلول من مادة KOH المخفف بنسبة % 3 لإزالة مخلفات التفاعل ثم تجفف بواسطة غاز النيتروجين (N₂). تحضير أغشية شفافة موصلة من أكسيد الخارصين كطبقة بذور النمو على قواعد الكوارتز المطلية بمادة أكسيد القصدير المطعم بالانتيمون وقواعد السليكون المسامي باستخدام عملية الأكسدة الحرارية السريعة (RTO) عن طريق أكسدة أغشية الخارصين المرسبة سلفاً باستخدام تقنية التبخير الحراري في الفراغ لغرض المقارنة.

تم تحضير أكسيد الخارصين النانوي بشكل قضيب من خلال عملية الهايدروثيرمل بإضافة 0.05M من نترات الزنك المائية و 0.05 M من hexamethylenetetramine (C₆H₁₂N₄) إلى الخلية، ومن ثم وضع الخلية في فرن مختبري لمدة ثمان ساعات عند درجة حرارة 150 oC.

ولتحضير أكسيد الزنك المشوب بمادة ال Ga يتم إضافة gallium nitride Ga(NO₃)₃.xH₂O 4% إلى المحلول المحضر السابق تحت تأثير التحريك المستمر باستخدام الخلاط المغناطيسي. استخدمت أغشية الذهب وأغشية الألمونيوم الرقيقة بنقاوة عالية (99.999 %) لأجل الحصول على الاتصالات الأومية.



شكل رقم (1): خلية السايكون المسامي المستخدمة في البحث.

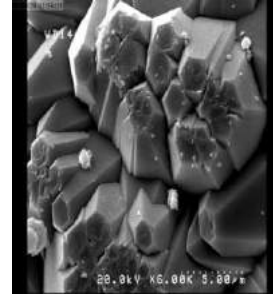
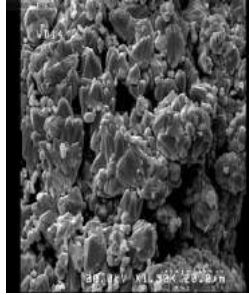
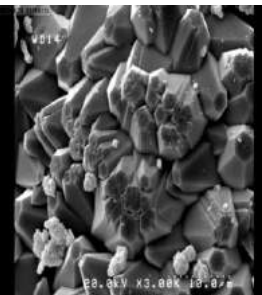
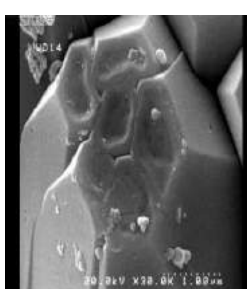
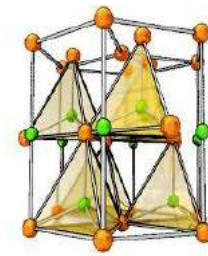
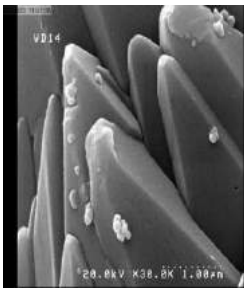
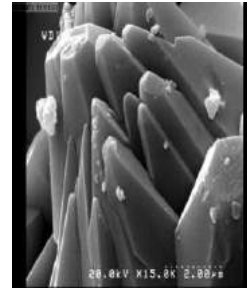
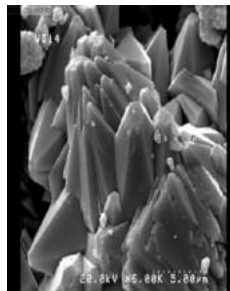
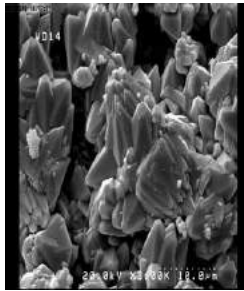
تضمنت القياسات الجوانب التالية:

الجانب الأول: قياسات تتعلق بالغشاء المحضر للوقوف على أفضل الظروف في تحضير الغشاء، وتم استخدامها في تحضير المتحسسات ذات التطبيقات المختلفة.

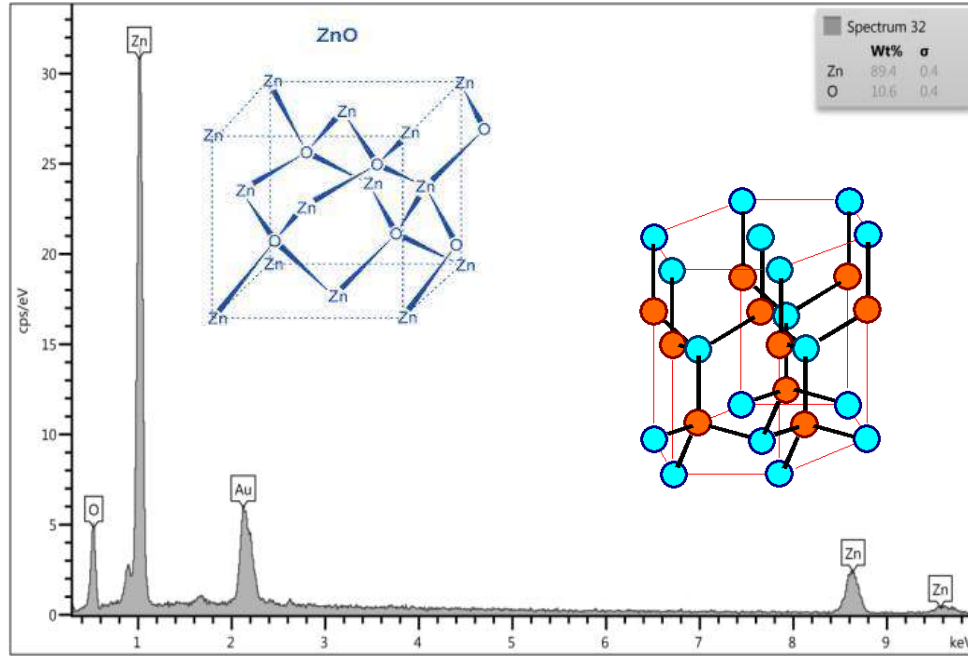
الجانب الثاني: قياسات تتعلق بالمتحسس المصنع للوقوف على طبيعة الأداء للمتحسس، وتشمل: قياسات متحسسات غازية، ومتحسسات كهروإجهادية، ومتحسسات تعمل كخلية شمسية.

المناقشة

تم دراسة التركيب الكيميائي للسطح لأغشية أكسيد الخارصين المطعم بالغالسيوم باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (FESEM)؛ حيث أظهر بأن التركيب السطحي للأغشية المرسبة ذات توزيع منتظم نانوي بشكل نانورود (Nano rod) لأغشية ZnO ذات التركيب السداسي المتراس (Hexagonal wurtzite) كما هو مبين في الأشكال رقم (2).

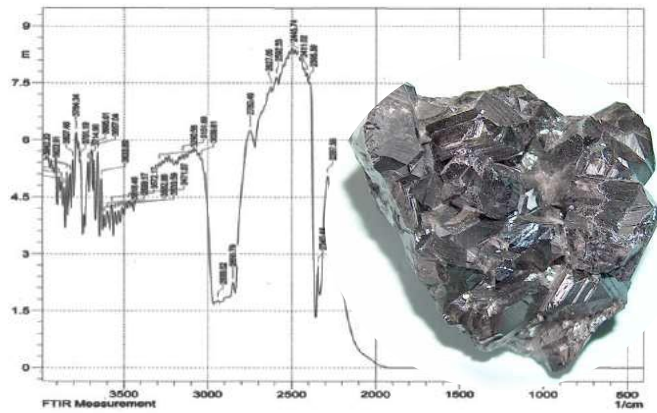


شكل رقم (2) (a): يوضح التركيب السداسي النانوي لأوكسيد الخارصين المطعم بالغاليوم من خلال قياس الماسح الإلكتروني (SEM).

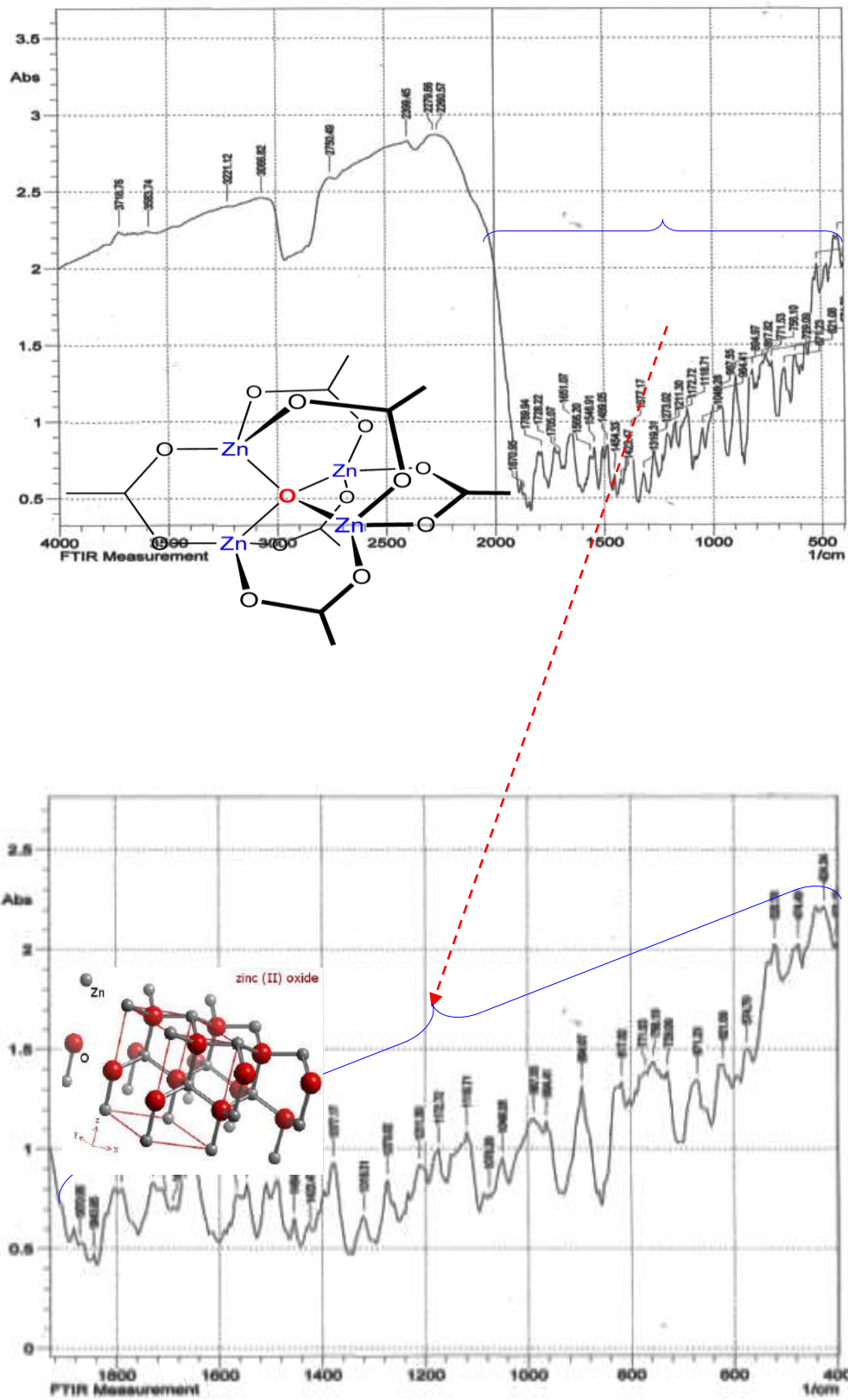


شكل رقم (2) (b): يوضح التحليل الكيميائي لعناصر أوكسيد الخارصين المطعم بالغاليوم من خلال قياس الماسح الإلكتروني (SEM).

الخصائص البصرية تمت دراستها بواسطة قياس طيف الامتصاصية عند درجة حرارة الغرفة لمدى طول موجي يتراوح من (400 – 4000nm) كدالة للعدد الموجي كما هو مبين في الشكل رقم (3)، (4). حيث أظهرت النتائج بأن الامتصاصية البصرية لغشاء أوكسيد الخارصين المطعم بالغاليوم عالية، مما جعلها ملائمة لتطبيقات المتحسسات المختلفة، كما أظهرت القياسات الكهربائية، بأن الأغشية المشوبة والنقية من النوع السالب (n-type).

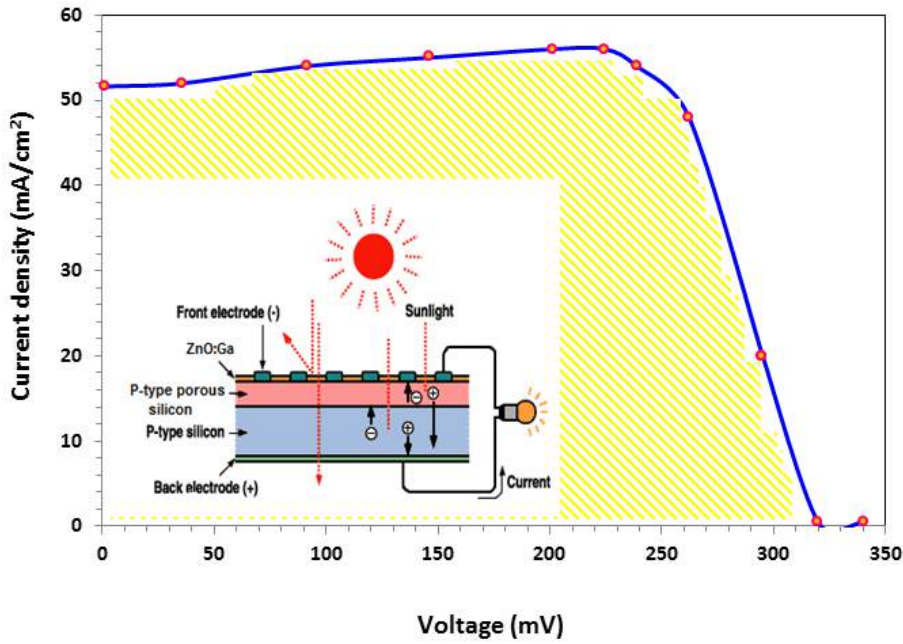


شكل رقم (3): يوضح العلاقة بين الامتصاصية، والعدد الموجي لمعدن الخارصين المرسب بتقنية التبخير الحراري في الفراغ.



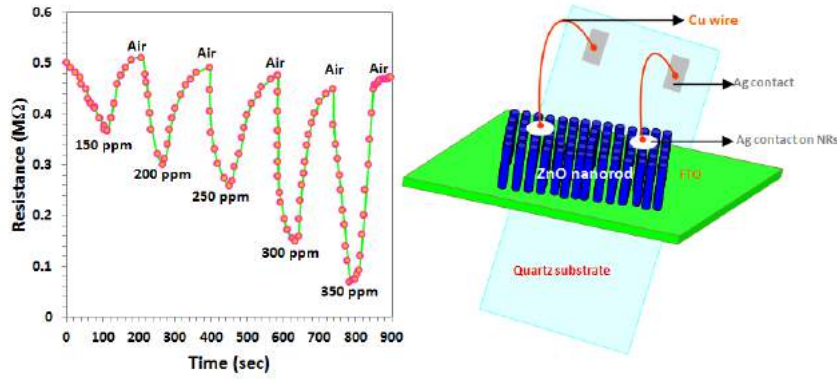
شكل رقم (4): يوضح العلاقة بين الامتصاصية، والعدد الموجي لأوكسيد الخارصين المطعم بالغالسيوم المحضر بطريقة الهيدروثيرمل.

تم تحضير طبقة السليكون المسامي بطريقة التتميش الكهروكيميائية على شرائح السليكون من نوع (p-type) وبكثافة تيار 50 mA/cm^2 وزمن 3:30 دقيقة، بعد ذلك تم ترسيب غشاء أكسيد الخارصين المطعم بالغالسيوم المحضر بطريقة الهيدروثيرمل لغرض تصنيع متحسس يعمل كخلية شمسية؛ حيث كانت قيمة الكفاءة الكمية للخلية الشمسية المصنعة بحدود 8% وهي قيمة قريبة جداً لكفاءة الخلايا الشمسية المستوردة الأجنبية كما هو مبين في الشكل رقم (5).



شكل رقم (5): يوضح العلاقة بين التيار والفولتية لأوكسيد الخارصين المطعم بالغالسيوم المحضر بطريقة الهيدروثيرمل والمرسب على قواعد السليكون المسامي من النوع المانع.

لقد أوضحت كفاءة التحسس للمتحسس الغازي لأوكسيد الخارصين المطعم بالغالسيوم والمرسب على قواعد من الكوارتز المطلية بغشاء أكسيد القصدير المطعم بالانتيمون؛ أنها تعتمد بشكل كبير على الحجم والشكل الحبيبي لأوكسيد الزنك المرسب، ومقاومة القاعدة المرسب عليها؛ حيث وجد أن المقاومة تقل بزيادة تركيز غاز الهيدروجين ضمن مدى التراكيز من (350-150) ppm عند درجة حرارة الغرفة كما مبين في الشكل رقم (6).



شكل رقم (6): يوضح العلاقة بين المقاومة، والزمن عند تراكيز غاز هيدروجين مختلفة لأوكسيد الخارصين المطعم بالغالسيوم المحضر بطريقة الهيدروثيرمل، والمرسب على قواعد من الكوارتز المطلي بأوكسيد القصدير المطعم بالانتيمون.

من خلال قياس التردد الرنيني كدالة لسعة الموجة لنموذج الماء مع الملح ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) فإن الإزاحة (shift) التي تحدث للإشارة المرسل، والإشارة المستلمة من النفط الخام تكون ضمن مدى الترددات الواقعة بين 1500-20000 kHz كدالة لسعة الموجة (Amplitude (A_0) (mVolt).

إن هذا السلوك يمكن فهمه من خلال عمل معايرة للمتحمس تمكنا من الكشف عن نسبة الأملاح الموجودة في الماء وفقاً للإزاحة الحاصلة للإشارة المرسل، والإشارة المستلمة من قبل خلية الكوارتز (الوسط الذي يحتوي على الماء+الملح بنسبة معينة) كما هو مبين في الشكل رقم (7).

حيث يمكن الحصول على الإشارة الكهروإجهادية عن طريق استخدام محول يقوم بنقل الموجات الميكانيكية في خلية تحتوي على (ماء+ملح بنسب معينة) ومن ثم استلام أو التقاط الإشارة الناتجة من قبل مستقبلات.

تم حساب قيم عامل التخميد وفقاً للعلاقة التالية:

$$h(t) = A_0 \exp(-t/\tau) \sin(\omega t')$$

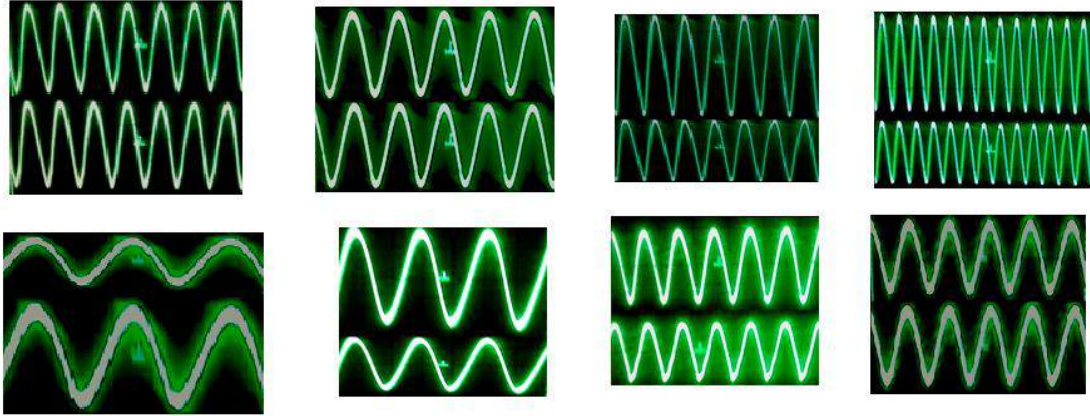
حيث أن

(A_0) سعة الموجة عند التردد الرنيني

(f)، ($t' = 1/f$) التردد المسلط

($\omega = 2\pi f$),

(τ) الزمن الرنيني.



شكل رقم (7): يوضح عامل التخميد كدالة للزمن ضمن مدى الترددات الواقعة بين 1500-20000 kHz لأوكسيد الخارصين المطعم بالغالسيوم.

الاستنتاجات

- 1- تحضير أغشية ZnO و ZnO:Ga النانوية المستخدمة في صناعة المتحسسات المختلفة التطبيقات (متحسس غازي، متحسس كهرواجهادي و متحسس يعمل كخلية شمسية)، واختيار أفضل الظروف في تحضيرها.
- 2- استخدام المواد والأجهزة المتوفرة محلياً باعتبارها ذات كلفة زهيدة مقارنة مع المواد والأجهزة المستوردة.
- 3- تصنيع متحسسات سريعة الاستجابة لغاز الهيدروجين الخطر جداً والبخار الناتج من الغاز عند درجة حرارة الغرفة عند تراكيز مختلفة للغاز.
- 4- تصميم متحسس ميكانيكي لغرض مراقبة نسب الأملاح وتحسين جودة الماء، حيث إن الإشارة الكهرواجهادية يمكن الحصول عليها عن طريق استخدام محول يقوم بنقل الموجات الميكانيكية خلال خلية تحتوي على (ماء+ملح بنسبة معينة)، ومن ثم استخدام مستقبلات تلتقط الإشارة الناتجة.
- 5- تصنيع متحسس عالي الكفاءة لاشعة الشمس بحيث وصلت الكفاءة إلى ما يقارب 8% وهذه نتيجة قريبة جداً لكفاءة الخلايا الشمسية المستوردة الأجنبية.
- 6- أظهرت نتائج الماسح الإلكتروني أن أغشية ثاني أوكسيد الخارصين ذات تركيب سداسي نانوي بشكل نانو رود محضر باستخدام طريقة كيميائية بسيطة جداً وغير مكلفة، وهي: الهيدروثيرمل.

المصادر

1. Stadler, A. (2012). *Transparent conducting oxides—an up-to-date overview*. *Materials*, 5(4), 661-683.
2. González, G. B. (2012). *Investigating the defect structures in transparent conducting oxides using X-ray and neutron scattering techniques*. *Materials*, 5(5), 818-850.
3. Krishna, R. M., Hayes, T. C., Kremetz, D., Weeks, G., Torres, A. M., Brinkman, K., & Mandal, K. C. (2012). *Characterization of transparent conducting oxide thin films deposited on ceramic substrates*. *Materials Letters*, 66(1), 233-235.
4. Lewis, B. G., & Paine, D. C. (2000). *Applications and processing of transparent conducting oxides*. *MRS bulletin*, 25(8), 22-27.
5. Suche, M., Christoulakis, S., Moschovis, K., Katsarakis, N., & Kiriakidis, G. (2006). *ZnO transparent thin films for gas sensor applications*. *Thin solid films*, 515(2), 551-554.
6. Saleem, M., Fang, L., Ruan, H. B., Wu, F., Huang, Q. L., Xu, C. L., & Kong, C. Y. (2012). *Effect of zinc acetate concentration on the structural and optical properties of ZnO thin films deposited by Sol-Gel method*. *International Journal of Physical Sciences*, 7(23), 2971-2979.
7. Min, Y. (2003). *Properties and sensor performance of zinc oxide thin films* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
8. Perednis, D. (2003). *Thin film deposition by spray pyrolysis and the application in solid oxide fuel cells* (Doctoral dissertation, ETH Zurich).
9. Chopra K.L., IndrajeetKaur (1983), "*Thin Film Device Applications*", Plenum Press, Newyork.
10. PM, R. K. (2007). *Spray pyrolysed zinc oxide thin films effects of doping and ion beam irradiation*.
11. Liu, C. Y., Chen, C. F., & Leu, J. P. (2009). *Fabrication and CO sensing properties of mesostructured ZnO gas sensors*. *Journal of The Electrochemical Society*, 156(1), J16-J19.
12. Mahmoud, F. A., & Kiriakidis, G. (2009). *Nanocrystalline ZnO thin film for gas sensor application*. *Journal of Ovonic Research*, 5(1), 15-20.
13. Canham, L. T. (Ed.). (1997). *Properties of porous silicon*. Institution of Electrical Engineers.
14. Lee, M. K. (2000). *U.S. Patent No. 6,103,546*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

15. Allaa A. J. H., (2011). *"Effect of The Rapid Thermal Treatments on Photodiode Preparation of Porous Silicon Prepared by Laser Assisted Etching"* , MSc. (University of Technology).
16. Lee, M. K., Wang, Y. H., & Chu, C. H. (1997). *High-sensitivity porous silicon photodetectors fabricated through rapid thermal oxidation and rapid thermal annealing*. IEEE journal of quantum electronics, 33(12), 2199-2202.
17. Petrova-Koch, V., Muschik, T., Kux, A., Meyer, B. K., Koch, F., & Lehmann, V. (1992). *Rapid-thermal-oxidized porous Si– The superior photoluminescent Si*. Applied physics letters, 61(8), 943-945.
18. Yan, J., Shih, S., Jung, K. H., Kwong, D. L., Kovar, M., White, J. M., ... & Magel, L. (1994). *Study of thermal oxidation and nitrogen annealing of luminescent porous silicon*. Applied physics letters, 64(11), 1374-1376.
19. Sze. M. S., (1990). *"Physics of Semiconductors Devices"*, Arabic Edition, translated by F.G.Al- Huyanie, H.A.Ahmed, Al-Mosel University.
20. Stereeman. B. G (1980). *"Solid State Electronic Devices"*, 2nd Ed, Practice Hall, Inc. Engle wood Cliffs, N.J.
21. Jemil. S. K., Blawah. B. D. (1991). *"Principles of Electronic Optics"*, Baghdad University.
22. Leaser R. E., Najel. S.D. (1992) *"Materials and Devices for Engineers Electrical and Physicals"*, Translated by R.R. Basili, M.M.Frjo and R.Y.Yousif, (1st Ed.), Al-Basrah University.
23. Uhler Jr, A. (1956). Electrolytic shaping of germanium and silicon. Bell System Technical Journal, 35(2), 333-347.
24. Lopez. H. A. (2001) *"Porous Silicon Nanocomposites For Optoelectronic and Telecommunication Applications"* , Msc. University of Rochester, New York.
25. Mwolfe. C., Holouyak. N., Stillman. G. B. (1989). *"Physical Properties of Semiconductor"*, prentice Hall, New York.
26. Moshe, Ben C., Israel. Schechter, Andreas. K.. (1995). *"Gas Sensing Properties of Porous Silicon,"* , Chem., Volume 67, Number 20, pp. (3727–3732).
27. Schropp, R. E. I., & Madan, A. (1989). *Properties of conductive zinc oxide films for transparent electrode applications prepared by rf magnetron sputtering*. Journal of applied physics, 66(5), 2027-2031.